



UNIVERSITÀ DI SIENA 1240

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente

Dottorato in Scienze e tecnologie ambientali, geologiche e polari

32° Ciclo

Coordinatore: Prof. Simone Bastianoni

Geoarcheologia ed approccio Multiscala per lo studio delle variazioni del paesaggio storico altomedievale ed implicazioni paleoambientali dell'Olocene recente nella Toscana meridionale

Settore scientifico disciplinare:

GEO/04

Candidato/a

Davide Susini

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Siena

Firma del candidato

Tutore

Prof. Pierluigi Pieruccini

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino

Firma del tutore

Anno accademico di conseguimento del titolo di Dottore di ricerca

2019/20

Università degli Studi di Siena
Dottorato in Scienze e tecnologie ambientali, geologiche e polari
32° Ciclo

Data dell'esame finale

Commissione giudicatrice

Esperto/i

Supplenti

“Tell me and I forget. Teach me and I remember. Involve me and I learn.”

- Benjamin Franklin

INDICE

ABSTRACT	Pag.	v
Elenco delle abbreviazioni	>>	vii
Elenco delle figure	>>	viii
Elenco delle tabelle	>>	x
Elenco delle tavole degli Annessi	>>	xi
Elenco delle tabelle degli Annessi	>>	xii

**SEZIONE I - INTRODUZIONE, AREA D'INDAGINE, BACKGROUND TEORICO E
METODOLOGICO**

CAPITOLO I.1 - INTRODUZIONE	Pag.	2
I.1.1. MOTIVAZIONI E FINALITÀ DELLO STUDIO	>>	2
I.1.2. IL PROGETTO ERC NEU-MED	>>	7
CAPITOLO I.2 - AREA D'INDAGINE	>>	9
I.2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E ASSETTO STRUTTURALE	>>	9
I.2.1.1. Mineralizzazioni Colline Metallifere	>>	12
I.2.2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	>>	12
I.2.2.1. Unità di Paesaggio Collinare (UPC)	>>	13
I.2.2.2. Unità di Paesaggio Vallivo (UPV)	>>	14
I.2.2.3. Unità di Paesaggio Costiero (UPCo)	>>	15
I.2.3. ASPETTI CLIMATICI GENERALI	>>	17
I.2.4. IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME PECORA	>>	18
I.2.4.1. Geografia e geomorfologia	>>	18
I.2.4.2. Idrografia	>>	21
I.2.5. IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME CORNIA	>>	22
I.2.5.1. Geografia e geomorfologia	>>	22
I.2.5.2. Idrografia	>>	23
CAPITOLO I.3 - GEOARCHEOLOGIA: BACKGROUND TEORICO	>>	24
I.3.1. PREMESSA	>>	24
I.3.2. LA GEOARCHEOLOGIA	>>	24
I.3.3. DALLA GRANDE SCALA ALLA PICCOLA SCALA: UN APPROCCIO MULTISCALARE	>>	26
CAPITOLO I.4 - GEOARCHEOLOGIA: TECNICHE E METODOLOGIE	>>	28
I.4.1. LA GEOARCHEOLOGIA PER LA RICOSTRUZIONE DEL PAESAGGIO	>>	28
I.4.2. ANALISI GEOMORFOLOGICA	>>	28
I.4.2.1. Analisi da remoto	>>	30
I.4.2.2. Analisi di campagna	>>	33
I.4.2.3. Descrizione degli affioramenti: facies sedimentarie	>>	33
I.4.3. LA GEOARCHEOLOGIA NEL SITO ARCHEOLOGICO	>>	35
I.4.4. MICROMORFOLOGIA ARCHEOLOGICA	>>	36
I.4.4.1. Cenni storici	>>	38
I.4.4.2. Micromorfologia: <i>modus operandi</i>	>>	39
I.4.4.3. Analisi delle sezioni sottili	>>	41
ANNESSO I	>>	43

SEZIONE II - MACROSCALA: SISTEMI VALLIVI E PIANURE COSTIERE

CAPITOLO II.1 - INTRODUZIONE	Pag.	48
II.1.1. QUESTIONE ARCHEOLOGICA	>>	48
II.1.2. DATI STORICI PREGRESSI	>>	49
II.1.2.1. Pianura costiera del Pecora	>>	49
II.1.2.2. Pianura costiera del Cornia	>>	50

CAPITOLO II.2 - MATERIALI E METODI	>>	51
II.2.1. ANALISI DA REMOTO	>>	51
II.2.1.1. Carta Tecnica Regionale (CTR)	>>	51
II.2.1.2. LiDAR e DTM	>>	51
II.2.1.3. Dataset aerofotografico	>>	52
II.2.1.4. Cartografia storica	>>	55
II.2.2. ANALISI SEDIMENTOLOGICA E DI FACIES SEDIMENTARIE	>>	56
II.2.3. RILEVAMENTO DI CAMPAGNA	>>	56
II.2.4. OPERAZIONI DI CAROTAGGIO	>>	57
CAPITOLO II.3 - SISTEMA VALLIVO DEL FIUME PECORA	>>	59
II.3.1. OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE	>>	59
II.3.2. CASSA D'ESPANSIONE	>>	63
II.3.2.1. Stratigrafia	>>	66
II.3.2.2. Cronologia	>>	70
II.3.2.3. Analisi antracologica	>>	70
II.3.3. RILEVAMENTO STRATIGRAFICO	>>	71
II.3.3.1. Schema stratigrafico	>>	72
II.3.3.2. Cronologia	>>	73
II.3.3.3. Descrizione dei logs stratigrafici	>>	75
II.3.4. DISCUSSIONE RISULTATI	>>	92
II.3.4.1. Pleistocene superiore – Olocene inferiore	>>	92
II.3.4.2. Olocene medio-superiore	>>	93
II.3.4.3. Periodo altomedievale – Olocene tardo	>>	95
II.3.5. CAUSE MORFOEVOLUTIVE	>>	97
II.3.6. MODELLO MORFOEVOLUTIVO GENERALE DELL'OLOCENE TARDO	>>	100
CAPITOLO II.4 - PIANURE COSTIERE	>>	103
II.4.1. OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE	>>	103
II.4.1.1. Pianura costiera del Cornia	>>	103
II.4.1.2. Pianura costiera del Pecora	>>	106
II.4.2. FACIES ED AMBIENTI SEDIMENTARI	>>	108
II.4.2.1. Facies lagunari	>>	108
II.4.2.2. Facies palustri/stagno	>>	109
II.4.2.3. Facies alluvionali	>>	109
II.4.2.4. Facies fluviale	>>	110
II.4.2.5. Paleosuolo	>>	111
II.4.3. CRONOLOGIA	>>	112
II.4.4. DISCUSSIONE RISULTATI	>>	113
II.4.4.1. Pleistocene superiore – Olocene inferiore	>>	113
II.4.4.2. Olocene medio-superiore	>>	115
II.4.4.3. Periodo altomedievale – Olocene tardo	>>	116
II.4.5. MODELLO MORFOEVOLUTIVO GENERALE	>>	117
II.4.5.1. Pianura costiera del Cornia	>>	119
II.4.5.2. Pianura costiera del Pecora	>>	120
ANNESSO II	>>	121
SEZIONE III - MESOSCALA: CONTESTO INSEDIATIVO DEL SITO ARCHEOLOGICO DI VETRICELLA		
CAPITOLO III.1 - INTRODUZIONE	Pag.	124
III.1.1. QUESTIONE ARCHEOLOGICA	>>	124
CAPITOLO III.2 - MATERIALI E METODI	>>	125
III.2.1. ANALISI STRATIGRAFICA	>>	125
II.2.2. ANALISI DA REMOTO	>>	126
III.2.2.1. DTM	>>	126

III.2.2.2. Modellazione superficie topografica	>>	128
CAPITOLO III.3 - DATI	>>	131
III.3.1. ASSETTO GEOMORFOLOGICO	>>	131
III.3.2. TRINCEE MECCANICHE	>>	134
III.3.2.1. Cronologia	>>	134
III.3.2.2. Analisi stratigrafica	>>	134
CAPITOLO III.4 - DISCUSSIONE RISULTATI	>>	150
III.4.1. MODELLO MORFOEVOLUTIVO	>>	150
III.4.1.1. Pleistocene superiore – Olocene inferiore	>>	151
III.4.1.2. Olocene medio-superiore	>>	152

SEZIONE IV - MICROSCALA: IL SITO ARCHEOLOGICO DI VETRICELLA

CAPITOLO IV.1 - INTRODUZIONE	Pag.	155
IV.1.1. IL SITO ARCHEOLOGICO DI VETRICELLA	>>	155
IV.1.2. STORIA DELLE RICERCHE	>>	155
IV.1.3. SUCCESSIONE STRATIGRAFICA E PERIODIZZAZIONE	>>	158
CAPITOLO IV.2 - MATERIALI E METODI	>>	162
IV.2.1. ANALISI STRATIGRAFICA	>>	162
IV.2.2. ANALISI MICROMORFOLOGICA	>>	163
IV.2.2.1. Campionatura	>>	163
IV.2.2.2. Microscopio petrografico e parametri descrittivi	>>	166
CAPITOLO IV.3 - DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	>>	170
IV.3.1. EDIFICIO CENTRALE	>>	170
IV.3.2. EDIFICIO CENTRALE – FOSSATO INTERNO	>>	172
IV.3.3. FOSSATO INTERNO	>>	173
IV.3.3.1. Caratteristiche generali	>>	173
IV.3.3.2. NFS_D417	>>	173
IV.3.4. FOSSATO INTERNO – FOSSATO INTERMEDIO	>>	175
IV.3.5. FOSSATO INTERMEDIO	>>	176
IV.3.5.1. Caratteristiche generali	>>	176
IV.3.5.2. Cronologia	>>	178
IV.3.5.3. Descrizione delle sezioni stratigrafiche	>>	178
CAPITOLO IV.4 - ANALISI MICROMORFOLOGICA	>>	187
IV.4.1. MICROFACIES SEQUENZA ARCHEOLOGICA	>>	187
IV.4.1.1. Microfacies PI (Pre-Insediamento)	>>	187
IV.4.1.2. Microfacies OA (Occupazione Antropica)	>>	189
IV.4.2. MICROFACIES FOSSATO INTERNO	>>	196
IV.4.2.1. Microfacies FI_A	>>	196
IV.4.2.2. Microfacies FI_B	>>	200
IV.4.3. MICROFACIES FOSSATO INTERMEDIO	>>	204
IV.4.3.1. Microfacies FINT_A	>>	204
CAPITOLO IV.5 - DISCUSSIONE DEI DATI STRATIGRAFICI E MICROSTRATIGRAFICI	>>	208
IV.5.1. DINAMICHE FORMATIVE DEL RECORD ARCHEOLOGICO	>>	208
IV.5.1.1. Fase pre-insediamento	>>	208
IV.5.1.2. Fase d'occupazione (microfacies OA)	>>	209
IV.5.2. FOSSATO INTERNO	>>	212
IV.5.2.1. Facies sedimentarie	>>	212
IV.5.2.2. Funzione del fossato interno	>>	213
IV.5.3. FOSSATO INTERMEDIO	>>	215
IV.5.3.1. Facies sedimentarie	>>	215
IV.5.3.2. Strutture sedimentarie	>>	216

IV.5.3.3. Modificazioni postdeposizionali	>> 216
IV.5.3.4. Dinamiche formative dei riempimenti	>> 218
IV.5.3.5. Geometria e funzione del fossato intermedio	>> 221
ANNESSO IV	>> 223
CONSIDERAZIONI FINALI	>> 234
BIBLIOGRAFIA	>> 241

ABSTRACT

La presente Tesi di Dottorato riguarda lo studio geoarcheologico condotto all'interno di un contesto territoriale della Toscana centro-meridionale compreso tra i rilievi delle Colline Metallifere, i bacini idrografici dei fiumi Pecora e Cornia, e l'area costiera tirrenica tra Piombino e Follonica (Toscana centro-meridionale). La ricerca si è svolta nell'ambito di un progetto ERC multidisciplinare riguardante la caratterizzazione storica, archeologica e ambientale del territorio sotto esame durante i secoli altomedievali (VII-XIII sec AD).

Per gli scopi del progetto, la ricerca ha proposto l'integrazione di metodi geoarcheologici (analisi geomorfologica, *Remote Sensing*, sedimentologia, stratigrafia sia di superficie che di sottosuolo e analisi micromorfologica) in un approccio basato sull'analisi Multiscala (Macroscala, Mesoscala e Microscala). L'impostazione della ricerca su questi tre livelli di risoluzione ha permesso di selezionare un ampio spettro di dati utili per ricostruire, in alto dettaglio, sia la cronologia degli eventi occorsi nella modellazione del paesaggio fisico storico sia le complesse interazioni con le attività antropiche. Inoltre, questo approccio ha consentito di analizzare le dinamiche insediative ed i processi di formazione, occupazione ed abbandono del sito altomedievale di Vetricella, ubicato nella pianura costiera del fiume Pecora, e considerato un *unicum* nell'area di studio sia per la sua posizione sia per le sue caratteristiche insediative.

In particolare, i risultati della Macroscala suggeriscono come, alla scala del singolo bacino idrografico e delle aree costiere, l'evoluzione delle dinamiche di modellazione del paesaggio fisico e biologico durante l'Altomedioevo non fosse influenzata dalle supposte variazioni climatiche, che pure sono contraddittoriamente note in letteratura per il periodo storico in analisi, ma sia piuttosto il risultato di profonde modificazioni delle dinamiche superficiali ad opera dell'azione antropica, determinandone l'assetto odierno. La definizione degli effetti sul paesaggio delle attività umane fornisce quindi nuove informazioni circa le capacità gestionali e pianificatorie e tecnologiche del *land use* e quindi della loro importanza in ottica storica e socio-economica.

Le analisi alla Mesoscala, invece, evidenziano come il sito archeologico di Vetricella fosse localizzato all'interno di un contesto dove la scelta dell'insediamento, e di conseguenza le sue funzioni, era stata pianificata allo scopo di mitigare la pericolosità associata allo scorrimento delle acque superficiali e dei rischi associati.

Infine, le analisi alla Microscala delineano un quadro in cui l'adattamento al contesto geomorfologico è stato frutto di una accurata e continua pianificazione di opere di costruzione/distruzione di piani d'uso e di sistemazioni idrauliche. In particolare, quest'ultime sono relative alla presenza di tre fossati concentrici i cui riempimenti restituiscono un record sedimentologico e stratigrafico che suggerisce il loro utilizzo per scopi diversi legati ad attività produttive, difensive e domestiche.

Nel complesso, l'approccio Multiscala si è rivelato decisivo per definire un quadro di riferimento cronologico dell'evoluzione del paesaggio all'interno dei sistemi vallivi nonché delle profonde modificazioni apportate dalle attività antropiche e delle loro relazioni con l'evoluzione a lungo, medio e breve termine degli ambienti umidi costieri. Per la prima volta, quindi, è stato possibile determinare come questi contesti, ritenuti per l'Altomedioevo difficilmente colonizzabili od esclusi dalla rete insediativa, fossero in realtà gestiti attraverso una precisa volontà di pianificazione delle opere di sistemazione idraulica e di sfruttamento delle risorse agricole e forestali.

Elenco delle abbreviazioni

Sez.	Sezione
Cap.	Capitolo
#	paragrafo
§	sottoparagrafo
cfr.	confronta
v.	vedi
es.	esempio
Fig.	Figura
Tab.	Tabella
loc.	località
F.	fiume
T.	torrente
C.le	canale
F.so	fosso
ca.	circa
ka.	mila anni
Mill.	Millennio
sec.	secolo
slm	quote sul livello del mare (il simbolo " - " indica che le quote sono inferiori al livello del mare)
cal.	datazione al radiocarbonio calibrata
BP	<i>Before Present</i>
BC	<i>Before Christ</i>
AD	<i>Anno Domini</i>
MCA	<i>Medieval Climate Anomaly</i>
LIA	<i>Little Ice Age</i>
FST	<i>Falling System Tract</i>
LST	<i>Lowstand System Tract</i>
TST	<i>Transgressive System Tract</i>
HST	<i>Highstand System Tract</i>
CaCO ₃	Carbonato di Calcio
CT	Tufi calcarei o <i>Calcareous Tufa</i>
As	Arsenico
Fe-Mn	ossidi di Ferro-Manganese
PPL	osservazione microscopica a luce piana polarizzata
XPL	osservazione microscopica a nichols incrociati
RL	osservazione al microscopio a luce riflessa
N, S, E, O	e combinazioni, indicazione dei punti cardinali Nord, Sud, Est, Ovest

Elenco delle figure

Sezione I – Introduzione, area d’indagine, background teorico e metodologico

I.1	Nuova suddivisione del Quaternario	Pag.	4
I.2	Area d’indagine del Progetto ERC nEU-Med	>>	6
I.3	Schema dei rapporti tra le diverse Unità Litostrutturali che caratterizzano l’Appennino	>>	10

Sezione II – Macroscala: sistemi vallivi e pianure costiere

II.1	Esempio di cartografia storica	>>	50
II.2	DTM su LiDAR con passo a 1 m del territorio d’indagine	>>	52
II.3	Dataset aerofotografico multitemporale	>>	54
II.4	Catasto Leopoldino	>>	55
II.5	Operazioni di carotaggio	>>	58
II.6	Tratto prossimale del bacino del F. Pecora	>>	59
II.7	Tratto mediano del bacino del F. Pecora	>>	61
II.8	Porzione a valle degli ambienti CT	>>	63
II.9	Carta geomorfologica. Stralcio del tratto prossimale e mediano del bacino idrografico del F. Pecora	>>	64
II.10	Cassa d’espansione	>>	65
II.11	Sezioni stratigrafiche della cassa d’espansione	>>	66
II.12	Stratigrafia della cassa d’espansione	>>	69
II.13	Analisi antracologica della cassa d’espansione, sezione NW	>>	71
II.14	Schema della sequenza stratigrafica generale del tratto mediano del F. Pecora	>>	73
II.15	Fotografie della sequenza stratigrafica generale	>>	74
II.16	Log 1	>>	75
II.17	Log 2	>>	76
II.18	Log 3	>>	77
II.19	Log 4	>>	78
II.20	Log 5	>>	79
II.21	Log 6	>>	80
II.22	Log 7	>>	81
II.23	Log 8	>>	83
II.24	Log 9	>>	84
II.25	Log 10	>>	86
II.26	Log 11	>>	87
II.27	Log 12	>>	88
II.28	Log 13	>>	89
II.29	Log 14	>>	90
II.30	Log 15	>>	91
II.31	Modello ricostruttivo della sezione longitudinale del F. Pecora e della superficie topografica	>>	96
II.32	Comparazione dei diversi proxies ambientali continentali del Mediterraneo centro-orientale	>>	98
II.33	Pianura costiera del F. Cornia. Aerofotografie del 1954	>>	104
II.34	Visuali della pianura costiera del F. Cornia	>>	104
II.35	Carta geomorfologica. Stralcio della pianura costiera del F. Cornia	>>	105
II.36	Visuale da Scarlino della pianura costiera del F. Pecora	>>	106
II.37	Carta geomorfologica. Stralcio della pianura costiera del F. Pecora	>>	107
II.38	Carotaggi. Elenco delle facies e degli ambienti sedimentari riconosciuti	>>	111

Sezione III – Mesoscala: contesto insediativo del sito archeologico di Vetricella

III.1	Localizzazione delle trincee esplorative interpolate alla griglia dei profili morfologici	>>	126
-------	---	----	-----

III.2	Elaborazione CCR a 10 cm dell'area d'indagine alla Mesoscala	>>	127
III.3	Ricostruzione della superficie topografica	>>	130
III.4	Carta geomorfologica. Stralcio del conoide alluvionale del Pleistocene superiore all'interno del bacino idrografico del F. Pecora	>>	132
III.5	Visuale da Scarlino del conoide alluvionale tardopleistocenico	>>	133
III.6	Modello della superficie topografica del conoide alluvionale tardopleistocenico	>>	133
III.7	Stratigrafia Trincea T1	>>	136
III.8	Stratigrafia Trincea T2	>>	136
III.9	Stratigrafia Trincea T3	>>	139
III.10	Stratigrafia Trincea T4	>>	140
III.11	Stratigrafia Trincea T5 Sud	>>	140
III.12	Stratigrafia Trincea T5 Est	>>	142
III.13	Stratigrafia Trincea T6	>>	143
III.14	Stratigrafia Trincea T7	>>	144
III.15	Stratigrafia Trincea T8	>>	146
III.16	Stratigrafia Trincea T9	>>	146
III.17	Stratigrafia Trincea T10	>>	147
III.18	Stratigrafia Trincea T11	>>	148
III.19	Stratigrafia Trincea T12	>>	149
III.20	Ricostruzione delle dinamiche sedimentarie del conoide alluvionale rapportato con il paleoalveo del F. Pecora e le facies sedimentarie della pianura costiera	>>	152
III.21	Ricostruzione delle dinamiche evolutive del record stratigrafico delle vallecole	>>	153
Sezione IV – Microscala: il sito archeologico di Vettricella			
IV.1	Il sito archeologico di Vettricella	>>	157
IV.2	Periodizzazione di Vettricella	>>	161
IV.3	Ortofoto aerea da drone dello scavo di Vettricella	>>	163
IV.4	Microscopio petrografico utilizzato per questa tesi	>>	167
IV.5	Stratigrafia Sezione Geo3, Edificio Centrale	>>	171
IV.6	Visuale aerea dell'Edificio Centrale	>>	171
IV.7	Stratigrafia Sezione Geo1, Edificio Centrale – Fossato Interno	>>	172
IV.8	Stratigrafia Sezione NFS_D417, Trincea D417, Fossato Interno	>>	173
IV.9	Stratigrafia Sezione Geo5, Trincea D817, Fossato Intermedio	>>	176
IV.10	Geometria del fossato intermedio ricavata dai profili delle trincee scavate	>>	177
IV.11	Parametri utilizzati per il calcolo delle geometrie e dei volumi del fossato intermedio	>>	177
IV.12	Muretto di pietre, Trincea S1DS, Fossato Intermedio	>>	179
IV.13	Stratigrafia Sezione S1DS, Fossato Intermedio	>>	179
IV.14	Particolare di facies 2, Trincea S2DE, Fossato Intermedio	>>	181
IV.15	Stratigrafia Sezione S2DE, Fossato Intermedio	>>	181
IV.16	Orizzonte argillico profondo, Trincea S4DN, Fossato Intermedio	>>	183
IV.17	Stratigrafia Sezione S4DN, Fossato Intermedio	>>	183
IV.18	Stratigrafia Sezione S7DW, Fossato Intermedio	>>	185
IV.19	Micrografie Microfacies PI	>>	188
IV.20	Micrografie Microfacies OA_1	>>	190
IV.21	Micrografie Microfacies OA_2	>>	192
IV.22	Micrografie Microfacies OA_3	>>	194
IV.23	Micrografie Microfacies OA_4	>>	196
IV.24	Micrografie Microfacies FI_A1	>>	198
IV.25	Micrografie Microfacies FI_A2	>>	199
IV.26	Micrografie Microfacies FI_B1	>>	201

IV.27	Micrografie Microfacies FI_B2	>>	203
IV.28	Micrografie Microfacies FINT_A1	>>	205
IV.29	Micrografie Microfacies FINT_A2	>>	207
IV.30	Sezione S1DS, Fossato Intermedio. Ricostruzione delle facies sedimentarie alluvionali e di riempimento antropico	>>	218
IV.31	Sezione S2DE, Fossato Intermedio. Ricostruzione delle facies sedimentarie alluvionali di riempimento antropico	>>	219
IV.32	Sezione S4DN, Fossato Intermedio. Ricostruzione delle facies sedimentarie alluvionali e di riempimento antropico	>>	220
IV.33	Sezione S7DW, Fossato Intermedio. Ricostruzione delle facies sedimentarie alluvionali di riempimento antropico	>>	221

Elenco delle tabelle

Sezione I – Introduzione, area d’indagine, background teorico e metodologico

I.1	Fonti d'informazione, discipline e tecniche delle Scienze della Terra utilizzate in geoarcheologia	Pag.	26
-----	--	------	----

Sezione II – Macroscala: sistemi vallivi e pianure costiere

II.1	Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) della cassa d’espansione	>>	70
II.2	Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) dei logs stratigrafici	>>	73
II.3	Log1. Descrizione stratigrafica	>>	75
II.4	Log2. Descrizione stratigrafica	>>	76
II.5	Log3. Descrizione stratigrafica	>>	77
II.6	Log4. Descrizione stratigrafica	>>	78
II.7	Log5. Descrizione stratigrafica	>>	79
II.8	Log6. Descrizione stratigrafica	>>	80
II.9	Log7. Descrizione stratigrafica	>>	81
II.10	Log8. Descrizione stratigrafica	>>	82
II.11	Log9. Descrizione stratigrafica	>>	84
II.12	Log10. Descrizione stratigrafica	>>	85
II.13	Log11. Descrizione stratigrafica	>>	87
II.14	Log12. Descrizione stratigrafica	>>	88
II.15	Log13. Descrizione stratigrafica	>>	89
II.16	Log14. Descrizione stratigrafica	>>	90
II.17	Log15. Descrizione stratigrafica	>>	91
II.18	Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) delle carote	>>	112
II.19	Cronologie delle carote, espresse in cal BC/AD, associate alle facies deposizionali riconosciute e raggruppate cronostatigraficamente	>>	118

Sezione III – Mesoscala: contesto insediativo del sito archeologico di Vetricella

III.1	Dati Input ed Output dell'applicativo Profile	>>	130
III.2	Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) delle trincee meccaniche	>>	134
III.3	Trincea T1. Descrizione stratigrafica	>>	135
III.4	Trincea T2. Descrizione stratigrafica	>>	137
III.5	Trincea T3. Descrizione stratigrafica	>>	138
III.6	Trincea T4. Descrizione stratigrafica	>>	139
III.7	Trincea T5 Sud. Descrizione stratigrafica	>>	141

III.8	Trincea T5 Est. Descrizione stratigrafica	>>	142
III.9	Trincea T6. Descrizione stratigrafica	>>	143
III.10	Trincea T7. Descrizione stratigrafica	>>	144
III.11	Trincea T8. Descrizione stratigrafica	>>	145
III.12	Trincea T9. Descrizione stratigrafica	>>	146
III.13	Trincea T10. Descrizione stratigrafica	>>	143
III.14	Trincea T11. Descrizione stratigrafica	>>	148
III.15	Trincea T12. Descrizione stratigrafica	>>	149
III.16	Cronologie espresse in età BP non calibrata delle facies di riempimento delle vallecole raggruppate cronostratigraficamente	>>	150

Sezione IV – Microscala: il sito archeologico di Vetricella

IV.1	Elenco dei campioni micromorfologici raccolti a Vetricella	>>	165
IV.2	Classi granulometriche	>>	168
IV.3	Proprietà dei parametri descrittivi micromorfologici	>>	169
IV.4	Edificio Centrale, Sezione Geo3. Descrizione delle facies sedimentarie	>>	170
IV.5	Edificio Centrale – Fossato Interno, Sezione Geo1. Descrizione delle facies sedimentarie	>>	172
IV.6	Fossato Interno, Trincea D417, Sezione NFS_D417. Descrizione delle facies sedimentarie	>>	174
IV.7	Fossato Interno – Fossato Intermedio, Trincea D817, Sezione Geo5. Descrizione delle facies sedimentarie	>>	175
IV.8	Misure principali del Fossato Intermedio	>>	177
IV.9	Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) del Fossato Intermedio	>>	178
IV.10	Fossato Intermedio, S1DS. Descrizione delle facies sedimentarie riconosciute	>>	180
IV.11	Fossato Intermedio, S2DE. Descrizione delle facies sedimentarie riconosciute	>>	182
IV.12	Fossato Intermedio, S4DN. Descrizione delle facies sedimentarie riconosciute	>>	184
IV.13	Fossato Intermedio, S7DW. Descrizione delle facies sedimentarie riconosciute	>>	186

Elenco delle tavole degli Annessi

Annesso I

AI.1	Carta geologica dei bacini idrografici dei Fiumi Pecora e Cornia	Pag.	45
AI.2	Carta delle Unità di Paesaggio dei bacini idrografici dei Fiumi Pecora e Cornia	>>	46

Annesso II

AII.1	Ricostruzione degli ambienti deposizionali delle pianure costiere del F. Cornia e del F. Pecora	>>	122
-------	---	----	-----

Annesso IV

AIV.1	Microfacies PI. Scansione delle sezioni sottili	>>	225
AIV.2	Microfacies OA_1. Scansione delle sezioni sottili	>>	225
AIV.3	Microfacies OA_2. Scansione della sezione sottile	>>	226
AIV.4	Microfacies OA_3. Scansione delle sezioni sottili	>>	226
AIV.5	Microfacies OA_4. Scansione delle sezioni sottili	>>	226
AIV.6	Microfacies FI_A1, FI_A2, FI_B1 e FI_B2. Scansione delle sezioni sottili	>>	227

AIV.7	Microfacies FINT_A1. Scansione delle sezioni sottili	>>	228
AIV.8	Microfacies FINT_A2. Scansione della sezione sottile	>>	228

Elenco delle tabelle degli Annessi

Annesso IV

AIV.1	Sintesi analitica delle microstrutture e porosità delle microfacies osservate	Pag.	229
AIV.2	Sintesi analitica dei costituenti delle microfacies osservate	>>	230
AIV.3	Sintesi analitica delle fabric e delle pedofigure nelle microfacies osservate	>>	232

SEZIONE I

**INTRODUZIONE, AREA D'INDAGINE, BACKGROUND
TEORICO E METODOLOGICO**

CAPITOLO I.1 - INTRODUZIONE

I.1.1. MOTIVAZIONI E FINALITÀ DELLO STUDIO

Il paesaggio antico medievale della Toscana, ed in generale di tutto il territorio italiano, è oggetto di studio di diversi settori della ricerca archeologica (essenzialmente topografici come telerilevamento, studio della cartografia storica e delle fonti scritte ecc.) generalmente raggruppati in un'unica disciplina denominata 'Archeologia del Paesaggio' o '*Landscape Archaeology*' (Roberts, 1987; Anschuetz *et al.*, 2001). Per definizione stessa del concetto, tale disciplina non si limita solamente alle analisi delle evidenze stratigrafiche puntuali di singoli siti archeologici, sebbene rappresentino veri e propri database informativi, ma estende il suo areale di studio al contesto territoriale come approccio imprescindibile per la comprensione delle attività antropiche tanto sotto il profilo socio-economico quanto quello ideologico-culturale (Cambi & Terrenato, 1994). Tuttavia, pur riconoscendone i meriti, l'analisi e la comprensione di questi modelli basata solamente su questi approcci non fornisce dati abbastanza esaustivi per avere una chiave di lettura adeguata del rapporto che è esistito tra le comunità medievali e l'ambiente fisico in cui esse hanno vissuto. Inoltre, questa problematica assume più importanza se contestualizzata nel record paleoclimatico dell'Olocene.

I record stratigrafici e paleoclimatici del Mediterraneo e del Nord Atlantico, infatti, mostrano che l'Olocene è caratterizzato da una complessa ed articolata variabilità climatica, sia a scala regionale che inter-regionale, di temperatura, precipitazioni e riorganizzazione degli ecosistemi continentali (Haas *et al.*, 1998; Mayewski *et al.*, 2004; Holzhauser *et al.*, 2005; Martín-Puertas, *et al.*, 2010; Giraudi *et al.*, 2011; Furlanetto *et al.*, 2018). Queste pulsazioni a breve termine, da millenaria a secolare (es. le fasi climatiche storiche della "*Medieval Climate Anomaly*" e la successiva "*Little Ice Age*", Bradley *et al.*, 2003; Mann *et al.*, 2009), non sempre sono discriminabili nello spazio e nel tempo e, soprattutto, non riconducibili alle stesse forzanti climatiche (Piccarreta *et al.*, 2011; Luterbacher *et al.*, 2012). In questo quadro complesso, oltre alla variabilità climatica ed al suo impatto che ha avuto nelle società (Demenocal, 2001; Heyd, 2008; Adger *et al.*, 2013; Xoplaki *et al.*, 2016) bisogna inoltre considerare la variabile data dell'attività antropica stessa; è infatti un concetto affermato che negli ultimi millenni, in particolare dalla "rivoluzione neolitica", cioè da quando si assiste all'introduzione di un'economia di tipo produttivo basata sull'agricoltura (Weisdorf, 2005) e l'allevamento (Gillis *et al.*, 2017; Vigne & Helmer, 2007), l'uomo diventa un importante fattore geomorfico e

sedimentario (Hooke, 2000; Wilkinson, B.H., 2005), intervenendo attivamente nella modificazione sia dell'ecosistema (Bini *et al.*, 2018; Dotterweich, 2013) sia del paesaggio fisico (Coltorti, 1997; Crodova, 2008; Parker *et al.*, 2008; Costante *et al.*, 2010; Gibling, 2018). Le ultime pulsazioni climatiche oloceniche, dunque, assumono particolare importanza nella discriminazione tra fattori climatici naturali e fattori antropici, nonché la loro interrelazione (Kalis *et al.*, 2003).

A partire dal 2018, inoltre, l'Olocene è stato ripartito in tre nuovi stadi/età (*stage/epoch*) e corrispettive sottoserie/sottoepoche (*subseries/subepoch*), in base alla definizione di due nuovi GSSPs (*Global Boundary Stratotype Section and Point*, Walker *et al.*, 2018). Secondo la nuova ripartizione, proposta dalla ISQS (*International Subcommission on Quaternary Stratigraphy*) (Walker *et al.*, 2012) e ratificata dalla IUGS (*International Union of Geological Sciences*), l'Olocene è formalmente definito in (Fig. I.1):

1. **Greenlandian Stage/Age = Lower/Early Holocene Subseries/Subepoch** – GSSP: carota NorthGRIP2, Groenlandia (coincidente con il GSSP dell'Olocene ratificato nel 2008). Età: 11,700 yr BP.
2. **Northgrippian Stage/Age = Middle/Mid-Holocene Subseries/Subepoch** – GSSP: carota NorthGRIP1, Groenlandia. GAS (*Global Auxiliary Stratotype*): speleotema in Gruta do Padre, Brasile. Età: 8326 yr BP.
3. **Meghalayan Stage/Age = Upper/Late Holocene Subseries/Subepoch** – GSSP: speleotema in Mawmluh Cave, Meghalaya, India. GAS: carota Mount Logan, Canada. Età: 4250 yr BP.

Da questa condizione nasce la volontà del presente dottorato di ricerca di analizzare, tramite un approccio schiettamente geoarcheologico, una porzione di territorio corrispondente alla Toscana tirrenica centro-meridionale. In particolare, l'area presa in esame è compresa tra i rilievi delle Colline Metallifere, i bacini idrografici del fiume Pecora (Provincia di Grosseto) e del fiume Cornia (Provincia di Livorno) e l'area costiera del Golfo di Follonica (Fig. I.2). Lo scopo del presente lavoro, quindi, è quello di ricostruire l'evoluzione e le modificazioni geomorfologiche-ambientali dei due bacini idrografici durante la fase tardo-olocenica, con particolare attenzione al periodo altomedievale, nonché analizzare le dinamiche insediative ed i processi di formazione, occupazione ed abbandono del record archeologico del sito altomedievale di Vetricella (Fig. I.2, Marasco *et al.*, 2018), localizzato all'interno della pianura costiera di Follonica e Scarlino ed in stretta relazione con il fiume Pecora.

	Eonothem / Eon Erathem / Era System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)	
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene	Meghalayan	present	
				Northgrippian	0.0042	
				Greenlandian	0.0082	
				Upper	0.0117	
				Middle	0.126	
			Pleistocene	Calabrian	1.80	
				Gelasian	2.58	
				Pliocene	Piacenzian	3.600
			Neogene	Miocene	Zanclean	5.333
					Messinian	7.246
		Tortonian			11.63	
		Serravallian			13.82	
		Langhian			15.97	
			Burdigalian	20.44		
			Aquitanian	23.03		

Figura I.1 – Nuova suddivisione del Quaternario con riportati gli stadi del Meghalayan, Northgrippian e Greenlandian (International Commission on Stratigraphy. “International Chronostratigraphic Chart v2018)

Il Dottorato di Ricerca è stato finanziato e si è svolto nell’ambito del progetto *ERC (European Research Council), Horizon 2020, nEU-Med ‘Origins of a new economic union (7th to 12th centuries): resourcers, landscapes and political strategies in a Mediterranean region’, (grant agreement No. 670792)*, iniziato nel 2015, promosso e coordinato dal Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali, Università di Siena (Principal Investigator: Prof. Richard Hodges; Co-director: Prof.ssa Giovanna Bianchi)¹ (v. #I.1.2.).

Sulla base delle diverse questioni archeologiche presentatesi, nonché l’assenza di studi geoarcheologici e geomorfologici progressi relativi alla fase tardo-olocenica, l’area presa in esame ha offerto il contesto ideale per un approccio geoarcheologico basato sul concetto di Multiscala (Butzer, 1982; French, 2003). Tale approccio consente infatti di relazionare una o più emergenze puntuali (es. un sito archeologico) con un territorio connesso e geograficamente più vasto. In questo modo è possibile definire le dinamiche locali, analizzando le cause e gli effetti, in una visione unitaria di un contesto più ampio. Tale approccio, inoltre, si predispone perfettamente per sistemi vallivi con superfici di piccole-medie dimensioni, dove i cambiamenti dei profili dei fiumi e dei tributari risultano in fasi sostanziali di aggradazione ed incisione (Denham *et al.*, 2003; Cordova, 2008; Brown *et al.*, 2016). Viceversa, l’identificazione di segnali antropici risulta problematica in fiumi di grande portata, dove gli effetti delle

¹ (<http://www.neu-med.unisi.it/>)

oscillazioni climatiche influenzano più facilmente i flussi sedimentari dei bacini idrici di grandi dimensioni (Marchetti, 2002; Goodbred, 2003; Rosen, 2008).

L'areale di studio analizzato su più livelli di risoluzione (Macroscale, Mesoscale e Microscale) ha premesso di selezionare, nel corso dei 3 anni di ricerca, un ampio spettro di dati inediti che hanno fornito, in ultimo, un importante contributo alla ricerca archeologica medievale della Toscana determinando come, quando e perché il paesaggio fisico sia cambiato e valutare quanto le dinamiche antropiche hanno influito nella sua modellazione. In particolare, ogni scala di risoluzione si è focalizzata sui seguenti obiettivi:

- **Macroscale (Sez. II):** a questa scala, si è preso in considerazione lo studio dei bacini idrografici dei fiumi Pecora e Cornia. La ricerca si è posta l'obiettivo di descrivere ed analizzare le caratteristiche geomorfologiche e sedimentologiche del territorio nonché gli agenti, i processi ed i fattori responsabili della sua genesi e la sua evoluzione del tempo. Dato l'areale d'indagine estremamente vasto e complesso, la ricerca si è svolta in due fasi. La prima ha riguardato il sistema vallivo del fiume Pecora, caratterizzato in epoca storica da ambienti di tufi calcarei (Benvenuti *et al.*, 2009), oggigiorno non più attivi, che determinavano la presenza di aree umide palustri e di stagni. In aggiunta, la regimazione e canalizzazione odierna del reticolo idrografico è il risultato di opere di drenaggio e bonifica iniziate nel XIX sec. AD (Londi *et al.*, 2007). L'obiettivo, quindi, è stato quello di determinare la relazione tra le modificazioni idrogeologiche ed uso del suolo durante le fasi altomedievali precedenti alle opere di bonifica. Per quanto riguarda il bacino del fiume Cornia, l'assetto vallivo, nonché l'assenza di affioramenti adatti, non ha permesso di condurre ulteriori analisi. La seconda fase ha invece riguardato la caratterizzazione ed evoluzione delle pianure costiere di Follonica/Scarline (Pecora) e Piombino (Cornia) durante i secoli altomedievali. In epoca storica questi ambienti erano caratterizzati da sistemi lagunari e palustri confinati da sistemi di cordoni dunali che vennero progressivamente colmate attraverso opere di bonifica.
- **Mesoscale (Sez. III):** le ricerche archeologiche pregresse condotte per questo territorio avevano già proposto un'ipotesi ricostruttiva del paesaggio altomedievale caratterizzato dall'abbandono delle pianure alluvionali a seguito della crisi della società tardo-romana e conseguente impaludamento dei fondivalle (Francovich, 1985; Farinelli, 2013). Con la scoperta del sito altomedievale di Vetricella, coevo alla presenza di ambienti umidi palustri, tale ipotesi è stata messa in forte discussione (Marasco, 2009; 2012). Ciononostante, la presenza del sito archeologico di Vetricella nell'area ha fatto emergere

la domanda archeologica di quale fosse la sua relazione con il paesaggio circostante, in particolar modo con gli ambienti umidi, palustri e lagunari, che secondo le fonti archivistiche in alcuni settori erano ancora navigabili in epoca medievale. Inoltre, l'analisi alla Mesoscala ha consentito di definire con maggiore precisione le relazioni tra attività insediative e le dinamiche geomorfologiche in atto intorno al sito, ad esempio i rapporti con le pericolosità geomorfologiche connesse.

- **Microscala (Sez. IV):** il sito archeologico di Vetricella, definito in bibliografia con il termine "motta" (Marasco, 2012), si caratterizza per l'inusuale presenza di un dosso rialzato artificialmente su cui si imposta una struttura centrale quadrata e circondato da un sistema di tre fossati circolari. L'analisi geoarcheologica si è concentrata quindi nell'analisi e descrizione dei processi di formazione, frequentazione ed abbandono del sito archeologico. La sintesi dell'analisi alla Microscala ha permesso di avere una visione più chiara delle modalità di uso dello spazio all'interno e nelle aree immediatamente prospicienti del sito, sia in termini di pianificazione e realizzazione delle opere (es. fossati) sia di distribuzione delle attività produttive e domestiche.

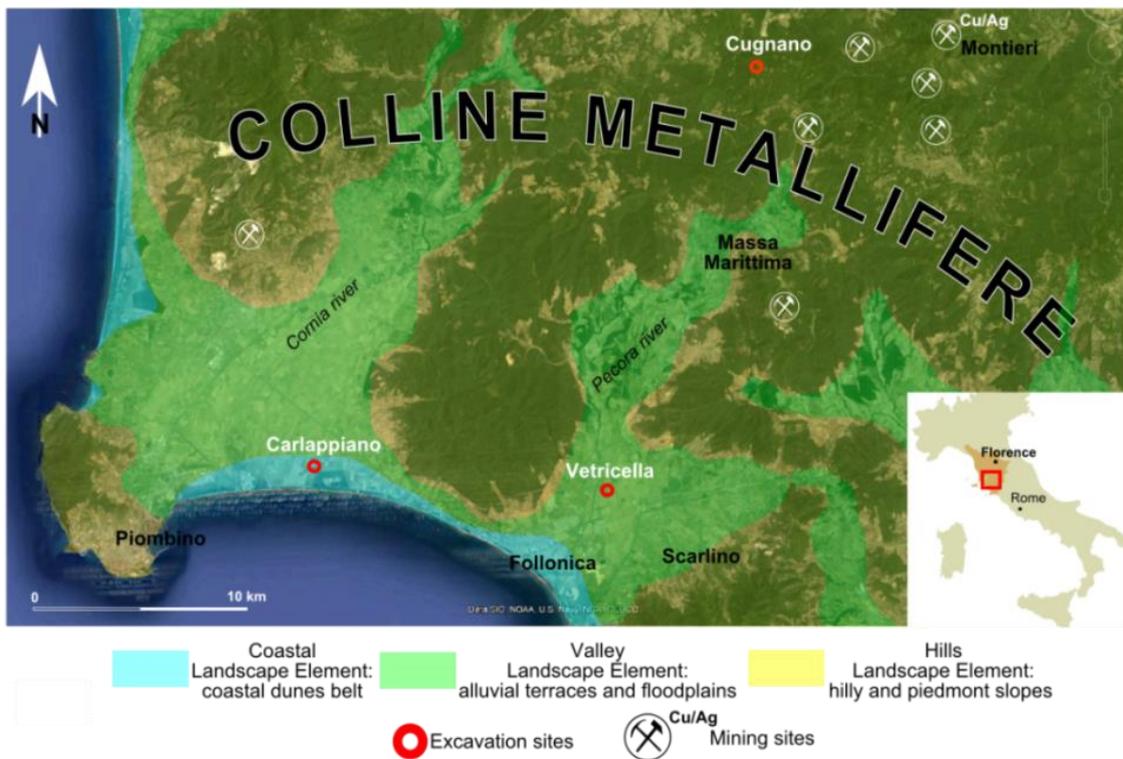


Figura I.2 – Area d'indagine del progetto ERC nEU-Med

I.1.2. IL PROGETTO ERC NEU-MED

Come detto, la presente ricerca si è svolta nell'ambito del progetto ERC nEU-Med *'Origins of a new economic union (7th to 12th centuries): resourcers, landscapes and political strategies in a Mediterranean region'* (Bianchi & Hodges, 2018).

Come il titolo suggerisce, lo scopo principale di questo progetto è quello di indagare le modalità ed i tempi della crescita economica che l'area occidentale del Mediterraneo visse durante l'Altomedioevo (VII-XII sec. AD).

Negli ultimi 30 anni l'archeologia medievale ha molto dibattuto sulle cause della crescita economica dell'Europa mediterranea nell'Altomedioevo e ha fornito numerosi dati che hanno rivalutato l'interpretazione invalsa della storia europea dopo la caduta dell'Impero Romano sino ai secoli centrali del Medioevo (McCormick, 2001). Gli studi identificano infatti una cesura cronologica tra VII e IX secolo tra Europa settentrionale e meridionale. In questo periodo, infatti, le regioni europee settentrionali iniziarono a vivere una importante ed omogenea crescita economica, legata ad una intensificazione dell'agricoltura ed all'introduzione della monetazione in argento (Hodges, 2012). Al contrario, per lo stesso periodo, nell'area mediterranea permaneva ancora un sistema economico di tipo rurale (Hodges, 2012). È solo a partire dal IX secolo che alcune regioni dell'Europa meridionale, tra cui l'Italia, sperimentarono processi di trasformazione e crescita socio-economica; ciò comportò, a partire dal XII secolo, la formazione graduale di un più stabile scenario economico che portò ad un ampio sistema di scambi commerciali e culturali tra Sud e Nord Europa, spianando infine la strada verso il Rinascimento (McCormick, 2001; Wickham, 2005; Hodges, 2012).

Da decenni le ricerche archeologiche e storiografiche che si occupano dell'area mediterranea dibattono sulle circostanze che portarono allo sviluppo di città e complessi traffici commerciali marittimi e terrestri durante la crescita economica del XII secolo. Gli esperti del settore sono concordi nel collocare i presupposti di questo sviluppo all'XI secolo (McCormick, 2001); tuttavia, in tempi recenti, nuovi studi tendono ad anticipare le prime tracce a partire dall'VII-IX secolo, focalizzando l'attenzione sul tema della gestione pubblica degli spazi e dei relativi beni fiscali. Questo aspetto però è stato trattato analizzando soprattutto le fonti scritte (McCormick, 2001; Wickham, 2005).

Da questo presupposto nasce la volontà del progetto nEU-Med di comprendere come le società pubbliche e le entità politiche, tra IX e XI secolo siano intervenute attivamente sul territorio,

controllando sia le dinamiche insediative, sia lo sfruttamento delle risorse (Bianchi & Hodges, 2018).

Per affrontare queste problematiche storiche, il progetto concentra la sua ricerca nel settore corrispondente alla Toscana tirrenica centro-meridionale compreso tra i rilievi delle Colline Metallifere, i bacini idrografici del fiume Pecora (Provincia di Grosseto) e del fiume Cornia (Provincia di Livorno) e l'area costiera del Golfo di Follonica (Fig. I.2). Il territorio in questione, infatti, dispone già di una ragguardevole quantità di dati archeologici, risultato di 30 anni di ricerca e studi documentari ad opera di Riccardo Francovich. La ricchezza di risorse fondamentali per l'economia altomedievale, come ad esempio il sale (Aranguren *et al.*, 2014; De Marco, 2017; Dallai *et al.*, 2018), i giacimenti minerari (Dallai *et al.*, 2009; Da Mommio *et al.*, 2010; Bianchi *et al.*, 2012) e le produzioni agricole e forestali (Buonincontri *et al.*, 2013a-b, 2014, 2015) rendono questa porzione di territorio toscano un caso di studio molto importante nello scenario del Mediterraneo occidentale.

È dunque a partire da questo stato dell'arte che il progetto nEU-Med si è prefisso di raggiungere gli obiettivi sopra descritti e proporre un sostanziale avanzamento delle conoscenze in relazione al contesto altomedievale mediterraneo ma anche al paesaggio antico della Toscana centro-meridionale, in un approccio fortemente multidisciplinare grazie all'ausilio di diverse discipline scientifiche afferenti all'archeologia, ciascuna con i propri strumenti e metodologie, tra cui la Geoarcheologia.

CAPITOLO I.2 - AREA D'INDAGINE

I.2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E ASSETTO STRUTTURALE

I bacini idrografici dei fiumi Pecora e Cornia sono localizzati all'interno della Maremma grossetana. L'assetto stratigrafico e strutturale delle formazioni geologiche presenti nell'area è il risultato dell'evoluzione sedimentaria e tettonica che ha interessato la penisola italiana prevalentemente fra l'Oligocene ed il Pliocene (Carmignani *et al.*, 1994, 1995, 2004). In questo periodo, le rocce depositatesi tra il Triassico e il Miocene sono interessate da fasi compressive con formazione di una catena a pieghe e sovrascorrimenti di tipo “*Thrust and Fold Belt*” a seguito della collisione tra la Placca Europea e la Placca Africana (Adria) (Carmignani *et al.*, 2004). Tale sovrapposizione geometrica, strutturale e stratigrafica delle diverse Unità si è verificata attraverso diverse fasi:

- a) fase tettonica compressiva, iniziata nell'Oligocene e continuata fino al Miocene inferiore (Carmignani *et al.*, 1995; Carosi *et al.*, 1995; Brunet *et al.*, 2000) , che ha determinato il piegamento e il sovrascorrimento delle Unità Toscane con inspessimento della successione (Gasperi, 1970; Brogi & Lazzarotto, 2002). Nella stessa fase si verifica l'accavallamento delle Unità Subliguri e Liguri.
- b) fase tettonica estensionale, a partire dal Miocene medio (Carmignani & Kligfield, 1991; Carmignani *et al.*, 1994), caratterizzata da piani a basso angolo che causarono la riduzione di spessore crostale (Decandia *et al.*, 1998) e determinarono importanti fenomeni di delaminazione tettonica delle unità litostratigrafiche preesistenti (Brogi, 2003, 2004a-b). A questa fase si associano fino al Pliocene i bacini di tipo *piggy back*, con deformazioni plicative associate alla tettonica distensiva ad alto angolo, che vengono progressivamente colmati da sedimentazione continentale e marina connessi alla progressiva subsidenza e alle oscillazioni eustatiche e climatiche (Jolivet *et al.*, 1998; Amorosi *et al.*, 2004).
- c) fase estensionale ad alto angolo che a partire dalla fine del Pliocene ha caratterizzato la catena appenninica congiuntamente al sollevamento verticale generalizzato (Bertini *et al.*, 1991; Bossio *et al.*, 1993, 1995; Baldi *et al.*, 1994; Dallmeyer *et al.*, 1995; Liotta *et al.*, 1998). Si sono così formati i bacini tipo *graben* o *semigraben* le cui faglie dirette bordiere tagliano le successioni fino alle Unità plioceniche (Mariani & Prato, 1988; Martini & Sagri, 1993; Martini *et al.*, 2001; Pascucci, 2005).

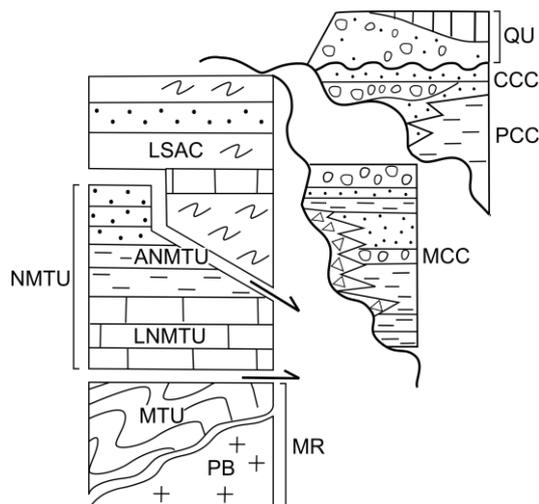


Figura I.3 – Schema dei rapporti tra le diverse Unità Litostrutturali che caratterizzano l'Appennino (modificata da Coltorti *et al.*, 2017). Legenda: **MR** – Rocce Metamorfiche; **PB** – Basamento Paleozoico; **MTU** – Unità Toscane Metamorfiche; **LNMTU** – Unità Toscane non metamorfiche del Triassico-Giurassico; **ANMTU** – Unità Toscane non metamorfiche del Cretacico-Miocene; **LSAC** – Unità Liguri e Subliguri; **MCC** – Unità Mioceniche; **PCC** – Unità Plioceniche prossimali; **CCC** – Unità Plioceniche profonde; **QCT** – Unità Quaternarie

Nella Toscana Meridionale si possono riconoscere 6 principali unità lito-strutturali (Coltorti *et al.*, 2011, 2017), caratterizzate da una complessa storia deposizionale e deformativa (Fig.I.2).

Di seguito si riportano le caratteristiche principali delle unità lito-strutturali, riportate in carta in Annesso I (Tav. Al.1):

- **Rocce metamorfiche (MR)**: costituite dal Basamento Paleozoico (**PB**), con scisti, metareniti, metaconglomerati, metadolomie e marmi, che costituiscono l'unità più antica della catena appenninica (Rau, 1991; Bertini *et al.*, 1994), e dalle Unità Toscane Metamorfiche (**MTU**). Si tratta di gruppi formati principalmente da filladi, quarziti e metaconglomerati di ambiente continentale, depositatisi nel Dominio Toscano tra il Triassico e il Miocene e che hanno subito metamorfismo a causa dell'impilazione delle diverse unità strutturali e il conseguente approfondimento a livelli crostali più profondi (Bertini *et al.*, 1994; Lucci & Massella, 2012). Sopra queste Unità si possono trovare, in discordanza erosiva o tettonica, le unità recenti
- **Unità Toscane non Metamorfiche (NMTU)**: nota in bibliografia come Falda Toscana (Merla, 1952; Giannini *et al.*, 1962; Bertini *et al.*, 1991; Carmignani *et al.*, 1991), rappresenta la deposizione nel Dominio Toscano sul margine continentale della placca Adria. La successione stratigrafica completa triassico-miocenica è meglio conservata nei quadranti settentrionali dell'Appennino toscano; per contro, nella Toscana meridionale la sua presenza è frammentaria a causa dei processi tettonici estensionali dovuti

all'apertura del bacino Ligure-Piemontese e che comportò, in questa fase, l'attivazione di faglie dirette a basso angolo e conseguente elisione della sequenza giurassico-oligocenica. Le Unità Liguri, sovrapposte tettonicamente, poggiano direttamente sui termini evaporitici triassici, conducendo alla formazione della cosiddetta "Serie ridotta" (Bertini *et al.*, 1991; Decandia *et al.*, 1993, 2001). La parte basale della Successione Toscana è rappresentata da termini calcarei, dolomitici e anidritici Triassico-Giurassici (**LNMTU**) mentre la parte sommitale è caratterizzata dai litotipi marnosi, marnoso-calcareo, argillosi e torbiditici dell'intervallo Cretacico-Miocene Inferiore (**ANMTU**).

- **Unità Liguri e Subliguri (LSAC)**: in discordanza sulle Unità Subliguri e della Falda Toscana, costituiscono i terreni depositatesi nel Bacino oceanico Ligure-Piemontese di età Giurassico-Cretacica (Carmignani *et al.*, 1994; Del Tredici & Robbiano, 1997). A queste unità appartengono le serpentiniti, i gabbri, i diaspri e i basalti tipiche di fondo oceanico a cui si sovrappongono calcari, calcari marnosi, argilliti di colore grigio scuro e calcari silicei (Marroni *et al.*, 1992).
- **Unità Mioceniche (MCC)**: brecce calcaree, conglomerati fluviali, sabbie argille lacustri depositate all'interno di bacini di tipo sinforme (Coltorti *et al.*, 2011) durante le fasi di basso stazionamento marino della fine del Miocene. Si trovano in discordanza su tutte le Unità precedentemente descritte.
- **Unità Plioceniche**: costituite da successioni spesse molte centinaia di metri di depositi marini conglomeratici e sabbiosi prossimali (**PCC**) e profondi (**CCC**), la cui sedimentazione è avvenuta in discordanza su tutte le Unità descritte precedentemente all'interno di bacini sinformi durante le fasi trasgressivo-regressive plioceniche (Bossio *et al.*, 1993).
- **Unità Quaternarie (QU)**: costituite da depositi continentali e costieri legati al sollevamento generalizzato dell'area appenninica e legate all'evoluzione del paesaggio fisico e alle sue relazioni con le variazioni climatiche quaternarie (Costantini *et al.*, 1995; Bossio *et al.*, 2000; Boschian *et al.*, 2006). Si trovano in discordanza su tutte le Unità descritte precedentemente. Nelle unità quaternarie si distinguono i depositi pleistocenici dei tufi calcarei di Massa Marittima (Bradi *et al.*, 1968), ubicati a quote più alte rispetto ai fondivalle, e di depositi recenti olocenici (Costantini *et al.*, 2002, Benvenuti *et al.*, 2009), formati da depositi alluvionali ed alluvionali terrazzati, formazioni di tufi calcarei, depositi palustri e lacustri, depositi eolici e di spiaggia.

I.2.1.1. Mineralizzazioni Colline Metallifere

Dal punto di vista archeologico, una delle conseguenze più importanti dell'evoluzione geologica dell'area è costituita dalle mineralizzazioni delle Colline Metallifere che già in epoca antica hanno costituito una risorsa determinante per lo sfruttamento del territorio e per la storia insediativa (Dallai, 2009; Rovelli, 2010; Benvenuti *et al.*, 2019). Le mineralizzazioni sono prevalentemente filoniane (Tanelli, 1983, Lattanzi *et al.*, 1994; Liotta *et al.*, 2010) impostate sui contatti tettonici tra il Basamento Paleozoico (PB), le Unità Toscane Metamorfiche (MTU), non Metamorfiche (NMTU) e le Unità Liguri e Subliguri (LSAC). I processi di trasporto tettonico hanno quindi determinato fenomeni di metamorfismo con conseguente mobilizzazione per epitermalismo di fluidi caldi e ricristallizzazione dei corpi minerari (Carella *et al.*, 2000; Musumeci *et al.*, 2002; Dini *et al.*, 2005), già presenti in forma esalativa sedimentaria all'interno delle formazioni triassico-paleozoiche (Lattanzi & Tanelli, 1985; Lattanzi *et al.*, 1994) originando giacimenti con mineralizzazioni a solfuri misti (Cu, Zn, Pb, Ag, Sb, Au, Tanelli, 1977), a pirite, e ad alunite.

Le mineralizzazioni a solfuri misti si concentrano al contatto tettonico tra le Unità Liguri e le Unità Toscane, in particolare nella porzione basale in corrispondenza della formazione del Calcare Cavernoso, e consistono per la maggior parte di calcopirite, galena argentifera, sfalerite con subordinata pirite arsenicale, e, in quantità minore, di altri solfuri, solfosali ed ossidi. Corpi mineralizzati a pirite si individuano in corrispondenza di zone estensionali dove si mettono in posto anche corpi magmatici granitoidi. La mineralizzazione è composta per la maggior parte da pirite, con giacimenti subordinati di ematite e magnetite, ed in minore quantità solfuri e solfosali. Le mineralizzazioni ad alunite sono invece concentrate in lenti e vene all'interno delle Unità Toscane basali e delle Unità Liguri a seguito della silicizzazione dei calcari ad opera dell'idrotermalismo, con conseguente formazione di alunite e caolinite.

I.2.2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Le quote massime dei rilievi si osservano lungo lo spartiacque settentrionale del fiume Cornia dove raggiungono ca. 900 m slm e degradano progressivamente verso la costa. I corsi d'acqua drenano in direzione N-NE/S-SO generando, nei tratti distali, ampie pianure alluvionali che oggi occupano in parte le aree umide (Padule di Piombino, a Nord e Padule di Scarlino, a Sud) bonificate definitivamente ad iniziare dal XIX secolo (Londi *et al.*, 2007).

La descrizione delle superfici presenti è stata sintetizzata secondo il loro ambito di competenza, in linea con il sistema di mappamento geomorfologico basato sul concetto di

Unità di Paesaggio ("*Land Units*", Zonneveld, 1989; Cooke & Doornkamp, 1990). Nel complesso, nell'area indagata si distinguono 3 principali unità paesaggistiche (UP) definite sulla base dell'omogeneità dei tratti morfologici generali e dei processi geomorfologici responsabili del loro modellamento. Al loro interno si distinguono ulteriori sottounità, denominati Elementi di Paesaggio (EP), che nell'insieme determinano la UP. La mappa geomorfologica di riferimento è riportata in Annesso I (Tav. Al.2)

I.2.2.1. Unità di Paesaggio Collinare (UPC)

È il paesaggio tipico dei rilievi collinari delle aree più interne e dei versanti delle dorsali collinari che degradano verso la costa. All'interno di questa UP si possono distinguere EP che sono caratterizzati da morfologie relativamente uniformi in termini di processi geomorfologici che li hanno generati.

Versanti (UPC-Ve)

I versanti dei rilievi collinari presentano pendenze prevalentemente comprese tra i 10° e i 25°. Localmente, in prossimità degli spartiacque, si osservano pendenze maggiori. Si tratta di versanti prevalentemente ricoperti di vegetazione boschiva interrotta localmente da colture ad arborato (vigneti ed uliveti) e in misura subordinata da seminativi. I versanti hanno geometrie irregolari prevalentemente convesse od ondulate e sono soggetti a dinamiche gravitative diffuse (colamenti superficiali e scorrimenti rotazionali) e di ruscellamento superficiale. Il reticolo di drenaggio, di tipo dendritico, si approfondisce all'interno di vallecole a V e, localmente, ad U; in quest'ultime prevalgono i processi di deposizione dei depositi detritici e colluviali prodotti e trasportati dalle parti più elevate dei versanti. L'erosione selettiva gioca un ruolo determinante nel modellamento di versanti a gradini o di scarpate strutturali in corrispondenza delle litologie più resistenti all'erosione.

Valli (UPC-Va)

Rappresentano i tratti prossimali dei corsi d'acqua. Nel caso del bacino del fiume Cornia sono rappresentati da versanti molto acclivi e fondivalle pianeggianti, estesi lateralmente fino a 500 m. I corsi d'acqua attuali sono generalmente re-incisi fino a 10 m all'interno dei depositi della pianura alluvionale. Localmente è possibile osservare lembi isolati di terrazzi alluvionali posti fino a ca. 20 metri sul fondovalle attuale. Nel bacino del fiume Pecora questo EP è limitato ai tratti più prossimali dei principali tributari, dato che tale bacino presenta caratteristiche

peculiari che verranno descritte successivamente. La vegetazione ripariale è presente solo a tratti mentre la pianura alluvionale, dove più estesa, è caratterizzata da colture a seminativo.

Carsismo (UPC-Vc)

Questo EP descrive quei tratti di paesaggio presenti nel Bacino del fiume Pecora le cui caratteristiche dipendono principalmente da processi carsici. Si tratta di formazioni di tufi calcarei (CT) che costituiscono un complesso sistema di cascate e pozze sviluppati lungo i versanti del rilievo di Massa Marittima, sullo spartiacque tra i fiumi Bruna e Pecora. L'età di questi sistemi carsici deposizionali è stata attribuita al Pleistocene inferiore (Brandi *et al.*, 1968) sebbene tale interpretazione non sia supportata da alcun dato crono- o bio-stratigrafico.

I.2.2.2. Unità di Paesaggio Vallivo (UPV)

Questa UP caratterizza i tratti mediani dei corsi d'acqua in entrambi i bacini. Anche in questo caso si possono riconoscere 3 diversi EP sulla base dell'omogeneità dei processi geomorfologici. In questa UP l'uso del suolo prevalente è a seminativo e solo localmente si osservano tratti di vegetazione ripariale.

Depressioni carsiche (UPV-Ca)

In questo EP rientrano le ampie depressioni, originariamente chiuse, di forma semicircolare e coalescenti osservabili ad Ovest e Sud dell'abitato di Massa Marittima (Pian del Vescovo e S.te Aronne). L'origine carsica di queste forme è dovuta all'affioramento dei terreni calcarei e dolomitici delle Unità Toscane. In corrispondenza di queste depressioni sono presenti alcune risorgive carsiche (Le Venelle e Aronne) che ancora oggi alimentano il drenaggio del Torrente Ferriere. Oggigiorno queste aree sono soggette a regimazione artificiale dei corsi d'acqua a causa della tendenza naturale alla formazione di aree permanentemente o stagionalmente umide.

Fondivalle terrazzati (UPV-Te)

Questo EP si osserva nel tratto mediano del fiume Cornia, dove il fondovalle si amplia fino a raggiungere 1 km di estensione laterale. La caratteristica principale di questo EP è la presenza di ampi terrazzi alluvionali le cui superfici sono poste fino a 10 m sul *thalweg* attuale.

Pianure alluvionali (UPV-Pa)

Gli elementi si osservano nel bacino del fiume Pecora, sia nel tratto mediano del corso d'acqua principale sia lungo i principali tributari di sinistra nel tratto tra Gavorrano e Puntone. Si tratta di pianure alluvionali molto estese lateralmente, localmente re-incise dal corso d'acqua attuale o soggette a drenaggio artificiale.

Tufi Calcarei (UPV-Ct)

Gli elementi caratterizzano la maggior parte del tratto mediano del fiume Pecora e del torrente Ferriere. In quest'area la presenza di sistemi deposizionali carbonatici di acque fredde è testimoniato dalla successione di morfologie tipiche quali gradini trasversali alla valle (cascate e *barrages*) alternati ad ampi terrazzi pianeggianti. Oggi questi sistemi deposizionali non sono più attivi e il fiume Pecora re-incide profondamente (fino a circa 15 m) sia i *barrages* sia i terrazzi, scorrendo all'interno di una forra con andamento sinuoso. Nell'area di Valpiana, in corrispondenza del Torrente Ferriere, i tufi calcarei formano terrazzi alti fino a 10 m sul fondovalle attuale, generalmente molto ampio e soggetto a regimazioni idrauliche.

Conoidi alluvionali (UPV-Co)

Questo EP si caratterizza per la presenza di conoidi alluvionali che formano un'estesa fascia coalescente alla base dei versanti ad opera dei brevi corsi d'acqua torrentizi. Si tratta di forme convesse e con pendenze massime di 10°, decrescenti dalla parte apicale verso quella distale. Nell'area compresa tra Cura Nuova e Scarlino sono presenti estesi lembi di superfici di conoidi alluvionali terrazzati posti fino a 5 m sul fondovalle attuale e seppelliti a valle da depositi della pianura alluvionale stessa (UPV-Va).

I.2.2.3. Unità di Paesaggio Costiero (UPCo)

Questa UP caratterizza i tratti distali dei corsi d'acqua di entrambi i bacini idrografici. La caratteristica principale è costituita dalle dimensioni della pianura che eccedono i 5 km di estensione. Entrambi i settori costieri erano caratterizzati nel passato da estese aree umide (Paduli di Piombino e Scarlino) bonificate a partire dagli inizi del XIX secolo (Londi *et al.*, 2007). Similmente alle altre UP, anche in questa si possono riconoscere 3 diversi EP in base all'omogeneità dei processi geomorfologici.

Pianura Costiera con Paleoalvei (UPCo-Pc)

Entrambi i bacini idrografici presentano un tratto distale che si amplia improvvisamente rispettivamente a 6 km (Pecora) e 13 km (Cornia) dalla linea di costa. Al loro interno si riconoscono numerose tracce di paleoalvei, indicativi di come il drenaggio naturale fosse dominato dalla tendenza dei corsi d'acqua alla divagazione nella pianura. Tali paleoalvei sono ben riconoscibili all'osservazione da remoto delle ortofoto multitemporali, inclusa la cartografia storica. Localmente si osservano evidenze sedimentarie della presenza di paleoalvei sul terreno attraverso sia osservazioni su scavi artificiali sia con sondaggi meccanici (cfr. #II.3.2 per il Pecora e §II.4.1.1 per il Cornia). Oggigiorno il drenaggio delle pianure è completamente antropizzato in seguito agli interventi di bonifica che si sono succeduti nel tempo (Londi *et al.*, 2007). L'uso del suolo è dominato da estesi seminativi semplici e irrigui.

Pianura costiera dei Paduli (UPCo-Pa)

Si tratta del tratto più distale delle pianure costiere separati dalla linea di costa dai sistemi di cordoni dunali. Oggigiorno questi EP sono riconoscibili solo localmente (es. l'Oasi WWF di Padule di Orti-Bottagone nella piana del Cornia, Viciani & Lombardi, 2001) a causa dell'intensa antropizzazione dell'area ed alla bonifica definitiva avvenuta negli anni '50 del XX secolo. I dati storici (Londi *et al.*, 2007) riportano la presenza di ambienti lagunari aperti al mare ristretti al settore più occidentale della pianura di Piombino e quello più meridionale della pianura di Scarlino. Alle spalle delle lagune erano presenti estesi ambienti paludosi caratterizzati da vegetazione forestale ripariale e di ambiente umido che si estendevano verso terra fino a 6 km. Si tratta di aree originariamente localizzate a quote prossime e/o leggermente inferiori al livello del mare; tuttavia, oggi, a seguito della bonifica per colmata, si trovano a quote superiori.

Spiagge e dune (UPCo-SD)

Si tratta degli elementi più prossimi alla linea di costa. In particolare, il bacino del fiume Cornia è interessato da un sistema di 3 cordoni dunali posti progressivamente a quote inferiori dal più interno al più esterno e che si rinvencono fino a circa 1 km dalla spiaggia. Queste morfologie, parallele l'una all'altra, sono lateralmente discontinue in quanto incise dai corsi d'acqua. Alle spalle della spiaggia attuale è presente il cordone dunale più recente, oggi inattivo, con dune alte mediamente 1,5 m e fortemente antropizzate. La depressione interdunale alle spalle di questo cordone ospita oggi un canale artificiale (Allacciante Cervia) che percorre per quasi

l'intera lunghezza il tratto di costa tra Follonica e Piombino e che consente il drenaggio delle aree limitrofe più depresse. Nel Bacino del fiume Pecora il tratto di costa è fortemente antropizzato e il cordone dunale originariamente presente alle spalle della spiaggia è oggi quasi completamente distrutto e obliterato dall'urbanizzazione e dalle infrastrutture moderne.

I.2.3. ASPETTI CLIMATICI GENERALI

L'area di studio si inserisce climaticamente all'interno della Maremma Grossetana, tipicamente mediterranea, con caratteristiche specifiche dell'area tirrenica costiera, in cui il mare, insieme a latitudine e quota, è un fattore fondamentale (Foggi *et al.*, 2006; Rapetti & Vittorini, 2012; Gabellini *et al.*, 2013; Iannuccilli, 2016).

Le estati sono generalmente calde e sensibilmente aride ma mitigate dai venti di maestrale e ponente, mentre gli inverni sono relativamente miti con occasionali gelate notturne e mattutine. Neve e ghiaccio hanno un grado di incidenza basso e limitato ai settori interni collinari, registrati sporadicamente anche per i settori costieri con tempi di ritorno medio-lunghi (Costantini *et al.*, 2002).

I dati pluviometrici registrati dalle stazioni meteorologiche presenti nell'area di studio (Scarlinò, Follonica: www.sir.toscana.it) indicano un valore medio di precipitazioni compreso tra i 550-650 mm annui, con minime estive e picchi autunnali accennati. Il dato registra una contrazione dei valori medi annuali del 9% ca. rispetto ai valori riportati per il trentennio 1951-1980 (Batoni da Roit, 1971; Barazzuoli *et al.*, 1993).

Le temperature rilevate dalle stazioni di Follonica e Scarlinò registrano una media termica annuale da 15,5°C a 16,7°C, con massime nei mesi di luglio e agosto e minime in gennaio (Bigi & Rustici, 1984). In accordo con la classificazione climatica di Köppen l'area d'indagine è considerata Csa (clima mesotermico, con accentuata siccità estiva e temperatura media del mese più caldo maggiore di 22°C) (Rapetti & Vittorini, 2012).

I venti hanno generalmente velocità che oscillano su valori medio-bassi, benché talora possono superare i 12 m/s. I dati anemologici riportati dalla Dichiarazione Ambientale Anno 2002 dello stabilimento NOUVA SOLMINE S.p.a. (Stabilimento di Scarlinò, GR) indicano un andamento dei venti predominanti da N e da NE-E, subordinatamente da S-NO. Durante i mesi invernali si registrano punte massime da S (Mezzogiorno) e NE (Tramontana e Greco), mentre nel periodo primaverile-estivo, i picchi massimi hanno direzione NO (Maestro) e S (Mezzogiorno); infine in autunno prevalgono i venti da N ed E (Tramontana, Greco e Levante).

I.2.4. IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME PECORA

I.2.4.1. Geografia e geomorfologia

Il bacino del fiume Pecora occupa una superficie di circa 250 km² e si estende tra i comuni di Massa Marittima e Follonica. L'area è delimitata da N a NO dalle colline del Parco di Montioni (spartiacque con il bacino idrografico del fiume Cornia), del monte Arsentì, a NE dai rilievi di Massa Marittima e Scarlino, e da O a SO dalla pianura costiera del Golfo di Follonica.

Il *bedrock* del bacino è costituito dai calcari della Formazione triassica del Calcare Cavernoso (LNMTU) su cui poggiano in discordanza tettonica i terreni marnoso calcarei e argillosi delle Unità Liguri (Costantini *et al.*, 2002).

Durante il Miocene il sollevamento e la continentalizzazione dell'area sono marcati dalla deposizione di spessi depositi di conoide e di pianura alluvionale conglomeratici MCC (Unità Mioceniche "Conglomerati di Montebamboli Fm", cfr. Bossio *et al.*, 1994; Costantini *et al.*, 2002). In discordanza su questi sono presenti i terreni argillosi e sabbiosi delle Unità Plioceniche PCC ("Argille Azzurre Fm", cfr. Costantini *et al.*, 2002), benché poco rappresentate nel bacino del fiume Pecora a seguito dei processi di erosione.

Le formazioni più recenti presenti nell'area rientrano nelle Unità Quaternarie (QU), costituite da depositi alluvionali, sia terrazzati (UPV-Te) sia lungo i fondivalle (UPV-Pa), e le pianure costiere (UPCo), formate da ghiaie, sabbie, silts e argille, localmente di ambiente palustre (Barazzuoli *et al.*, 2006). Questi depositi cannibalizzano tutte le unità precedenti e localmente la loro composizione ne è fortemente condizionata (es. "Conglomerato di Pod. S. Luigi", cfr. Mazzanti, 1995). Sul versante di Massa Marittima sono presenti depositi di tufi calcarei (UPC-Vc) costituiti da complessi di cascata, di ruscellamento e di ambiente palustre che si formavano in corrispondenza di importanti risorgenze idriche arricchite di carbonati (Benvenuti *et al.*, 2009). Deposit analoghi di tufi calcarei ma di formazione neoautoctona (UPV-Ct) si osservano lungo la valle del Pecora da Massa Marittima fino quasi alla confluenza con il Torrente Gora delle Ferriere (d'ora in avanti ed in mappa, Torrente Ferriere), con morfologie e facies sedimentarie tipiche di cascate, gradini fluviali e aree palustri conservate ed osservabili. All'interno dei complessi neoautoctoni, inoltre, sono state registrate concentrazioni elevate di Arsenico (As, Donati *et al.*, 2005; Costagliola *et al.*, 2010), dovuto alla presenza, all'interno del bacino idrografico, di giacimenti polimetallici e mineralizzazioni a pirite e solfuri misti (v. §I.2.1.1.). Le cause di questa contaminazione anomala di As sono legate sia a processi naturali sia a processi antropici. L'accumulo naturale di As negli alvei e nei paleoalvei di torrenti e fiumi

è legata ai processi erosivi e di trasporto di sedimenti già ricchi di As (Costagliola *et al.*, 2010), nonché a fenomeni di sostituzione degli atomi di As all'interno della struttura cristallina del carbonato di calcio (CaCO₃) e conseguente concentrazione nelle formazioni di tufi calcarei presenti nell'area della Marsigliana e di Valpiana (Di Benedetto *et al.*, 2006; Costagliola *et al.*, 2013). Le cause antropiche sono invece connesse alle attività estrattive e metallurgiche etrusche, romane e medievali (Donati *et al.*, 2004, 2007, Volpi, 2018), ed aumentate esponenzialmente con le attività industriali collegate alla lavorazione della pirite dagli anni '60 alla metà degli anni '90 (Rossato, 2010).

Il modellamento del paesaggio fisico collinare odierno (UPC) è frutto della complessa interazione tra il sollevamento tettonico quaternario ed il conseguente approfondimento vallivo, nonché le variazioni climatiche quaternarie (Coltorti *et al.*, 2011) e le loro relazioni con le oscillazioni eustatiche, le cui ripercussioni sono più evidenti nei tratti di pianura costiera. L'approfondimento vallivo (UPV) e le variazioni di carico solido dei corsi d'acqua durante l'alternanza di periodi freddi e aridi (glaciali) e caldi e umidi (interglaciali) hanno veicolato la deposizione di sedimenti alluvionali terrazzati (UPV-Te) preservati in lembi di limitata estensione lungo i versanti. I fondivalle attuali presentano estese morfologie pianeggianti caratterizzate dalla presenza di gradini morfologici trasversali alla valle, associati ai sistemi di cascate e paludi caratteristici della deposizione di tufi calcarei (UPV-Ct). In prossimità della costa la valle si amplia a formare una estesa pianura costiera olocenica (UPCo) dove la complessa interazione tra la risalita del livello marino e l'arrivo di depositi continentali fluviali ha favorito la formazione di estesi ambienti palustri e lagunari in prossimità della linea di costa (UPCo-Pa). Tali ambienti sono stati oggetto di bonifica definitiva a partire dall'inizio del XIX secolo (Londi *et al.*, 2007).

Nel tratto prossimale del bacino, nell'area di Massa Marittima, il modellamento del paesaggio è stato profondamente condizionato dall'espressione superficiale di fenomeni carsici sia epigei che ipogei (UPV-Ca) che hanno interessato la Formazione carbonatica del Calcare Cavernoso (Unità Toscane, LNMTU). Questo, affiora localmente ma è comunque presente a bassa profondità al di sotto della copertura costituita dai terreni argillosi e marnoso-calcarei (Unità Liguri, Brandi *et al.*, 1968, 1969; Negri, 2001).

I fenomeni carsici ipogei sono determinati dalla natura calcarea delle rocce costituenti il substrato (Calcare Cavernoso) in cui l'azione di dissoluzione ad opera delle acque sotterranee ha determinato fenomeni di carsismo profondo con un grado di evoluzione avanzato, in cui il risultato finale è apprezzabile dalla dolina di crollo in cui è installato il Lago dell'Accesa (Negri,

1998; Tassi *et al.*, 2014). I fenomeni carsici epigei sono invece diffusi in tutto il territorio di Massa Marittima, sottoforma di aree di assorbimento idrico, che hanno condotto alla formazione di estese depressioni chiuse di dimensioni modeste di alcuni chilometri e morfologie variabili (es. Pian del Vescovo, Fonte Aronna). Tali depressioni sono probabilmente frutto della coalescenza di doline, trattandosi quindi di “forme di interfaccia” (indicate in letteratura come “*Polje*” o piani carsici, Ford & Williams, 2007a) chiuse o semichiusate, e rappresentano le principali vie di alimentazione idrica dei sistemi carsici sotterranei. Nell’area d’indagine queste morfologie carsiche sono circondate da rilievi con pendenze del 30% in media, con angolo di raccordo brusco con il fondo subpianeggiante. La situazione di contatto litologico ai margini delle depressioni fra Unità Toscane LNMTU e Unità Liguri LSAC ha determinato fenomeni di risorgenze idriche, la maggior parte delle quali oggi disattivate, eccetto per le sorgenti Le Venelle ed Aronna.

Da queste depressioni, che ospitavano ambienti palustri, il reticolo si sviluppa attraverso due sistemi vallivi, quello del T. Ferriere verso Valpiana a SE e quello del fiume Pecora a NO. L’evoluzione di questo sistema vallivo suggerisce come il reticolo di drenaggio sia evoluto nel tempo attraverso una complessa serie di catture e deviazioni fluviali avvenute a partire dal Pleistocene superiore (Benvenuti *et al.*, 2009). Il reticolo di drenaggio attuale in questo settore è completamente artificializzato, con canalizzazioni sospese e cattura delle risorgenze carsiche ancora attive. Le sistemazioni idrauliche interessano tutto il tratto fino a loc. La Cascata. Questo settore rappresenta il gradino, alto fino a 80 m, a valle del quale si imposta il tratto mediano della valle del fiume Pecora. Il corso d’acqua raccoglie in questo punto le acque provenienti dai tributari di destra e incide profondamente, con un andamento poco sinuoso, le aree pianeggianti sospese sull’alveo; quest’ultime caratterizzavano le aree paludose dei sistemi di tufi calcarei, interrotte localmente da gradini trasversali di pochi metri di altezza. La presenza di sistemi di terrazzi a cascate associati alla deposizione di tufi calcarei si osserva anche lungo l’area di Valpiana, posta a SE in relazione al Torrente Ferriere.

L’età della formazione dei tufi calcarei è attribuita al Pleistocene-Olocene (Brandi *et al.*, 1968, 1969; Bossio *et al.*, 1993; Benvenuti *et al.*, 2009). In accordo con la letteratura riguardante gli ambienti dei tufi calcarei (Riding, 2002; Capezzuoli & Gandin, 2004; Capezzuoli *et al.*, 2014), nei settori corrispondenti *barrages* (es. loc. “La Cascata”) i litotipi predominanti sono quelli fitoermali, con abbondanti elementi vegetali incrostati rinvenuti ancora in posizione di crescita, che localmente si associano a litofacies di tipo fitoclastico. Negli ambienti palustri (es. “Piano del Padule”, “Padule del Moreta”), invece, sono attestate maggiormente le litofacies

stromatolitiche. Localmente è possibile osservare lenti argillose e conglomerati, riconducibili a migrazioni delle barre fluviali all'interno dell'area palustre. A seconda dell'ambiente deposizionale, i depositi hanno spessore variabile da 10 m, nelle aree palustri, a più di 40 m nelle zone di *barrages* e nell'area di Valpiana.

Il tratto distale del fiume Pecora (per dettagli maggiori, v. §II.4.1.2) si amplia a formare la pianura costiera fino alla zona litorale ed il Golfo di Follonica (ARPAT, 2014). La spiaggia attuale è bassa e sabbiosa e il cordone dunale olocenico (UPCo-SD) presente originariamente (ben osservabile fino agli inizi del XX secolo (Londi *et al.*, 2007) è oggi quasi completamente distrutto a seguito dello sfruttamento urbanistico della costa (Bartolini *et al.*, 1977; 1989). Solo il tratto di costa più meridionale, da Portiglioni a Punta Ala (fuori mappa), è caratterizzato da ripide falesie, con quote apicali di 46 m e soggette a fenomeni di erosione (Bartolini *et al.*, 1977; 1989; Pranzini & Rossi, 2000).

I.2.4.2. Idrografia

La regimazione delle acque superficiali e la bonifica di estesi tratti della pianura alluvionale e costiera hanno modificato profondamente il reticolo di drenaggio che oggi risulta completamente artificializzato (Tongiorgi, 1957). Oggigiorno gli unici corsi d'acqua marginalmente interessati da opere di regimazione sono i tributari di destra (Fosso Trecine, Fosso Rimarchigi, Fosso Borgognano, Fosso dell'Acqua Nera), sebbene anch'essi siano fortemente influenzati dalle dinamiche del fiume Pecora e dalla storia delle sue sistemazioni idrauliche.

I corsi d'acqua più importanti del bacino idrografico sono il fiume Pecora, il Torrente Ferriere ed il Canale Allacciante.

Il fiume Pecora nasce da monte Arsentì ad una quota di ca. 400 m s.l.m., è lungo circa 25 km, e defluisce verso valle fino a sfociare a mare tramite una serie di canalizzazioni in Loc. Puntone. Il fiume Pecora è un corso d'acqua a carattere torrentizio, con portate minime assai ridotte nel corso dell'anno, fino alla sua totale siccità nei periodi estivi. Le uniche sorgenti ancora attive sono quelle di Le Venelle ed Aronna, aventi una portata media compresa tra 30 e 50 l/sec (Stefanelli, 2004). Queste acque vengono attualmente fatte convogliare nel Torrente Ferriere. Quest'ultimo scorre nell'area di Valpiana, raccogliendo le acque di tributari torrentizi minori. Il corso d'acqua non confluisce all'interno del fiume Pecora, ma viene convogliato in un ponte-canale, nei pressi di Cura Nuova, e fatto sfociare a mare a Follonica. Nel tratto costiero la più importante opera di regimazione, oltre al fiume Pecora, è quella del Canale Allacciante,

realizzato durante le opere di bonifica del XIX sec. (Londi *et al.*, 2007), per il drenaggio delle acque provenienti dai versanti di Bagni di Gavorrano e Scarlino. Il canale scorre nel settore orientale della Piana di Scarlino e arriva a mare in località Puntone.

I.2.5. IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME CORNIA

I.2.5.1. Geografia e geomorfologia

Il bacino idrografico del fiume Cornia è delimitato a N dai monti di Campiglia Marittima, a NE dalle colline di Suvereto, ad E dai rilievi collinari che si sviluppano da località Forni fino ai rilievi di Vignale e Riotorno, ad O dal promontorio della città di Piombino, e da NO a S dalle coste di Rimigliano (fuori mappa) e dal Golfo di Follonica. L'area confina a N con il bacino del fiume Cecina, a S con i bacini dei fiumi Pecora e Bruna, mentre ad E con il bacino del fiume Pavone.

L'assetto geologico del territorio è simile a quello del bacino del fiume Pecora tranne per la presenza diffusa dei depositi delle Unità Plioceniche (CCC) presenti prevalentemente nel tratto prossimale a O e NO di Monterotondo Marittimo. La valle del fiume Cornia presenta un tratto prossimale profondamente inciso all'interno di versanti acclivi modellati in prevalenza sui terreni delle Unità Plioceniche (PCC) e, in dimensioni ridotte, della pianura alluvionale, caratterizzate dalla presenza di lembi isolati di terrazzi alluvionali. Nel tratto mediano le dimensioni della pianura alluvionale aumentano e il fondovalle è caratterizzato da estese superfici di terrazzi alluvionali reincisi dal *thalweg* attuale (UPV-te). Infine, la parte distale della pianura alluvionale, nota in letteratura come Piana di Piombino (Censini *et al.*, 1991), si amplia notevolmente fino ad occupare una superficie di circa 50 km². La pianura costiera (UPCo) presenta uno spessore di depositi alluvionali (UPCo-Pc) variabile da 50 a 100 metri, prevalentemente grossolani alla base e più fini al tetto, con numerose eteropie laterali e verticali (Censini *et al.*, 1991; Ghezzi *et al.*, 1993; Barazzuoli *et al.*, 2008), depositi durante le oscillazioni climatiche del Quaternario e alle oscillazioni eustatiche (Amorosi *et al.*, 2004). Nell'area sono inoltre presenti localmente depositi in affioramento attribuibili all'Ultimo Interglaciale (Tirreniano, Mazzanti *et al.*, 1981) in seguito alle fasi di sollevamento tettonico. Per quanto riguarda l'Olocene, durante le fasi di trasgressione, la formazione di cordoni dunali (UPCo-DS) ha favorito la formazione di ambienti lagunari e palustri (UPCo-Pa) che si estendevano per alcuni chilometri all'interno della pianura (per ulteriori informazioni si veda §II.4.1.1.). Successivamente alla definitiva colmata di questi ambienti (avvenuta a partire dai primi decenni del XIX secolo) i depositi alluvionali prevalentemente argillo-siltosi favorevoli per l'agricoltura sono stati intensamente sfruttati anche dal punto di vista idrico con particolari

fenomeni di subsidenza accelerata (Bartolini *et al.*, 1977; 1989; Sbrilli, 2004; Rosi & Agostini, 2013). In aggiunta, nella fascia di territorio compresa tra la linea di costa e l'abitato di Venturina sono state identificate acque ad elevato contenuto salino, suggerendo il verificarsi di intrusione di acque marine e salmastre, sia diretta (cuneo salino) sia per risalita lungo gli alvei dei corsi d'acqua (Cerrina Feroni *et al.*, 2009)

I resti dei sistemi di cordoni dunali costieri si riconoscono oggi nel settore orientale (Carlappiano-Vignale) e costituiscono 3 sistemi paralleli, il più interno dei quali si trova a circa 1,5 km dalla spiaggia attuale con un'altezza di circa 4 m slm.

I.2.5.2. Idrografia

Il principale elemento idrologico dell'area è costituito dal fiume Cornia, lungo ca. 50 km, che ha origine nelle Colline Metallifere dalla confluenza di vari corsi d'acqua nei pressi di Sasso Pisano, a ca. 875 m slm. Il suo regime idrologico è di tipo torrentizio, caratterizzato da alternanze di momenti critici di piene improvvise e periodi di siccità. Nel tratto vallivo, i tributari maggiori sono il Rio Secco ed il Torrente Milia, in sinistra orografica, ed il Torrente Massera, in destra orografica. In questo tratto il corso d'acqua è confinato dai versanti acclivi in un alveo a canali intrecciati. Nel tratto della pianura costiera il reticolo idrografico è completamente regimato. Il corso del fiume Cornia è oggi confinato da importanti opere di arginatura che da San Vincenzo e Loc. Forni deviano il fiume verso O fino a Casette di Cornia. Da qui assume le caratteristiche di un alveo pensile. Infine, nei pressi di Loc. Sdriscia è costretto ad una brusca deviazione verso SE e fatto sfociare a mare nei pressi di Torre del Sale. Ulteriori canali, di importanza minore, sono: Fosso Riomerdancio, che da Suvereto è fatto confluire nel fiume Cornia presso Venturina; Fosso Corniaccia che riceve le acque dai tributari torrentizi in sinistra idrografica e sfocia a mare presso la Foce S. Martino; Allacciante Cervia, che ha andamento parallelo alla linea di costa e scorre in parte verso NO e in parte verso SE; Fosso Acquaviva che sfocia in loc. Perelli; Fosso Botrangolo, con percorso subparallelo al Fosso Acquaviva ed immesso nell'Allacciante Cervia; Fosso Cosimo, che riceve le acque dal fiume Cornia e da Fosso del Diavolo e sfocia a mare nei pressi di Torre del Sale, adiacente al fiume Cornia.

CAPITOLO I.3 - GEOARCHEOLOGIA: BACKGROUND TEORICO

I.3.1. PREMESSA

Il presente lavoro di dottorato si basa sull'analisi geoarcheologica riferibile ad un contesto altomedievale della Toscana meridionale. Data l'ampiezza dell'argomento, è impossibile in questo contributo poter descrivere in maniera completa ed esaustiva la disciplina geoarcheologica; per questo motivo in questo capitolo si illustreranno brevemente i concetti e le tematiche di discussione che rendono utile l'applicazione della geoarcheologia alla ricerca archeologica ed in particolare nel concetto di Multiscala. Per un discorso più approfondito si rimanda alla bibliografia di base (Cremaschi, 2000; Goldberg & Macphail, 2006; Rapp & Hill, 2006; Karkanas & Goldberg, 2019).

I.3.2. LA GEOARCHEOLOGIA

A partire dal secondo dopoguerra nella ricerca archeologica, soprattutto negli ambiti preistorici e medievali, iniziò ad emergere la consapevolezza che per ricostruire la storia delle popolazioni antiche e comprendere i loro comportamenti culturali erano necessari nuovi concetti e strumenti che permettessero di fornire nuove interpretazioni delle tracce antropiche nei depositi archeologici e ricostruire l'ecosistema in cui esse erano inserite (Davidson & Shackley, 1976; Hill, 2005). Iniziarono quindi ad affermarsi dei nuovi approcci multidisciplinari afferenti agli studi di archeologia ambientale che, avvalendosi di nozioni, metodi e tecniche provenienti dalle aree scientifiche naturali, matematiche e fisiche, sfociarono negli anni Sessanta nella cosiddetta "*New Archaeology*" (Cremaschi, 2000) e della "*Contextual Archaeology*" (Butzer, 1982; Clarke, 1978).

In questo quadro ebbero notevole impulso gli studi di archeobotanica (Behre & Jacomet, 1991; Palmer & Van der Veen, 2002, e bibliografie interne) archeozoologia (Landon, 2005, e bibliografia interna) e archeometria (Ehrenreich, 1995, e bibliografia interna), volti alla ricostruzione delle risorse alimentari e degli ambienti vegetazionali e delle faune connesse ai siti archeologici. Grazie al contributo di queste "scienze applicate" (Mannoni & Molinari, 1990), e ai nuovi metodi e strumenti a loro associati, le fonti archeologiche non si limitarono più al dato archeologico proprio (manufatti, strutture ecc.) ma estesero la ricerca anche al dato naturale ed ambientale in cui l'attività antropica si contestualizza.

Per questo motivo, suoli e sedimenti archeologici acquistarono un valore informativo importantissimo, sia a scala piccola (es. comprendere la natura di un singolo strato archeologico o i processi di formazione di un sito, cfr. Schiffer, 1987; Browman & Givens, 1996; Stein, 2001; Shahack-Gross, 2017), che a scala grande (es. organizzazione degli insediamenti, evoluzione ambientale, Stafford, 1995; Wilkinson, T.J., 2005; Debaine-Francfort *et al.*, 2010; Ravesloot & Waters, 2013). In questo contesto nacque e si sviluppò la geoarcheologia.

La geoarcheologia è una branca dell'archeologia che si inserisce nelle scienze inter- e multidisciplinari, in quanto deriva dal connubio tra le scienze della terra e dell'archeologia, affiancandosi ad essa nelle fasi della ricerca ed occupandosi in maniera specifica della dinamica dei processi della superficie terrestre utilizzando metodi e concetti delle Scienze della Terra.

Sebbene esistano varie definizioni, proposte da vari studiosi nel corso del tempo (Renfrew, 1976; Gladfelter, 1977, 1981; Waters, 1992; Rapp & Hill, 1998, solo per citarne alcuni), la maggiormente riconosciuta dalla comunità scientifica è quella di K. Butzer (1982) "*Geoarchaeology implies archaeological research using the methods and concepts of the earth sciences*".

Dato che la geoarcheologia opera come "*conceptual approach*" (Butzer, 1982) secondo il procedimento induttivo (Cremaschi, 2000) gli obiettivi che si prefigge sono molteplici e dipendono dalle problematiche proposte e dalle questioni specifiche che si presentano di volta in volta. Gli scopi principali della geoarcheologia sono dunque mirati alla determinazione dei processi di formazione del registro archeologico e le sue modificazioni sin- e post-deposizionali (Goldberg *et al.*, 2001; Karkanas *et al.*, 2011; Howard *et al.*, 2015; Angelucci *et al.*, 2013, 2018), alla determinazione delle successioni stratigrafiche a scala locale o regionale e ricostruirne la sequenza cronologica (Zárate & Flegenheimer, 1991; Goldberg *et al.*, 1992; Murphy *et al.*, 2014, Moriwaki *et al.*, 2016), alla ricostruzione dell'ambiente fisico e alle sue modificazioni nel tempo (Beach & Luzzadder-Beach, 2008; Amato *et al.*, 2009; Costante *et al.*, 2010), individuare le risorse disponibili nel territorio (Arakawa & Miskell-Gerhardt, 2009; Arnoldus-Huyzendveld & Citter, 2014) e l'organizzazione spaziale dei siti archeologici all'interno di un sistema paesaggistico (Waters, 1991; Wells, 2001; Boyer *et al.*, 2006; Magshoudi *et al.*, 2014). In sintesi, quindi, il principale obiettivo della geoarcheologia consiste nel ricostruire le relazioni esistenti tra i gruppi umani del passato ed il contesto paleoambientale in cui esse vivevano.

Al fine di risolvere le questioni archeologiche, la geoarcheologia raccoglie ed analizza le informazioni afferenti alla geosfera utilizzando un bagaglio metodologico e tecnico mutuato

dalle varie discipline delle Scienze della Terra. Le tecniche applicative in ambito geoarcheologico, dunque, sono diverse e sviluppate su più ambiti, riassunti in Tab. I.1.

<i>Fonti</i>	<i>Discipline</i>	<i>Tecniche</i>
Rilievo e forme	<i>Geomorfologia</i>	Prospezione geomorfologica, morfometria, fotografia aerea, rilevamento di campo, analisi di laboratorio, analisi di facies, micromorfologia
Sedimento	<i>Sedimentologia</i>	
Suolo	<i>Pedologia</i>	Rilevamento di campo, analisi di laboratorio, classificazione pedologica, micromorfologia
Stratificazione (sedimenti e suoli)	<i>Stratigrafia</i>	Rilevamento di campo, analisi di facies
Età	<i>Cronologia</i>	Analisi stratigrafica e correlazioni, datazioni
Manufatti	<i>Tafonomia, Traceologia, Petrografia ecc.</i>	Caratterizzazione petrografica, analisi microscopica
Sedimenti e suoli	<i>Geofisica, Geotecnica</i>	Prospezione geofisica, prospezione geognostica
Organizzazione del territorio	<i>(varia)</i>	Ex. <i>Land evaluation</i>

Tabella I.1 – Fonti d'informazione, discipline e tecniche delle Scienze della Terra utilizzate in geoarcheologia (ripreso da Angelucci, 2010)

I.3.3. DALLA GRANDE SCALA ALLA PICCOLA SCALA: UN APPROCCIO MULTISCALARE

Come è possibile dedurre in Tab. I.1, la geoarcheologia approccia le sue analisi a diversi livelli di risoluzione spaziale, che rientrano all'interno del concetto di "Multiscala" (Butzer, 1982). Questa prospettiva amplia considerevolmente la concezione intrinseca della geoarcheologia di operare non solamente all'interno di un singolo sito archeologico, ma di espandere la ricerca anche al contesto regionale che lo circonda, in uno stretto legame biunivoco. Ciò è dovuto al fatto che i fattori che veicolano i processi formativi di un record archeologico risiedono molto spesso nell'ambiente circostante; perciò, la loro discriminazione e la comprensione di come essi hanno influito nell'evoluzione del sito diviene una prerogativa imprescindibile per l'analisi archeologica. Nondimeno, lo studio di un contesto archeologico a diverse scale di risoluzione fornisce un quadro interpretativo più ampio della presenza umana sul territorio, ricostruendo i mutamenti spaziali e temporali nell'organizzazione insediativa delle comunità ed individuando *patterns* economico-sociali di sfruttamento del territorio, a cui si deve aggiungere gli effetti dell'impatto antropico sullo stesso (Cremaschi, 2000). A questo proposito, Goldberg & Macphail (2006: 3) riassumono molto bene questi aspetti "*Geoarchaeology provides the ultimate context of all aspects of archaeology from understanding the position of a site in a landscape setting to a comprehension of the context of individual finds and features*".

Il concetto di Multiscala, sebbene possa sembrare semplice e (erroneamente) ovvio, è stato soggetto a varie interpretazioni nel corso del tempo ed ancora oggi la discussione riguardo una sua chiara identità è ancora aperta. Il primo a descrivere questo approccio fu B.G. Gladfelter (1977), il quale introdusse i termini Micro- Meso- e Macroscala contestualizzandoli però a livello archeologico al singolo sito e all'ambiente circostante a cui esso è riferito.

In tempi più recenti l'analisi alla Multiscala è stata ripresa da C. French (2003, 2015) e K.W. Butzer (2008) che, pur con differenti interpretazioni, ampliarono la prospettiva al contesto regionale, necessario per analizzare l'organizzazione e la distribuzione delle comunità antropiche sul territorio in base alla distribuzione dei materiali e dei siti archeologici. C. French (2003, 2015) determinò, sulla base dei maggiori fattori di controllo del determinato contesto, quattro scale di risoluzione: a) *“macro-environment”* in cui fattori climatici, geologici e topografici hanno un ruolo primario nella modellazione del paesaggio; b) *“meso-environment”* da cui ricava due sottoscale, la prima considerata come l'areale in cui si imposta il sito archeologico, la seconda l'area subito intorno il sito archeologico. Qui identifica lo sfruttamento del suolo e la posizione del sito archeologico come fattori principali per la conservazione del sito archeologico; c) *“soil-micro-environment”* connesso al suolo ma comunque in forte connessione con i processi geografici circostanti.

K. Butzer (2008), d'altro canto, mantenne la tripartizione originale proposta da Gladfelter, definendo la Microscala come *“On-site Geoarchaeology”*, focalizzata sull'analisi dei sedimenti, i processi sin- e post-deposizionali e alla microstratigrafia del singolo sito archeologico, e la Mesoscala e Macroscala come *“Off-site Geoarchaeology”*, la prima relativa al contesto circostante il sito archeologico o di un gruppo di siti archeologici, la seconda a tutto il sistema paesaggistico in cui esso/essi si inseriscono.

CAPITOLO I.4 - GEOARCHEOLOGIA: TECNICHE E METODOLOGIE

I.4.1. LA GEOARCHEOLOGIA PER LA RICOSTRUZIONE DEL PAESAGGIO

È stato introdotto nel capitolo precedente come la geoarcheologia, nella sua accezione più generale, sia una disciplina scientifica che si inserisce nella ricerca archeologica utilizzando metodologie e tecniche proprie delle Scienze della Terra e ponendo tra i suoi obiettivi primari la ricostruzione dell'ambiente fisico in cui un sito o gruppi di siti archeologici si inseriscono al tempo della loro occupazione. La geoarcheologia per rispondere a queste questioni si concentra nell'analisi delle componenti abiotiche dell'ecosistema e nelle loro morfologie che, nell'insieme, costituiscono il rilievo terrestre, attingendo le sue metodologie dalla "Geomorfologia" (Renfrew, 1983; Davidson, 1985; Jardine, 2010). La geomorfologia riveste un ruolo molto importante nella ricerca geoarcheologica, fornendo dati utili alla comprensione delle dinamiche territoriali, sia passate che attuali, e quindi relative all'assetto paleografico e paleoambientale dell'area in esame. I dati geomorfologici, associati a quelli sedimentologici e pedologici permettono di ricostruire i processi responsabili del modellamento del rilievo e di riconoscere le interrelazioni tra dinamiche naturali e antropiche di modificazione del territorio. Da questi dati, inoltre, è possibile desumere informazioni di matrice archeologica relative alla probabilità di conservazione delle evidenze antropiche, nonché la collocazione dei siti nel territorio e la loro relazione alle risorse disponibili (es. *patterns* insediativi). In questo senso, la geomorfologia acquisisce un'importanza particolare nell'analisi dell'impatto antropico.

I.4.2. ANALISI GEOMORFOLOGICA

Il rilievo terrestre è composto da un mosaico di forme (sin. morfologie) che, nell'insieme, costituiscono il paesaggio. L'analisi e lo studio delle forme è condotto dalla Geomorfologia, la branca delle scienze della Terra che "*studia ed interpreta l'origine, la storia, la distribuzione ed i rapporti reciproci delle forme che compongono il rilievo terrestre (la componente abiotica), e dei depositi ad esse connesse, in relazione agli agenti ed ai processi che le hanno generate e modificate (processi morfogenetici)*" (D'Orefice & Graciotti, 2015: 17).

In geomorfologia la forma è definita come un'entità spaziale costituita caratterizzata da una propria configurazione tridimensionale che rappresenta il riscontro di un episodio erosivo (forma di erosione) o l'espressione morfologica finale di un episodio sedimentario (forma di accumulo). Ogni forma è geneticamente associata ad un ambiente di formazione e ad un

agente che veicola il modellamento (agente morfogenetico) che agisce attraverso un processo morfogenetico cioè *“l’insieme o il sistema di relazioni che si stabiliscono tra le azioni svolte da agenti della dinamica terrestre e i loro prodotti o risultati”* (Pedraza, 1996: 43).

In corrispondenza delle superficie terrestri si verificano quindi un insieme di processi di carattere fisico, chimico, biologico e antropico che derivano e allo stesso tempo determinano scambi di energia e trasferimenti di materia, veicolando il modellamento del rilievo e le sue modificazioni, dando così origine alle forme. L’analisi geomorfologica consiste sinteticamente nell’osservazione, analisi ed interpretazione delle forme d’erosione e d’accumulo, compresi i depositi superficiali, che caratterizzano il rilievo terrestre, ricercando un nesso logico, ovvero un rapporto causa-effetto, tra una data unità morfologica ed il paesaggio circostante in cui è inserita, oppure, nel caso questo rapporto non esista più, tentare di ricollegare quella determinata forma ad un paesaggio precedente a quello attuale.

Operativamente, un’analisi geomorfologica dettagliata deve prevedere un’indagine condotta con un approccio induttivo, basato su indagini sia da remoto che di campo, che possono essere riassunte in:

- **Analisi da remoto:** si intendono tutte le analisi che non sono condotte direttamente in campagna. In tale categoria, quindi, rientrano la raccolta di tutte quelle informazioni utili riguardanti l’area d’indagine, tramite un’accurata ricerca bibliografica e cartografica. Inoltre, rientrano tutte quelle analisi condotte sulle immagini telerilevate (ortofoto aeree ed immagini satellitari, foto aeree multitemporali e dati *Laser Scanning*, come LiDAR ed affini).
- **Analisi di campagna:** rientrano tutte le analisi condotte direttamente sul territorio d’indagine in cui, in questo frangente, si fanno rientrare anche le analisi di laboratorio di campioni prelevati sul territorio; questo raggruppamento consta dunque del controllo del terreno e rilievo delle morfologie con descrizione delle sezioni affioranti od esposte o indagini di tipo geognostico.

Naturalmente queste fasi, se inizialmente possono essere considerate susseguenti l’una all’altra, dovranno successivamente alternarsi e sovrapporsi per poter ottenere dati quantitativi/qualitativi esaurienti.

I.4.2.1. Analisi da remoto

Fonti provenienti da Laser Scanning: LiDAR e DTM

La base cartografica e i vari modelli elaborati con l'ausilio di simulazioni grafiche sono il risultato dell'interpolazione dei dati geomorfologici e stratigrafici con il modello di territorio elaborato con la tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*) ed analizzata in ambienti GIS. Il LiDAR è una tecnica di telerilevamento ambientale "attivo" ad alta risoluzione per rilievi topografici che permette di determinare le coordinate tridimensionali di punti misurando la distanza tra il sensore e la superficie colpita utilizzando un impulso laser, ovvero calcolando il tempo trascorso fra l'emissione dell'impulso e la ricezione del segnale riflesso (Lo Brutto, 2005). Questa tecnica, dunque, non produce direttamente immagini, ma fornisce il profilo tridimensionale delle superfici colpite. Le potenzialità della tecnologia LiDAR si prestano a numerose ricerche applicative sia in campo archeologico (es. Colecchia & Forlin, 2013) che in campo geomorfologico (es. Beckenbach *et al.* 2014).

Il rilievo viene effettuato tramite l'utilizzo di un mezzo aereo su cui è installato il laser scanner, composto essenzialmente da un trasmettitore, da un ricevitore e da un sistema di acquisizione dati a cui è integrato un sensore GPS per la georeferenziazione dei punti ottenuti. La radiazione elettromagnetica emessa (essenzialmente un fascio laser molto concentrato) ha una lunghezza d'onda variabile tra i 0,8-1,6 μm (intervallo dell'infrarosso) che permette l'acquisizione di una nuvola di punti discreti, a risoluzione variabile a seconda della densità di punti per m^2 . L'estensione dell'impronta a terra permette di sfruttare la caratteristica peculiare di questa tecnica di telerilevamento, cioè quella del ritorno multiplo di segnale ("*first pulse*" e "*last pulse*", Challis, 2006) che permette al raggio, nel caso di copertura vegetale, di penetrare all'interno dei varchi e riflettendo punti a vari livelli della fronda e al suolo. Dato che il raggio laser acquisisce la posizione di molteplici impulsi, è possibile attribuire ad ogni singolo punto un significato fisico specifico discriminando sia la presenza di vegetazione, sia artefatti di medie piccole dimensioni, come muretti, veicoli ecc.

Dalla nuvola di punti totale si ottiene, mediante dei processi di interpolazione, una superficie regolare costituita da celle quadrate, ciascuna delle quali possiede una propria altimetria estrapolata dall'informazione altimetrica dei punti sparsi (Casella, 2003). Il risultato che si ottiene è in sostanza un Modello Digitale della Superficie (DSM – "*Digital Surface Model*", Wehr & Lohr, 1999; Kraus, 2002), ovvero una rappresentazione virtuale tridimensionale di tutta la superficie relativa al primo impulso laser riflesso ("*first pulse*"). Le elaborazioni

successive applicabili al dato grezzo, che comprendono il filtraggio sia automatico che manuale dei “*last pulse*” delle scansioni effettuate, consentono l’eliminazione dei punti che non appartengono alla superficie topografica *sensu stricto* (ad es. edifici e copertura vegetale); il risultato che si ottiene da questa elaborazione è un Modello Digitale del Terreno (DTM – “*Digital Elevation Model*”, Wehr & Lohr, 1999; Kraus, 2002).

Fonti cartografiche

Le fonti cartografiche rappresentano la documentazione essenziale per qualsiasi tipologia di studio ed analisi relativo al paesaggio (Castiglioni, 1989; Greggio *et al.*, 2015; Piccardi & Pranzini, 2016). Le fonti cartografiche più utilizzate sono:

- **Carta Tecnica Regionale (CTR):** sono le carte tecniche realizzate in scala 1:10000 con i metodi tradizionali propri dell’aerofotogrammetria, elaborate e distribuite dalle sedi tecniche regionali. Le carte sono rappresentate nella proiezione Gauss-Boaga, inquadrare nel sistema Nazionale Gauss-Boaga e ritagliate nel Sistema Geografico Europeo Unificato, con a margine riportati i riferimenti alle coordinate U.T.M. (*Universal Transverse Mercator*). La Carta Tecnica Regionale fornisce una rappresentazione generale della morfologia della superficie topografica, del reticolo idrografico, della copertura vegetale e delle opere antropiche (strade, edifici, rete elettrica ecc.), riportando tutto ciò che può essere utile anche come riferimento topografico e che può essere rappresentato in relazione ad una giusta densità della trama cartografica. L’altimetria del territorio cartografato viene rappresentata sia mediante curve di livello con equidistanza di 5 m, sia mediante punti quotati isolati.
- **Cartografia storica:** il patrimonio cartografico-storico costituisce uno strumento funzionale utile per la conoscenza dell’assetto antico del territorio preso in esame. Naturalmente, la problematica principale di questa tipologia di fonte, a prescindere dal rigore scientifico o meno con cui sono state elaborate, è la difficile comparazione/sovrapposizione con le fonti cartografiche attuali, data la loro natura pre-geodetica. A tale proposito le procedure odierne di trasformazione-rettificazione sono uno strumento utile per ovviare a questa problematica, tenendo a mente che l’accuratezza della corrispondenza è determinata da vari fattori quali la qualità e la risoluzione geometrica del documento originale.
- **Carta geologica:** la carta geologica è la rappresentazione, su base topografica, dei differenti corpi rocciosi che affiorano sulla superficie terrestre, della loro disposizione

spaziale e dei rapporti che esistono tra i diversi tipo di rocce. Le diverse rocce vengono distinte attraverso l'uso di diversi colori, mentre attraverso appositi simboli si riproducono la geometria (giacitura degli strati), i rapporti stratigrafici (limite stratigrafico) o tettonici (faglie, pieghe, ecc.) che intercorrono tra i corpi rocciosi.

- **Carta geomorfologica:** la carta geomorfologia è una carta tematica che rappresenta le forme di accumulo e d'erosione del rilievo, fornendo indicazioni relative ai caratteri morfografici e morfometrici, alla genesi in funzione dei processi geomorfici, endogeni ed esogeni, passati e presenti, che hanno generato le morfologie, e alla sequenza cronologica. La carta geomorfologica, inoltre, fornisce sinteticamente informazioni riguardo i dati topografici ed il substrato, tratte dal corrispondente foglio geologico, accorpandole in categorie litologiche fondamentali, con caratteristiche geomorfologiche fondamentali.

Fonti aerofotogrammetriche ed immagini satellitari

Il telerilevamento acquisisce informazioni di tipo qualitativo e quantitativo della superficie topografica terrestre. Le successive elaborazioni ed interpretazioni permettono di analizzare la morfologia, la composizione, la struttura e l'evoluzione nel tempo dell'area investigata (Mantovani & Marcolongo, 1992; Necsoiu *et al.*, 2013; Greggio *et al.*, 2015; Lazzari & Gioia, 2017) del suo ecosistema (Hudak & Wessman, 2001; Strand *et al.*, 2006), nonché la possibilità di individuare anomalie riferibili a frequentazioni antropiche (Campana *et al.*, 2006; Michinelli, 2009). A seconda del sistema di acquisizione, aereo o satellitare, si identificano più tipologie di aerofoto:

- **Ortofoto ed analisi multitemporale:** l'analisi e l'interpretazione di una porzione di territorio basata su fotogrammi acquisiti in epoche diverse restituiscono un'immagine delle fasi evolutive che lo hanno caratterizzato, rendendo visibili tracce oggi cancellate dall'azione antropica. La moderna tecnologia di gestione informatizzata, inoltre, permette un'analisi multitemporale ancora più efficace, permettendo la sovrapposizione di basi cartografiche e ortofoto ed elaborando dati anche a livello tridimensionale, fino alla costruzione di paesaggi virtuali del passato.
- **Immagini satellitari:** le immagini satellitari forniscono una visione ad ampio raggio del paesaggio e permettono di analizzarne dettagliatamente le caratteristiche grazie alla loro alta risoluzione spaziale, spettrale, radiometrica e temporale.

I.4.2.2. Analisi di campagna

Per acquisire un panorama complessivo dei fenomeni geomorfologici occorsi nell'area presa in esame è indispensabile estendere le analisi da remoto a quelle di campagna. Queste analisi, oltre ad inquadrare i principali aspetti geologici e geomorfologici, servono anche a verificare direttamente la qualità delle informazioni ottenute dalle analisi da remoto.

Il rilevamento geomorfologico non si limita all'osservazione, lo studio e l'interpretazione delle forme d'erosione e d'accumulo ma deve considerare anche l'analisi sistematica dei depositi associati alle forme d'accumulo (D'Orefice & Graciotti, 2015). Infatti, le caratteristiche sedimentologiche, stratigrafiche e strutturali forniscono preziose informazioni di carattere morfogenetico, paleoambientale, paleoclimatico e cronologico. Infine, queste informazioni, integrate con gli episodi erosivi, sedimentari e deformativi registrati nelle successioni stratigrafiche superficiali, forniscono informazioni utili alla ricostruzione del paleoambiente fisico del territorio esaminato.

I.4.2.3. Descrizione degli affioramenti: facies sedimentarie

Considerata, quindi, la grande importanza che rivestono i depositi superficiali nell'analisi geomorfologica, e in quella geoarcheologica nello specifico, è fondamentale che nel corso del rilevamento di campagna siano descritti in modo sistematico e appropriato sia i sedimenti associati alle forme d'accumulo sia quelli privi di una loro configurazione caratteristica. Ciò è essenziale per risalire alla loro genesi e per ricostruire:

- le geometrie dei corpi sedimentari e delle diverse unità stratigrafiche riconosciute;
- la paleogeografia dell'area;
- la successione degli eventi geomorfologici che hanno interessato il territorio esaminato.

Tenendo presente la specificità e l'ampiezza della materia, che rientra soprattutto nel campo delle scienze della Terra afferenti alla "Sedimentologia" (studio dei sedimenti e delle rocce sedimentarie), la "Pedologia" (studio dei suoli) e la "Stratigrafia" (studio ed interpretazione dei materiali stratificati), si rimanda alla consultazione di testi specifici, alcuni dei quali elencati in bibliografia, per ulteriori approfondimenti.

Ciononostante, al fine di poter definire le caratteristiche della successione stratigrafica e definire, di seguito si desidera fornire dei criteri generali riguardo "l'analisi di facies", intendendo la descrizione dei caratteri fisici di un determinato sedimento non consolidato, o roccia sedimentaria, con particolare riferimento alla litologia, granulometria, colore strutture

sedimentarie eventualmente presenti ecc. al fine di stabilire le relazioni spaziali latero-verticali tra tutte le varie componenti che possono essere riconosciute. La successione stratigrafica è costituita da unità fondamentali (strati), distinte tra loro a livello tridimensionale, litologico, tessiturale e/o strutturale; gli strati, quindi, riflettono un evento deposizionale, cioè l'attuarsi dei diversi processi sedimentari fisico-chimici di un determinato agente sedimentario che hanno portato alla loro deposizione. Questi parametri possono essere raggruppati in un unico concetto, definito *facies sedimentaria* (o *litofacies*).

Il termine fu descritto per la prima volta da Gressly (1838) nel suo volume "*Observations géologiques sur le Jura soleurois. Nouveaux mémoires de la Société Helvétique des Sciences Naturelles*" per descrivere le variazioni laterali (principalmente litologiche ma anche paleontologiche) all'interno di una determinata unità stratigrafica.

La definizione di facies sedimentaria assunse in seguito significati leggermente diversi nella letteratura dedicata. Tra gli anni '70 ed '80, ad esempio, ci fu un vasto dibattito in merito all'attribuire al concetto di facies un significato genetico più o meno esplicito, in cui si definiva il termine come una espressione sedimentologica di un ambiente sedimentario (Blatt *et al.*, 1980).

Ciononostante, nella definizione proposta da Moore (1949), e tutt'ora adottata dalla Commissione Internazionale di Stratigrafia (ICS), per facies si intende "*ogni porzione arealmente ristretta di una certa unità stratigrafica che mostri caratteristiche significativamente differenti da quelle mostrate da altre porzioni della stessa unità*". In tale definizione, la facies viene considerata su base litostratigrafica, in cui l'aspetto di ogni porzione della singola unità stratigrafica è discriminato principalmente dalle caratteristiche sedimentologiche, come colore, composizione, strutture sedimentarie interne ecc.

Anche in Italia, secondo la definizione data da Ricci Lucchi (1978) "*l'insieme dei caratteri fisici di un pacco di strati o di un singolo strato legati ad un ben definito processo sedimentario*", la facies sedimentaria deve essere discriminata secondo i parametri descrittivi, indicando quindi le modalità in cui il sedimento si è deposto ed indirettamente l'ambiente deposizionale.

Quindi, in sintesi, la facies sedimentaria può essere intesa come un corpo sedimentario indicatore dell'attuarsi di determinati processi sedimentari, ma non di un ambiente sedimentario specifico. Una successione stratigrafica è dunque composta da una sequenza di facies, associate costantemente dove ciascuna facies passa gradualmente a quella soprastante; l'associazione di facies (Ricci Lucchi, 1980) può essere così definita come l'insieme di due o più

facies geneticamente legate fra loro a formare un corpo sedimentario di forma e dimensione variabile che rappresenta uno specifico ambiente deposizionale. Questo concetto, basato sulla legge di Walther del 1894 (López, 2015), afferma quindi che le serie che si riscontrano in senso verticale rispecchiano l'andamento orizzontale e possono quindi fornire indicazioni sulla tendenza evolutiva di un ambiente deposizionale² (Amorosi *et al.*, 2003; Houben, 2007; Ghinassi *et al.*, 2009). Inoltre, il concetto di facies è applicabile anche alla scala del singolo sito archeologico (Angelucci & Anesin, 2012); infatti, come descritto nel paragrafo successivo (cfr. #I.4.3.), la genesi di un deposito archeologico è il risultato della sovrapposizione di processi deposizionali, erosivi e di alterazione di origine sia naturale che antropica. Ne consegue, perciò, che l'applicazione del concetto di facies all'interno dei depositi antropici può apportare contributi significativi all'interpretazione del registro archeologico (Boschian, 2006; Angelucci *et al.*, 2013).

I.4.3. LA GEOARCHEOLOGIA NEL SITO ARCHEOLOGICO

Uno degli aspetti fondamentali di una ricerca archeologica è quello dello scavo archeologico. Lo scavo archeologico è una operazione scientifica che ha come scopo la ricostruzione storica del passato sepolto, attraverso l'individuazione, l'asportazione e la registrazione di una stratificazione formatasi in relazione diretta od indiretta ad azioni antropiche.

La stratificazione archeologica, includendo i resti archeologici stessi (manufatti, strutture ecc.), è costituita principalmente da sedimenti e suoli e la sua genesi è il risultato dell'azione temporale di determinati processi naturali, biologici e geologici, ed antropici e delle loro interazioni; tali processi vengono chiamati processi di formazione o dinamiche formative (Nash & Petraglia, 1987; Schiffer, 1987).

Lo studio di tali processi si affianca allo studio archeologico *sensu stricto* che determina le proprie ipotesi di attività antropica basandosi sull'analisi della cultura materiale (ad es. Cirelli & Lo Mele, 2010). Un deposito archeologico, infatti, non è determinato solamente dall'azione umana diretta, ma anche da processi, antropici e naturali, che hanno agito durante e successivamente l'azione antropica primaria. Per questo motivo saper identificare le dinamiche che hanno portato alla sua formazione e le dinamiche avvenute dopo la sua

² A titolo esemplificativo, si riporta di seguito l'esempio fornito da Cremaschi nel suo manuale: "[...] un corpo sedimentario costituito da sabbia mista a ghiaia, con laminazione obliqua concava a scala decimale, può formarsi sia all'interno di un canale fluviale meandriforme, sia in un alveo a canali intrecciati. Nel primo caso però la facies osservata si associa verticalmente e lateralmente con altre facies sabbioso-ghiaiose, mentre nel secondo tenderà a trovarsi collegata a facies più fini, di tessitura argilloso-limosa" (Cremaschi, 2000:122).

deposizione, dunque valutarne l'integrità, diventa un presupposto essenziale sia per una comprensione più esaustiva del comportamento umano sia per identificare le relazioni tra frequentazione antropica ed ambiente fisico (Karkanas & Goldberg, 2019). Come C. Renfrew già nel 1976 scrisse *"because archaeology recovers almost all of its basic data by excavation, every archaeological problem starts as a problem in geoarchaeology"* (Renfrew, 1976: 2).

M.B. Schiffer (1972, 1987) è fra i primi archeologi che definisce il concetto di processo formativo, in cui asserisce per una analisi archeologica della cultura materiale è necessario individuare oltre ai processi culturali, cioè a tutti quei processi che includono le azioni antropiche connesse alla produzione, utilizzo ed abbandono dei manufatti, anche i processi naturali che possono aver alterato/trasformato ma anche conservato le evidenze antropiche.

Dunque, la geoarcheologia applicando i principi e tecniche mutuati dalle Scienze della Terra e dalla geologia del Quaternario, in particolare Sedimentologia, Pedologia e Stratigrafia, permette di analizzare il record stratigrafico in una chiave di lettura atta ad ottenere informazioni di carattere ambientale e che, in ultimo, permette di ricostruire l'attività umana, le caratteristiche dell'ambiente in cui si è svolta l'attività antropica e quindi il comportamento umano, principale finalità dell'Archeologia (Renfrew & Bahn, 2006). In questo contesto l'azione antropica può essere considerata a tutti gli effetti come un processo di formazione; l'uomo, infatti, accumulando ed asportando materiale, contribuisce al modellamento ed all'alterazione della superficie topografica stessa.

In uno scavo archeologico la base del record stratigrafico è costituita quindi dai processi deposizionali che hanno veicolato la deposizione e l'alterazione dei materiali costituenti, che possono essere indagati tramite due approcci fondamentali: a) con le osservazioni di campo; b) con analisi di laboratorio specifiche (es. granulometria, analisi geochimiche come determinazione del pH e tenore di TIC, TOC, FT-IR su sedimento sciolto, solo per citarne alcuni) o con analisi microcontestuali quali la micromorfologia archeologica.

I.4.4. MICROMORFOLOGIA ARCHEOLOGICA

La micromorfologia, o micropedologia, nasce come tecnica analitica in ambito pedologico dello studio di sedimenti sciolti e suoli mediante l'utilizzo di tecniche microscopiche. Il suo compito principale è quello di descrivere, interpretare e misurare a scala microscopica gli elementi costitutivi, le caratteristiche e la struttura del sedimento sciolto e del suolo.

"Micromorphology is the branch of soil science that is concerned with the description, interpretation and, to an increasing extent, the measurement of components, features and fabrics in soils at a microscopic level, i.e. beyond that which can readily be seen with the naked eye. It is fundamental to an understanding of the processes involved in soil formation whether they be produced by the normal forces of nature or artificially induced by the effect of man." (Bullock *et al.*, 1985).

"Micromorphology is the study of soil and related materials in their undisturbed state at the microscopic level. It applies a system of concepts and terminology to describe and interpret the formation and function of soil material" (Stoops, 2003).

Applicata in archeologia, la micromorfologia fornisce un'analisi di tipo microconstestuale (Matthews *et al.*, 1997; Goldberg & Berna, 2010; Nicosia & Stoops, 2017; Karkanis & Goldberg, 2019) occupandosi dell'osservazione e dell'interpretazione di record stratigrafici archeologici, analizzando la genesi dei componenti, siano essi di origine minerale od organica, la loro organizzazione spaziale, la struttura del terreno. Combinando i dati micromorfologici con quelli di campo, questa tecnica fornisce dati utili a valutare i processi di formazione e gli ambienti deposizionali dei record archeologici, gli agenti ed i meccanismi responsabili della loro genesi (es. antropici vs naturali) ed il grado di modificazione dei depositi successivamente alla loro deposizione (processi postdeposizionali). L'analisi micromorfologica permette inoltre di riconoscere, con un alto grado di risoluzione, *marker* paleoclimatici alla scala del singolo evento deposizionale in molti casi sono il riflesso di condizioni regionali o locali (Angelucci *et al.*, 2011, 2013). Sovente dunque la micromorfologia è utilizzata come approccio supplementare per rispondere a questioni specifiche sorte durante le fasi di scavo o durante l'elaborazione post-scavo.

Date le sue stesse caratteristiche tecniche la micromorfologia necessita l'utilizzo di campioni di terreno indisturbato, dove quindi si è conservata la relazione tra matrice pedo-sedimentaria naturale e le evidenze antropiche, siano esse riferibili a manufatti od evidenze di attività di vita. Si tratta quindi di analisi di tipo qualitativo/culturale che permettono non solo di desumere l'origine di un dato materiale, il suo modo di formazione ed i processi che lo hanno alterato, ma può inoltre proporre agli archeologi argomentazioni e nuove ipotesi interpretative, che altre analisi di routine (es. analisi chimiche o mineralogiche) per la loro natura quantitativa/statistica, non sono in grado di fornire (Courty *et al.*, 1989; Cremaschi, 2000).

I.4.4.1. Cenni Storici

I primi studi micromorfologici risalgono al 1938 con W.L. Kubiëna che nel suo trattato "*Micropedology*" fornisce la prima definizione di fabric elementare come "*the arrangement of the constituents of lowest order in soil in relation to each other*" (Kubiëna, 1938). Negli anni Cinquanta Cornwall (1953) fu il primo che utilizzò tale tecnica per la ricostruzione paleoambientale e analizzare determinate figure antropogeniche come cenere o pavimentazioni. Da questo lavoro si gettano le basi dell'analisi micromorfologica applicata a contesti archeologici, benché inizialmente limitati all'analisi di provenienza delle ceramiche (Peacock, 1969). A questa limitazione si aggiunse inoltre la mancanza di una terminologia standard per la descrizione delle sezioni sottili archeologiche e conseguentemente di una metodologia interpretativa.

La comunità micromorfologica sentiva quindi la necessità di un nuovo e aggiornato sistema analitico e descrittivo in grado di far fronte alle nuove problematiche. A fronte di questo R. Brewer (1976) nel suo libro *Fabric and Mineral Analysis of Soil* delinea un sistema analitico per la classificazione descrittiva sistematica e dettaglia delle osservazioni micromorfologiche in cui incorpora anche un primo tentativo, seppur con molte limitazioni, di applicazione a contesti archeologici.

Negli anni Ottanta l'aumento del bagaglio conoscitivo e l'avanzamento tecnologico delle strumentazioni portarono ad una ulteriore evoluzione delle metodologie analitiche e descrittive, sfociando in diverse pubblicazioni (le principali: Fitzpatrick, 1984; Bullock *et al.*, 1985; Stoops & Eswaran, 1986). Tuttavia, continuava a permanere una differenza marcata tra terminologia necessaria per la descrizione pedologica e quella archeologica, con conseguente lacunosità di metodologie interpretative di quest'ultima. È solo con Courty *et al.* (1989) e successivamente Macphail *et al.* (1990), che si proposero le prime linee guida alla descrizione ed interpretazione dei materiali e sedimenti prettamente archeologici, proponendo una serie di casi di studio.

L'orientamento generale della ricerca micromorfologica è rimasto comunque confinato alla questione terminologica e le ricerche sono state incentrate soprattutto sulla elaborazione di un sistema descrittivo che restasse il più oggettivo possibile (es. Stoops, 2003, *Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*, pur restando senza dubbio uno dei manuali micromorfologici più importanti) non affrontando, o perlomeno affrontando marginalmente, la questione interpretativa.

In tempi recenti questa problematica interpretativa ha iniziato ad essere affrontata in maniera più attenta, assumendo un ruolo sempre più centrale; l'interesse di questo nuovo *topic* è culminato con l'edizione degli importanti testi del 2010 (*Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, edito da Stoops, Marcelino & Mees), e del 2017 (*Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, edito da Nicosia & Stoops) in cui viene proposta una sintesi sullo stato dell'arte dell'interpretazione genetica delle figure micromorfologiche, ampliando la materia trattata anche ai risultati delle attività antropiche e ai materiali archeologici. Infine, si menzionano i contributi di Macphail & Golberg (2017) *Applied Soils and Micromorphology in Archaeology* e la seconda edizione del testo edito da Stoops, Marcelino & Mees (2018) *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, Second Edition*.

I.4.4.2. Micromorfologia: *modus operandi*

L'analisi micromorfologica si basa sull'osservazione al microscopio petrografico di Sezioni Sottili ("*Thin Section*", in inglese). Quest'ultime sono il risultato finale della lavorazione del campione di sedimento-suolo sciolto con spessore compreso tra 20-30 μm montato su di un vetrino portaoggetti di dimensioni comprese tra 6 e 15 cm.

Di seguito si riportano i concetti essenziali della procedura di campionamento e della preparazione delle sezioni sottili (per dettagli maggiori cfr. Cap.35 in Nicosia & Stoops, 2017, per il campionamento, e Stoops, 2003, per la preparazione delle sezioni sottili).

Campionamento

Il campionamento è una fase molto delicata, in quanto il campione che si intende raccogliere non deve subire modificazioni o deformazioni di alcun genere, in modo tale da garantire l'integrità delle caratteristiche strutturali e l'organizzazione dei componenti del terreno che si intende analizzare.

Il metodo più comune è quello dell'estrazione semplice, utilizzato specialmente per sedimenti ben addensati, come quelli argillosi o cementati. Il campione è isolato dal terreno circostante e rimosso direttamente dalla superficie. In seguito, si avvolge con carta e sigillato con nastro adesivo di carta. Nel caso in cui il terreno non sia abbastanza addensato si ricorre all'uso di una particolare scatola, nota come scatola di Kubiena; si tratta di una semplice scatola metallica con due lati aperti che viene inserita nel terreno a pressione. Dopodiché, aiutandosi con un coltello o una cazzuola, si estrae il campione dalla sezione; il tutto viene poi coperto ed

impacchettato. In alternativa alle scatole di Kubiena, per terreni particolarmente fragili, si utilizzano delle garze di gesso; il campione da analizzare viene dapprima isolato dal terreno circostante e successivamente ricoperto da bende umide. Una volta che si è seccato il gesso, il campione può essere facilmente rimosso.

Preparazione delle sezioni sottili

La preparazione delle sezioni sottili è la fase successiva al campionamento, e si svolge in laboratori specializzati. I passaggi necessari per la preparazione sono:

- **Essiccazione:** il campione viene fatto essiccare gradualmente, per evitare fratture, fino alla perdita totale di umidità, riconoscibile quando il peso del campione rimane immutato nel tempo. Questo è un procedimento necessario, perché le resine che vengono utilizzate nella fase successiva non sono miscibili in acqua. Le prime fasi dell'essiccazione è preferibile che si svolgano all'aria, senza esporre il campione a fonti di calore. In alcuni casi, quando i campioni sono saturi d'acqua (es. campioni di torba) o molto organici, si utilizzano metodi alternativi, che prevedono l'utilizzo di acetone per sostituire l'umidità del terreno.
- **Impregnazione ed indurimento:** è un procedimento variabile a seconda del tipo di essiccazione (all'aria o per mezzo di acetone). Nel primo caso, l'impregnazione avviene con una miscela di resina, diluente e catalizzatore, che aumenta la velocità d'impregnazione e di indurimento. Il campione viene posto in un contenitore al vuoto, e la resina viene lentamente versata al suo interno, risalendo all'interno del campione. Una volta impregnatosi totalmente di resina, il campione viene riscaldato in una stufa a 40 °C per incentivare la polimerizzazione della resina ed il suo indurimento. Una volta indurito, il campione passa alle fasi successive di taglio.
- **Taglio:** per questo procedimento vengono adoperate speciali seghe con lame circolari diamantate, che tagliano il campione ottenendo una placca di spessore di circa 1 cm. Dopo essere stata etichettata, su una faccia della placca, affinata per mezzo di una speciale macchina, viene applicato un vetrino. Successivamente la placca viene man mano rifinita sul lato opposto al vetrino tramite abrasivi e carte vetrinate, fino a che non si raggiunge lo spessore di circa 20-30 µm. Opzionalmente, è possibile coprire la parte scoperta con un vetrino coprioggetti.

I.4.4.3. Analisi delle sezioni sottili

Microscopio petrografico

In micromorfologia, il microscopio utilizzato è quello petrografico, ovvero un microscopio ottico a luce trasmessa polarizzata, in cui il campione è attraversato da un fascio di luce proveniente da una sorgente esterna che illumina l'oggetto in trasmissione. La caratteristica principale del microscopio petrografico è quella di essere provvisto di due polarizzatori, uno nel condensatore e uno nel tubo porta-ottici, che permettono la visione in PPL (*Plane Polarised Light*, "Luce Piana Polarizzata" in italiano), se i due polarizzatori sono paralleli tra loro, e XPL (*Crossed Polarised Light*, "Luce Polarizzata a Nichol Incrociati" in italiano), i polarizzatori sono incrociati. Questa tecnica permette di distinguere le proprietà ottiche e morfologiche dei componenti pedo-sedimentarie e diagenetiche in sezione sottile. Nel primo caso, la visione in PPL permette di determinare il colore delle particelle, l'abito e la sfaldatura dei minerali, la forma dei costituenti e la struttura e la porosità del materiale. La visione in XPL, invece, permette di determinare l'isotropia o l'anisotropia dei costituenti minerali, valutandone la birifrangenza tramite il colore d'interferenza e l'indice di rifrazione (Stoops, 2003; Courty *et al.*, 1989).

Altre fonti luminose che possono essere utilizzate sono la luce riflessa, utilizzata per lo studio di materiali opachi, come la materia organica amorfa, e la radiazione ultravioletta, per materiali autofluorescenti (cfr. Cap. 36 in Nicosia & Stoops, 2017) come ad esempio i fosfati (Karkanis & Goldberg, 2018)

Parametri descrittivi

La descrizione micromorfologica delle sezioni sottili segue principalmente le linee guide proposte da Bullock *et al.* (1985) e Stoops (2003). Come nei suoli si osserva una struttura pedogenetica, così nelle sezioni sottili è possibile osservare una microstruttura, termine che esprime l'organizzazione interna dei componenti. All'interno della microstruttura si descrivono due parametri: 1) gli aggregati, cioè le porzioni discrete in cui è suddivisa la massa di fondo (v. sotto), descrivendo la tipologia, morfologia, dimensione, compattezza ecc.; 2) la porosità, ovvero i vuoti presenti all'interno delle sezioni sottili, riportandone il tipo e la morfologia, quantità e distribuzione ecc.

I materiali che compongono la sezione sottile si organizzano in una massa di fondo, concetto che esprime i caratteri principali del materiale che costituisce il terreno nel suo insieme. La

massa di fondo è composta da vari costituenti ripartiti, in base alla loro natura, in minerali ed organici. I componenti minerali sono normalmente suddivisi in due classi principali: grossolani e fini. Il limite *c/f* (*coarse/fine*) tra le due classi varia a seconda delle esigenze specifiche della ricerca, specialmente quando il materiale osservato evidenzia una frazione più grossolana e una più fine con limite ben differenziato.

Successivamente alla definizione del limite delle frazioni, la norma prevede di descriverne la quantità reciproca dei due gruppi (*ratio c/f*) e la loro relazione spaziale (*c/f RIDP= Related Distribution Pattern*).

I componenti minerali grossolani sono tutti quei componenti di origine minerale con dimensione maggiore al limite *c/f*, e se ne descrive la composizione, la dimensione, la selezione, l'orientamento, la distribuzione ecc. questi parametri si applicano in egual maniera per la descrizione dei componenti organici.

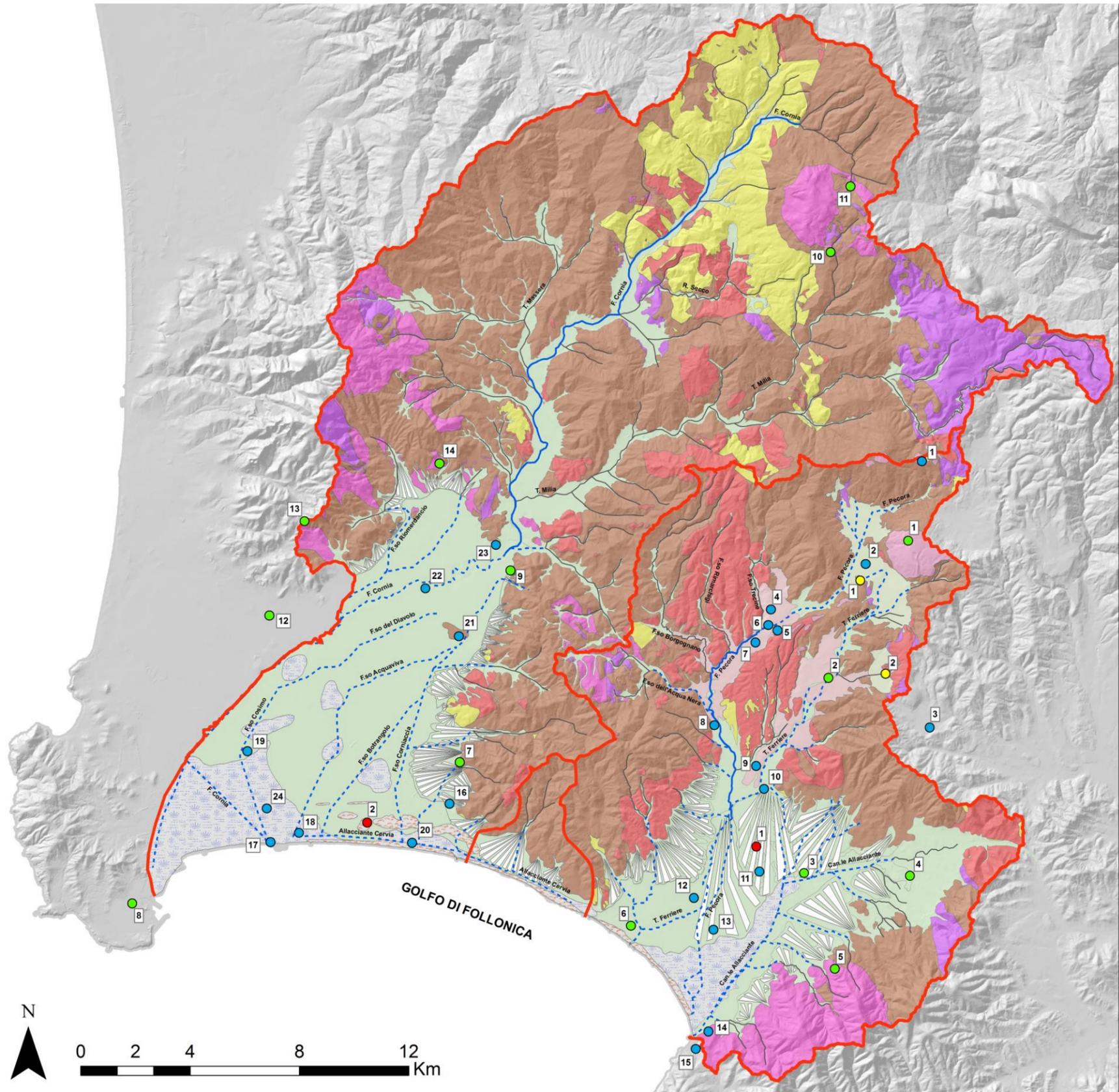
Nella frazione fine vengono raggruppate le caratteristiche del materiale con dimensione inferiore al limite *c/f*, non risolvibile al microscopio ottico e pertanto descritto in termini di colore, limpidezza, proprietà ottiche ecc.

Per ultimo, vengono descritte le figure pedogenetiche, o pedofigure, cioè "qualsiasi elemento discreto presente nel materiale di suolo, distinguibile dal materiale adiacente per una differenza di concentrazione di uno o più componenti, ad esempio una frazione granulometrica, sostanza organica, cristalli, componenti chimici o *fabric* interna" (Bullock *et al.*, 1985).

ANNESSO I

Tavola Al.1 – (pag. 45) Carta Geologica dei Bacini Idrografici dei Fiumi Pecora e Cornia. Legenda toponimi: **Località:** (1) – Monte Arseni; (2) – Pian del Vescovo; (3) – Lago dell’Accesa; (4) – Pian delle Gore; (5) – Padule di Moreta; (6) – Loc. La Cascata; (7) – Piano del Padule; (9) – Cura Nuova; (10) – Case Vado all’Arancio; (11) – Palazzo Guelfi; (12) – Area Industriale Follonica; (13) – Stabilimento NUOVA SOLMINE; (14) – Loc. Puntone; (15) – Portigliani; (16) – Vignale; (17) – Torre del Sale; (18) – Loc. Perelli; (19) – Loc. Sdriscia; (20) – Foce S. Martino; (21) – Casalappi; (22) – Casette di Cornia; (23) – Loc. Forni; (24) – Orti di Bottagone. **Centro urbano:** (1) – Massa Marittima; (2) – Valpiana; (3) – Scarlino Scalo; (4) – Bagni di Gavorrano; (5) – Scarlino; (6) – Follonica; (7) – Riotorto; (8) – Piombino; (9) – San Lorenzo; (10) – Monterotondo Marittimo; (11) – Sasso Pisano; (12) – Venturina; (13) – Campiglia Marittima; (14) – Suvereto. **Sorgente carsica:** (1) – Le Venelle; (2) – Aronne. **Sito archeologico:** (1) – Vetricella; (2) – Carlappiano.

Tavola Al.2 – (pag. 46) Carta delle Unità di Paesaggio dei Bacini Idrografici dei Fiumi Pecora e Cornia. Legenda toponimi: vedi Tav. Al.1



CARTA GEOLOGICA

Bacini idrografici dei fiumi Pecora e Cornia

Legenda:

Idrografia

- Corso d'acqua artificializzato
- Corso d'acqua principale
- Tributario principale
- Bacino idrografico

Unità lito-strutturali

Unità Quaternarie (QU)

- Tufi Calcarei (Olocene)
- Depositi eolici e di spiaggia (Olocene)
- Depositi palustri e lacustri (Olocene)
- Depositi alluvionali e alluvionali terrazzati (Olocene)
- Tufi Calcarei (Pleistocene)

Unità Plioceniche (PCC, CCC)

- Conglomerati, sabbie e argille marine

Unità Mioceniche (MCC)

- Conglomerati, sabbie e argille continentali

Unità Liguri e Subliguri (LSAC)

- Complessi argillosi, marnosi e calcarei

Unità Toscane non Carbonatiche (ANMTU)

- Marne, marne calcaree e arenarie

Unità Toscane Carbonatiche (LNMTU)

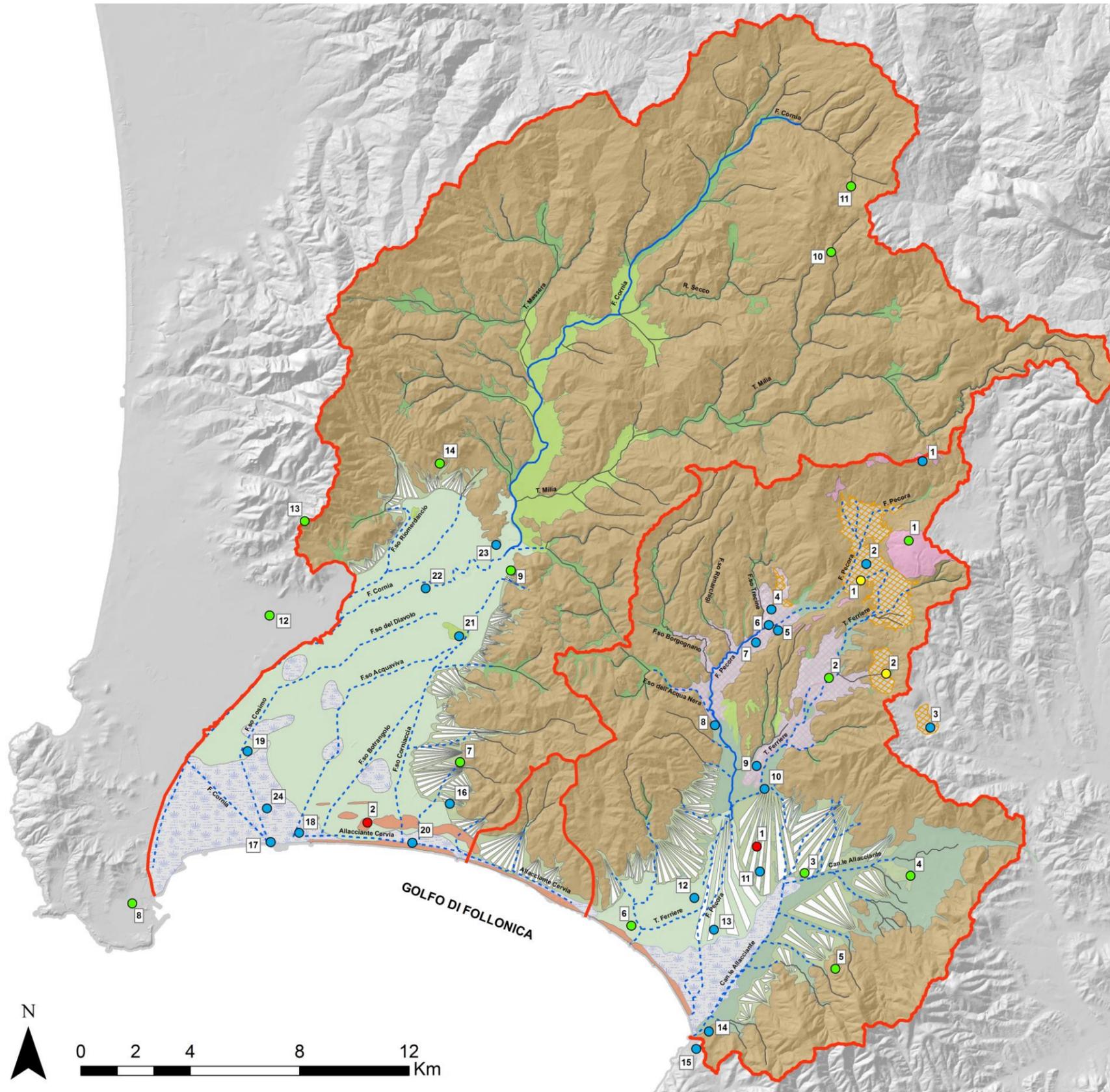
- Calcari, dolomie e anidriti

Simbologia

- Conoide alluvionale

Toponimi

- Centro urbano
- Località
- Sito archeologico
- Sorgente carsica



CARTA DELLE UNITA' DI PAESAGGIO

Bacini idrografici dei fiumi Pecora e Cornia

Legenda:

Idrografia

- Corso d'acqua artificializzato
- Corso d'acqua principale
- Tributario principale
- Bacino idrografico

Unità di Paesaggio Collinare (UPC)

- UPC-Ve
- UPC-Va
- UPC-Vc

Unità di Paesaggio Vallivo (UPV)

- UPV-Ca
- UPV-Te
- UPV-Va
- UPV-Ct
- UPV-Co

Unità di Paesaggio Costiero (UPCo)

- UPCo-Pc
- UPCo-Pa
- UPCo-DS

Simbologia

- Conoide alluvionale

Toponimi

- Centro urbano
- Località
- Sito archeologico
- Sorgente carsica

SEZIONE II

**MACROSCALA: SISTEMI VALLIVI E PIANURE
COSTIERE**

CAPITOLO II.1 - INTRODUZIONE

II.1.1. QUESTIONE ARCHEOLOGICA

Nelle fasi iniziali del progetto nEU-Med, l'attenzione storico-archeologica si è focalizzata prevalentemente sui siti archeologici di Vetricella (Marasco *et al.*, 2018), e Carlappiano (Dallai *et al.*, 2018).

La caratteristica comune ai due siti è quella di trovarsi in ambienti prossimi ad un sistema lagunare e/o palustre che, fino a tempi molto recenti, caratterizzava entrambi i settori (la bonifica definitiva dei paduli di Scarlino e di Piombino è avvenuta negli anni '50 del XX secolo, Londi *et al.*, 2007). La presenza di ambienti umidi in aree anche molto interne rispetto alla costa è testimoniata ulteriormente dalla cartografia del Catasto Leopoldino della prima metà del XIX secolo e da altri documenti cartografici risalenti ai secoli precedenti (Londi *et al.* 2007).

Per tale motivo, la principale questione geoarcheologica, a carattere della Macroscala, ha riguardato le caratteristiche del paesaggio fisico all'intorno degli insediamenti medievali nonché la loro evoluzione. I dati ottenuti sono stati perciò comparati con le indicazioni archeologiche e storiche relative ai periodi di occupazione e tipologie di gestione dei territori presi in esame, in maniera tale da definire con maggior precisione le modificazioni occorse nei paesaggi e non riportate nelle cronache storiche.

Ad esempio, un elemento cruciale è stato la definizione delle caratteristiche delle aree palustri e lagunari per determinare se consentissero uno scambio diretto con il settore costiero (es. navigazione) e le relazioni con i processi vallivi e dei versanti circostanti. Per rispondere a queste domande l'analisi geoarcheologica è stata condotta attraverso il rilevamento geomorfologico, sia da remoto che da terreno, l'analisi dei dati topografici di dettaglio (LiDAR) analisi stratigrafica e sedimentologica dei record sedimentari (affioramenti, trincee meccaniche e sondaggi a carotaggio continuo). I dati così ottenuti sono stati integrati allo scopo di ottenere un modello di evoluzione del paesaggio altomedievale. Inoltre, gli stessi record sono stati utilizzati per effettuare analisi sui proxies biologici, quali analisi vegetazionali (pollini, carboni), paleoidrologia e paleoambiente delle aree umide (molluschi, foraminiferi, ostracodi, pesci) e analisi geochimiche (TIC/TOC, conducibilità elettrica, pH, fosfati ecc.). I dati provenienti da queste analisi sono tuttora in fase di elaborazione e non verranno perciò discussi in questa tesi.

II.1.2. DATI STORICI PREGRESSI

Le documentazioni storiche e cartografiche precedenti l'età moderna e le bonifiche recenti mostrano la presenza di aree umide lungo la costa (Fig. II.1), anche se la loro estensione e precisa caratterizzazione ambientale presenta delle controversie (Dallai *et al.*, 2018). Tuttavia, la presenza di porti utilizzati per lo scambio commerciale è attestata sia a Piombino, nella pianura del Cornia (Camilli, 2005) sia a Puntone (Cucini, 1985) nell'area del Pecora.

II.1.2.1. Pianura costiera del Pecora

Le prime attestazioni di bonifica e regolamentazione delle acque si hanno a partire dalla fine del '500 ad opera dei Medici, e dalla prima metà del '700, con i Lorena. Gli interventi di recupero più concreti recenti ed organici, però, iniziano con il Granduca Leopoldo II (1831, Londi *et al.*, 2007; Dallai *et al.*, 2018). La documentazione storica riporta che le prime bonifiche furono effettuate tecnica con il metodo della colmata, che consisteva nell'esecuzione di opere di regimazione atte a favorire la deposizione del carico solido trasportato dai corsi d'acqua e per creare dei gradienti topografici favorevoli al drenaggio superficiale. Successivamente, data la lentezza del processo, questi lavori furono potenziati integrandoli con azioni di riempimenti artificiali attraverso l'utilizzo di materiali di diversa origine, inclusi i materiali di risulta dei siti minerari presenti nell'area e le discariche antiche (Baiocco *et al.*, 1990). È in questo periodo che il paesaggio della pianura costiera del Pecora subisce delle importanti trasformazioni (Francovich, 1985). Tra le principali si menzionano:

- Sistemazione della laguna del Puntone di Scarlino tramite la costruzione di un argine divisorio, per impedire il mescolamento delle acque marine con quelle dolci³.
- Deviazione del Torrente Ferriere, tributario del fiume Pecora, mediante la costruzione un ponte-canale presso la loro confluenza a Cura Nuova. Quest'opera fu attuata sia per utilizzare il Torrente Ferriere come fonte di energia idraulica alle fonderie di Follonica, sia per utilizzare il fiume Pecora per le operazioni di colmata. Quest'ultimo inoltre, fu arginato artificialmente e deviato verso Ovest.
- Canalizzazione di tutti i corsi d'acqua della porzione orientale della palude e loro confluenza all'interno di un unico fosso (Fosso Allacciante), per consentire il deflusso delle acque stagnanti e la colmata delle aree più depresse e regimare gli eventi di esondazione.

³ Intervento effettuato nella credenza che la malaria fosse in stretto rapporto con la presenza delle paludi e la miscelazione tra acque salate e dolci.

II.1.2.2. Pianura costiera del Cornia

Anche quest'area, nota come Padule di Piombino, è stata oggetto in tempi storici di importanti opere di bonifica che, a partire dal XIX secolo, hanno delineato l'assetto morfologico ed idraulico odierno. Nel XVIII secolo, la cartografia disponibile (Londi *et al.*, 2007; Dallai *et al.*, 2018) indica la presenza di aree umide in comunicazione con il mare nel settore occidentale (Piombino) e nel settore orientale (ad Est di Carlappiano) (Fig. II.1). Inoltre, aree perennemente umide, ma di limitata estensione, sono segnalate anche nella parte più interna della pianura fino ad una distanza di 6 km dalla costa. La complessa interazione tra le dinamiche fluviali e le dinamiche antropiche è testimoniata da segnalazioni di paesaggi umidi in continua evoluzione e presenza di malaria, a causa alla cattiva manutenzione dei corsi d'acqua naturali ed artificiali (Francovich, 1985).

Solo nel 1828, con l'emanazione del *Motu Prorio*⁴ (Londi *et al.*, 2007), e l'avvio da parte del Granduca di Toscana delle opere di bonifica della Maremma Grossetana iniziano i lavori di bonifica sistemazione idraulica, con opere di regimazione del Cornia ed il suo definitivo spostamento verso Ovest, e la conseguente regimazione di fossi, come Corniaccia ed Acquaviva, per consentire la colmata del settore orientale della pianura.



Figura II.1 – Esempio di cartografia storica. Carta dell'anno 1667 del territorio di Siena con il Ducato di Castro. Il riquadro rosso delimita il territorio in esame. Si noti la presenza della laguna di Piombino nella pianura costiera del Cornia.

⁴ Formula introduttiva latina (tradotta letteralmente “di propria iniziativa”) che indica l’atto ed il documento di una concessione emanata direttamente da chi ne ha il potere o la facoltà.

CAPITOLO II.2 - MATERIALI E METODI

Al fine di ricostruire l'evoluzione del paesaggio è stata presa in esame l'intera estensione del bacino idrografico del fiume Pecora e la pianura costiera del bacino idrografico del fiume Cornia. I dati sono stati acquisiti sia tramite rilevamenti di campagna e survey geomorfologico sia da remoto con analisi della cartografia storica, analisi dei Modelli Digitali di Terreno (DTM–*Digital Terrain Model*) ed interpretazione delle ortofotocarte (OFC) multitemporali.

II.2.1. ANALISI DA REMOTO

II.2.1.1. Carta Tecnica Regionale (CTR)

Il dataset topografico utilizzato fa riferimento alla Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:10,000 degli anni 1994 e 1998 (anno di realizzazione dei voli) disponibile presso il "Sistema Informativo Territoriale ed Ambientale" (SITA) fornito dalla Regione Toscana (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>). La Carta Tecnica è inquadrata nella rete geodetica italiana, con rappresentazione cartografica nella proiezione di Gauss-Boaga Roma 40 fuso Ovest. I quadri d'unione (rt_ctr.10k.qu) della CTR utilizzata che ricadono all'interno dei due bacini idrografici sono riportati di seguito. A questo quadro d'unione sono inoltre associate tutte le OFC dei dataset aerofotografici utilizzati.

– 295140; – 295150; – 305080; – 305120; – 305160; – 306010; – 306020; – 306030; – 306050; – 306060; – 306070; – 306080; – 306090; – 306100; – 306110; – 306120; – 306130; – 306140; – 306150; – 317030; – 317040; – 317070; – 318010; – 318020; – 318030; – 318040; – 318050; – 318060; – 318070; – 318080; – 318100; – 318110.

II.2.1.2. LiDAR e DTM

Il DTM utilizzato, con passo di 1 m, è derivato dal LiDAR di proprietà MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare), effettuata su piattaforma aerea, e realizzato per le aste fluviali di I e II ordine (Fig.II.2). Per le aree escluse (linea di costa, settori collinari) sono stati utilizzati i DTM ricavati dai LiDAR della Regione Toscana disponibili sul SITA con passo a 2 m, per il tratto di costa, e 10 m per le aree collinari. Le analisi condotte sono state effettuate sia sulle immagini finali di tipo *raster* sia su ulteriori elaborazioni condotte sul DTM stesso. È stato quindi realizzato un *Hillshade*, variando l'angolo d'illuminazione per enfatizzare l'osservazione di variazioni di quota significative.

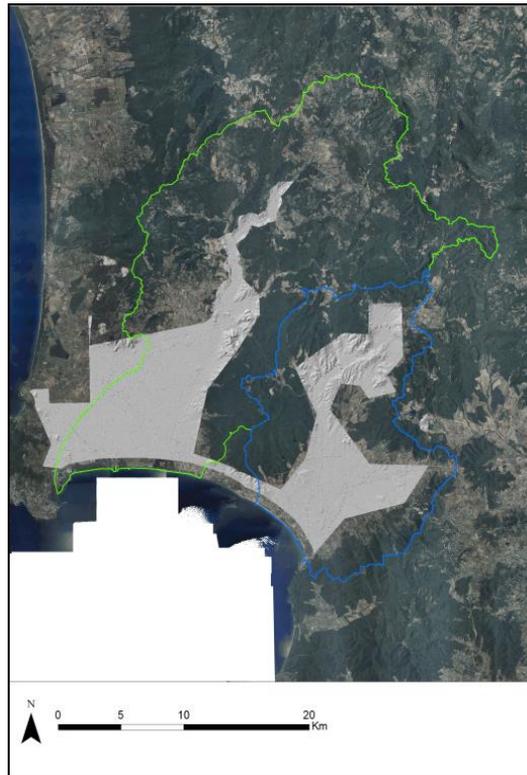


Figura II.2 – DTM su LiDAR con passo a 1 m del territorio d'indagine, con riportati i limiti dei bacini idrografici del F. Cornia (in verde) e del F. Pecora (in blu)

II.2.1.3. Dataset aerofotografico

Attraverso l'analisi multitemporale è stato possibile individuare elementi geomorfologici relativi all'idrografia superficiale delle aree di pianura di cui nelle immagini più recenti si è persa l'evidenza.

Le ortofoto multitemporali utilizzate si estendono per un arco temporale di 56 anni, dal 1954 al 2013 (Fig. II.3), e sono disponibili sul GEOSCOPIO_WMS-ORTOFOTO a cura del SITA della Regione Toscana. L'utilizzo delle ortofoto multitemporali ha facilitato le procedure di elaborazione e digitalizzazione delle informazioni morfometriche e geomorfologiche, rendendo più efficace l'analisi temporale territoriale. Le ortofoto più antiche sono state acquisite con camere metriche e stampate su carta e successivamente digitalizzate; quelle moderne invece sono state acquisite direttamente da camere metriche digitali.

Le strisciate sono tutte con andamento E-O-E in asse alle sezioni di CTR per ottimizzare la restituzione cartografica

Di seguito si riportano i voli utilizzati all'interno di questo lavoro:

-
- **1954 – Volo GAI:** (Fig. II.3a) le immagini del Volo GAI (Gruppo Aereo Italiano) sono state realizzate in Toscana nel triennio 1954-56. L'archivio fotografico, di proprietà e conservato presso l'Istituto Geografico Militare (IGM) di Firenze è stato ortorettificato presso il LARIST (Lucchesi *et al.*, 2006). È costituito da 2463 fotogrammi a livelli di grigio acquisiti ad una quota di volo compresa fra 5000 e 10000 m ed hanno una scala nominale di ripresa tra 1:30.000 e 1:65.000. La scala di visibilità è 1:1 – 1:5.000.000 con dettaglio 1:10.000.
 - **1978 – Volo EIRA:** (Fig. II.3b) le riprese del Volo EIRA (Ente Italiano Rilievi Aerofotogrammetrici) sono state realizzate per l'intera Toscana negli anni 1975-76. I fotogrammi in livelli di grigio sono stati acquisiti ad una quota di volo di circa 2000 m per una scala nominale di ripresa pari a 1:13.000, sebbene i fotogrammi supportino l'ingrandimento fino a 7 volte, cioè fino alla scala 1:2000. Ogni fotogramma copre un'area di circa 900 ettari. La digitalizzazione ed ortorettificazione dei fotogrammi è stata fatta dall'Ufficio Cartografico Regionale ad una risoluzione di 1m per pixel. La scala di visibilità è 1:1 – 1:5.000.000 con dettaglio 1:10.000.
 - **1988 – Ortofoto RT (Regione Toscana):** (Fig. II.3c) le riprese in livelli di grigio sono state acquisite nel 1988 dalla CGR Parma (Compagnia Generale Riprese Aeree) e di proprietà della Regione Toscana. Le immagini sono state riprese ad una quota di volo media di 1500 m, con risoluzione spaziale pari a 1 m, e ritagliate sulla CTR 1:10,000.
 - **1996 – Ortofoto AIMA:** (Fig. II.3d) le ortofoto digitali in livelli di grigio sono state acquisite nel 1996 dalla Compagnia Generale Riprese aeree (CGR) per il Ministero dell'Ambiente. Le immagini sono state riprese ad una quota di volo media di 1500 m, con risoluzione spaziale pari a 1 m, e ritagliate sulla CTR 1:10,000.
 - **2010 – Ortofoto RT (Regione Toscana):** (Fig. II.3e) volo Rossi Brescia e di proprietà AGEA (Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura), ortofoto digitali ad alta definizione a 32 bit di colore, riprese nel campo di luce visibile acquisite nel 2010 dalla Regione Toscana con copertura dell'intero territorio regionale. Le immagini sono state riprese ad una quota di volo media di 1500 m, con risoluzione spaziale pari a 0,5 m. La scala di visibilità è di 1:1 – 1:5.000.000 e ritagliate sulla CTR 1:10.000.
 - **2013 – Ortofoto RT (Regione Toscana):** (Fig. II.3f) volo BLOM-CGR Parma e di proprietà AGEA (Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura), sono ortofoto digitali ad alta risoluzione a 32 bit di colore, riprese nel campo di luce visibile acquisite nel 2013 dalla Regione

Toscana con copertura dell'intero territorio regionale. Le immagini sono state riprese ad una quota di volo media di 1500 m, con risoluzione spaziale pari a 0,5 m. La scala di visibilità è di 1:1 – 1:5.000.000 e ritagliate sulla CTR 1:10.000.

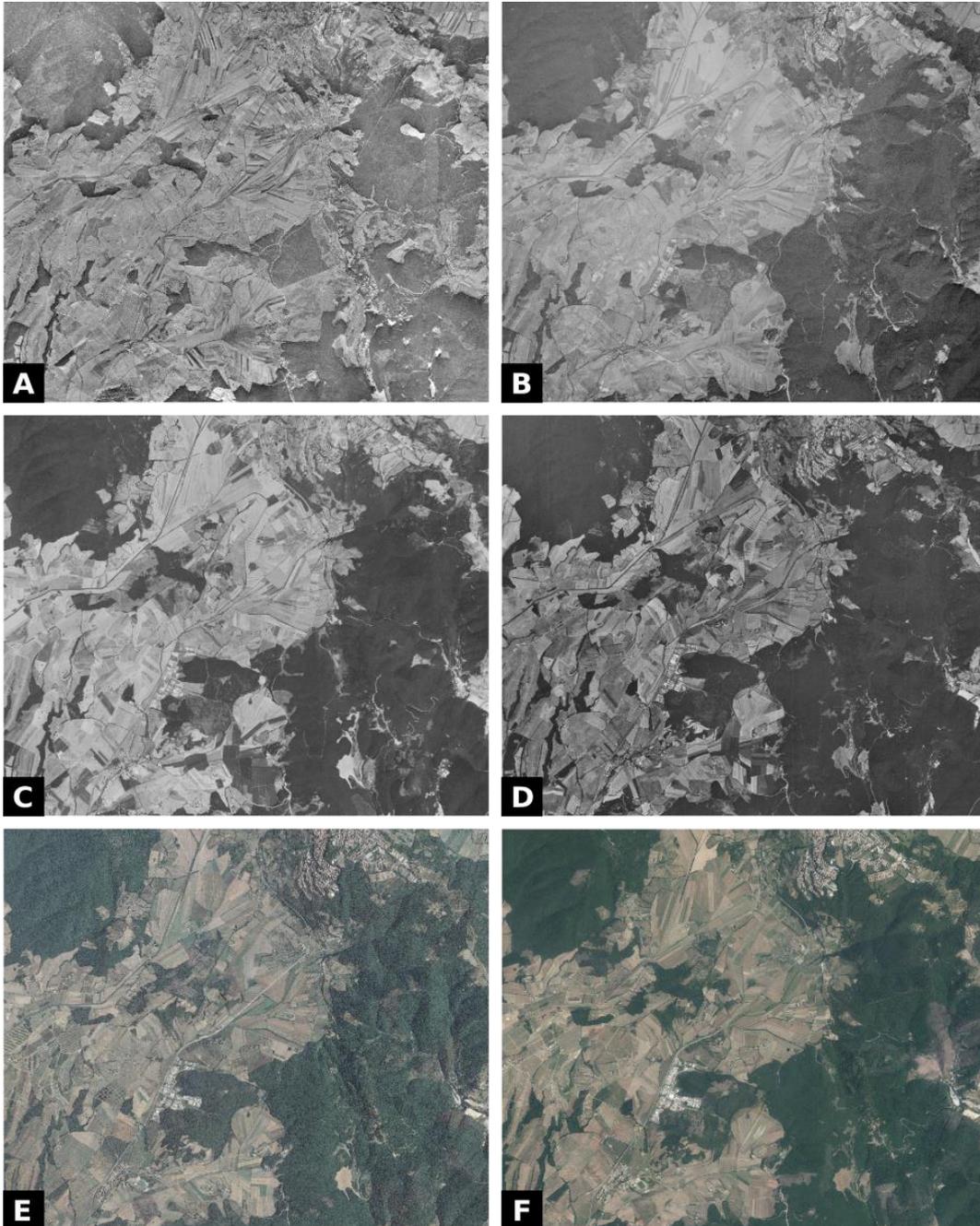


Figura II.3 – Dataset aerofotografico multitemporale utilizzato. L'esempio qui proposto rappresenta l'area di Massa Marittima, con il centro abitato nella porzione superiore, e la depressione di Pian del Vescovo, al centro (elemento: 306150). Si notino i cambiamenti della copertura vegetale e l'antropizzazione del territorio nel corso degli anni. **A)** Volo GAI, 1954; **B)** Volo EIRA, 1978; **C)** Volo RT (Regione Toscana), 1988; **D)** Ortofoto RT (Regione Toscana), 1996; **E)** Ortofoto RT (Regione Toscana), 2010; **F)** Ortofoto RT (Regione Toscana), 2013.

II.2.1.4. Cartografia storica

L'unica cartografia storica digitalizzata e georeferenziata disponibile per la Regione Toscana è quella relativa al Catasto Generale di Terraferma, noto come Catasto Leopoldino (Fig. II.4), promulgato da Pietro Leopoldo Granduca di Toscana nel XIX secolo. Per le loro caratteristiche geometrico-particellari di estrema precisione, che si appoggiano alla triangolazione primaria realizzata nel 1820 secondo criteri astronomici-geodetici (Rombai, 1989) i catasti ottocenteschi costituiscono tutt'oggi uno strumento molto utile per la ricostruzione dell'antico assetto territoriale. Nel Progetto CASTORE (Cartografia Storica Regionale) La Regione Toscana e gli Archivi di Stato toscani (<http://www.regione.toscana.it/-/castore>) mettono a disposizione il quadro generale particellare del catasto digitalizzato in formato TIFF e georeferenziato con il sistema di riferimento nazionale Gauss-Boaga. Sono state inoltre consultate ulteriori mappe storiche a scala minore e non georeferenziabili riferibili al Gran Ducato di Toscana tra il sec. XVI e XVIII (Malavolti, 1573; Inghirami, 1830; Tartini, 1838; Merciai, 1910, 1929; Mori, 1935).



Figura II.4 – Catasto Leopoldino

II.2.2. ANALISI SEDIMENTOLOGICA E DI FACIES SEDIMENTARIE

Lo studio ha riguardato sia affioramenti naturali sia affioramenti esposti artificialmente. Tutte le sezioni osservate sono state geopositonate, e documentate sia con acquisizione fotografica digitale sia con disegno. La descrizione è stata effettuata in termini di analisi di facies utilizzando la metodologia proposta da A.D. Miall (1996). Le caratteristiche sedimentologiche prese in considerazione per la determinazione delle facies sono state: dimensione, morfologia e genesi dei costituenti, geometrie interne e *fabric*. Le facies sono state successivamente raggruppate in associazioni che corrispondessero ai caratteri degli ambienti deposizionali interni. Per ultimo, l'associazione degli elementi architettonici e la presenza di superfici di delimitazione hanno permesso di definire gli stili e le dinamiche fluviali che hanno determinato il paesaggio fisico.

La restituzione grafica è stata elaborata in laboratorio tramite l'utilizzo di *software* di editor grafico vettoriale sia *open source* (Inkscape 0.92) sia commerciale (Adobe CorelDRAW Graphic Suite ©).

II.2.3. RILEVAMENTO DI CAMPAGNA

Il rilevamento di campagna è stato condotto utilizzando le tradizionali tecniche di osservazione e di cartografia e la loro restituzione in formato digitale. Il rilevamento geomorfologico, a scala 1:10,000 sulla base delle CTR e delle OFC 2010, è stato condotto attraverso cartografia e analisi delle forme e dei depositi e dei processi associati. Le forme del paesaggio sono state quindi classificate secondo l'agente morfogenetico responsabile del loro modellamento, l'attributo morfodinamico (stato d'attività), morfometrico (dimensioni), e morfocronologico (età).

Tutte le osservazioni e le informazioni grezze ottenute dalle analisi da remoto e di rilevamento di campagna hanno permesso di redigere una carta geomorfologica dell'area d'indagine in cui vengono riportate le morfologie riconosciute. La carta geomorfologica è stata realizzata e stampata utilizzando come base topografica la carta CTR a scala 1:10.000.

Il lavoro è stato condotto in ambiente GIS tramite il software ESRI ArcMAP 10.5, progettando un geodatabase dedicato, la cui struttura è stata elaborata sulla base delle linee guida proposte dalla Regione Toscana (2017), ed in conformità alle linee guida del Servizio Geologico d'Italia per il rilevamento e la rappresentazione cartografica della Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000 (ISPRA-APAT, 1994). L'output finale della carta geomorfologica è semplificato rispetto

ai dati originali alla scala del rilevamento attraverso i processi di generalizzazione e di rappresentazione grafica, in conformità con le finalità del progetto nEU-Med.

II.2.4. OPERAZIONI DI CAROTAGGIO

Tra i mesi di Luglio ed Ottobre 2018 sono stati eseguiti 12 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (8 nella pianura costiera del fiume Cornia; 4 nella pianura costiera del fiume Pecora) a profondità variabile tra 6 e 10 m per un totale di ca. 90 m di record stratigrafico. In base sia alle evidenze geomorfologiche che archeologiche pregresse, la localizzazione dei punti dei sondaggi è stata fatta con l'intento di eseguire dei transetti che caratterizzassero i processi sedimentari, iniziando quindi dalle aree più interne, relative alle pianure alluvionali, verso quelle più esterne attraverso gli ambienti umidi fino alla area costiera. Per il bacino idrografico del fiume Pecora, data la lontananza del sito archeologico di Vetricella dalla costa, il transetto è stato eseguito nelle aree prossime all'insediamento, con l'intento inoltre di incrociare di dati stratigrafici con quelli ottenuti dall'analisi stratigrafica delle trincee meccaniche relative alla Mesoscala (cfr. Sez. III, Mesoscala). La localizzazione dei sondaggi è riportata nelle Figg. II.35, II.37.

I sondaggi sono stati eseguiti dalla ditta Gamma Geoservizi srl di Grosseto utilizzando un carotiere semplice di diametro 101 mm e lunghezza 2,4 m, con corona widia montata su una sonda idraulica a rotazione HAMMER Hydra Joy 2 (Fig. II.5). La perforazione è avvenuta a secco dove possibile, specialmente per i primi metri, o con immissione d'acqua; l'estrusione della carota è avvenuta a secco. Ogni punto è stato georeferenziato e quotato. I campioni estratti dal carotiere sono stati sistemati nelle apposite cassette catalogatrici in PVC a 5 scansioni interne di 1 m ciascuna sulle quali è stato riportato il numero del sondaggio e la profondità di riferimento (Fig. II.5). L'analisi di campo preliminare ha previsto la descrizione delle caratteristiche sedimentologiche principali delle singole facies riconosciute, documentazione fotografica di ogni singola carota, sia generale che particolari, e disegno stratigrafico.

Tutte le carote raccolte sono state successivamente trasportate e conservate nei laboratori del Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Siena dove si è provveduto alla loro pulizia, alla documentazione fotografica e alla predisposizione dei log sedimentologici e stratigrafici definitivi.

La seconda fase ha previsto la revisione totale della descrizione preliminare di campo, implementando nel dettaglio ogni singola facies riconosciuta e successivamente stilando un resoconto generale dell'interna carota. Per le proprietà descritte si è tenuto in considerazione

la tessitura, la presenza di strutture sedimentarie, il colore, la presenza di orizzonti di alterazione pedogenetica, il contenuto di record biologico (molluschi resti vegetale, carboni ed il grado di frammentazione) presenza di screziature, patine, rivestimenti e noduli di Fe-Mn, noduli di CaCO_3 con valutazione dell'effervescenza tramite l'utilizzo di Acido Cloridrico (HCl) diluito al 10%. La codificazione del colore dei sedimenti e delle figure ossido-riducenti è stata ottenuta in condizioni umide con l'ausilio della apposita tavola cromatica *Munsell Soil Color Chart*.

L'elaborazione e la resa grafica dei log stratigrafici è stata effettuata tramite l'ausilio del *software* di editor grafico vettoriale *open source* Inkscape.

Campioni di carboni e sedimenti organici sono stati prelevati per datazioni al radiocarbonio. Le datazioni sono state effettuate presso i laboratori della Beta Analytic. Le carote sono state inoltre campionate per analisi paleobotaniche (pollini, carboni e macroresti vegetali), paleoambientali, sia micropaleontologiche (ostracodi e foraminiferi) che macropaleontologiche quando osservati, e geochimiche (conducibilità elettrica, EC; gradi di reazione, pH; carbonio organico totale, TOC; carbonio inorganico totale, TIC; azoto, N; analisi elementare XRF). I risultati di queste ultime analisi sono tutt'ora in fase di studio e pertanto non verranno discusse all'interno di questa tesi.



Figura II.5 – Operazioni di carotaggio (Cornia 4)

CAPITOLO II.3 - SISTEMA VALLIVO DEL FIUME PECORA

II.3.1. OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE

L'unità di paesaggio valliva del bacino idrografico del fiume Pecora è il risultato di una interazione complessa tra processi erosivi e deposizionali legati principalmente alle acque correnti superficiali, processi carsici ed attività antropiche (cfr. le osservazioni con Fig. II.9)

Il tratto prossimale del corso odierno del fiume Pecora si sviluppa all'interno delle depressioni carsiche di Pian del Vescovo ad O-SO di Massa Marittima (Fig. II.6a). In quest'area, gli interventi antropici sul reticolo idrografico sono stati finalizzati al drenaggio di queste aree depresse attraverso la realizzazione di canali pensili (Fig. II.6b) e convogliando il drenaggio delle acque attraverso la soglia che collega Pian del Vescovo in direzione di Padule di Moreta e Loc. La Cascata. Allo stesso modo, le acque della sorgente carsica di Le Venelle sono state invece canalizzate verso NE (in direzione opposta alla canalizzazione del fiume Pecora) e deviate bruscamente verso S, confluentole con le acque della sorgente carsica Aronna, ed infine convogliate nel Torrente Ferriere. Precedentemente a tali sistemazioni idrauliche, il drenaggio di queste depressioni era impedito dalla presenza di soglie, che venivano interessate da fenomeni di tracimazione solamente durante episodi eccezionali critici.

A valle delle soglie di Pian del Vescovo si aprono i paesaggi caratteristici della presenza degli ambienti di tufi calcarei. Questi ambienti oggigiorno sono disattivati e sono caratterizzati dalla presenza di ampi terrazzi pianeggianti e gradini morfologici corrispondenti ai *barrages*.

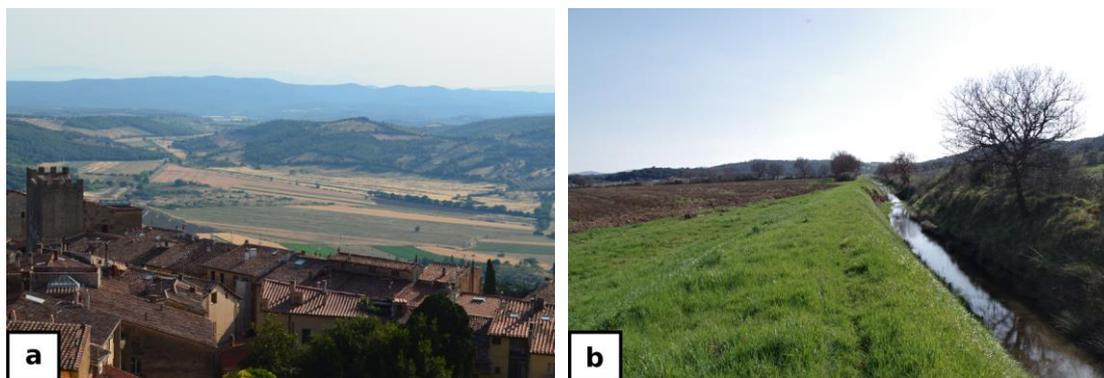


Figura II.6 – Tratto prossimale del bacino del F. Pecora. **a)** visuale da Massa Marittima della depressione carsica di Pian del Vescovo; sullo sfondo è possibile notare la soglia che separa la depressione carsica dall'ambiente di CT. **b)** Pian del Vescovo, opere di regimazione del F. Pecora

Le superfici dei terrazzi sono interessate da profili pedologici molto sottili e poco evoluti (Entisol, Inceptisol, USDA, 2014). Nelle fasi in cui la precipitazione di CaCO_3 era attiva, il paesaggio in quest'area all'interno della valle era interessato da ambienti umidi di tipo prevalentemente palustre a causa delle soglie di crescita dei *barrages* stessi.

Per quanto riguarda il fiume Pecora, il tratto principale in questo settore è caratterizzato dalla presenza del *barrage* principale (Loc. La Cascata). Questo *barrage* ha una altezza media di ca. 40 m ed uno sviluppo laterale di circa 1,5 km (Fig. II.7a). A monte di esso è possibile osservare le tracce del paleodrenaggio antecedente le opere di sistemazione idraulica. Tale drenaggio convogliava le acque nella porzione meridionale della valle, verso Padule di Moreta, ed all'interno di una profonda forra incisa nel *barrage*, oggi inattiva. Conseguentemente, l'area retrostante era caratterizzata da ambienti umidi e palustri (Fig. II.7b). La presenza di questi ambienti, fino a tempi molto recenti, è testimoniata inoltre da alcuni toponimi, es. Padule di Moreta⁵ a S e Pian delle Gore a N. Oggigiorno il corso attuale del fiume Pecora in questo settore è completamente regimato (Fig. II.7c) e convogliato all'interno di un taglio artificiale che incide profondamente la cascata, drenando di conseguenza tutte le aree depresse a monte (Fig. II.7d). La presenza di opere di sbarramento in muratura e pietre nell'area di Padule di Moreta testimoniano la continua tendenza delle acque a drenare verso il corso naturale originale (Fig. II.7e).

Nell'area a valle della cascata, Loc. Piano del Padule⁶ (Fig. II.7f), le tracce del paleo-drenaggio sono concordanti con quelle osservate a monte. In questo tratto i paleoalvei scorrono sulla superficie topografica in addossamento al fianco sinistro della valle. Tutt'oggi sono presenti opere di canalizzazione delle acque superficiali per favorire il completo drenaggio dell'area. In questa porzione, il corso del fiume Pecora forma una forra profonda ca. 15 m ed ampia fino a ca. 20 m che incide le successioni dei tufi calcarei ed alluvionali ed approfondendosi fino al substrato (Fig. II.7g) e formando un ampio terrazzo. I tributari in questo tratto, provenienti per la totalità dal fianco destro della valle, sono interessati anch'essi dalla presenza di ambienti di tufi calcarei che formano dei terrazzi profondamente incisi dai corsi d'acqua attuali.

⁵ Il termine "Padule" indica, nell'italiano regionale toscano, ambienti paludosi.

⁶ Il toponimo suggerisce anche in questo caso la presenza di aree umide sino a tempi molto recenti.

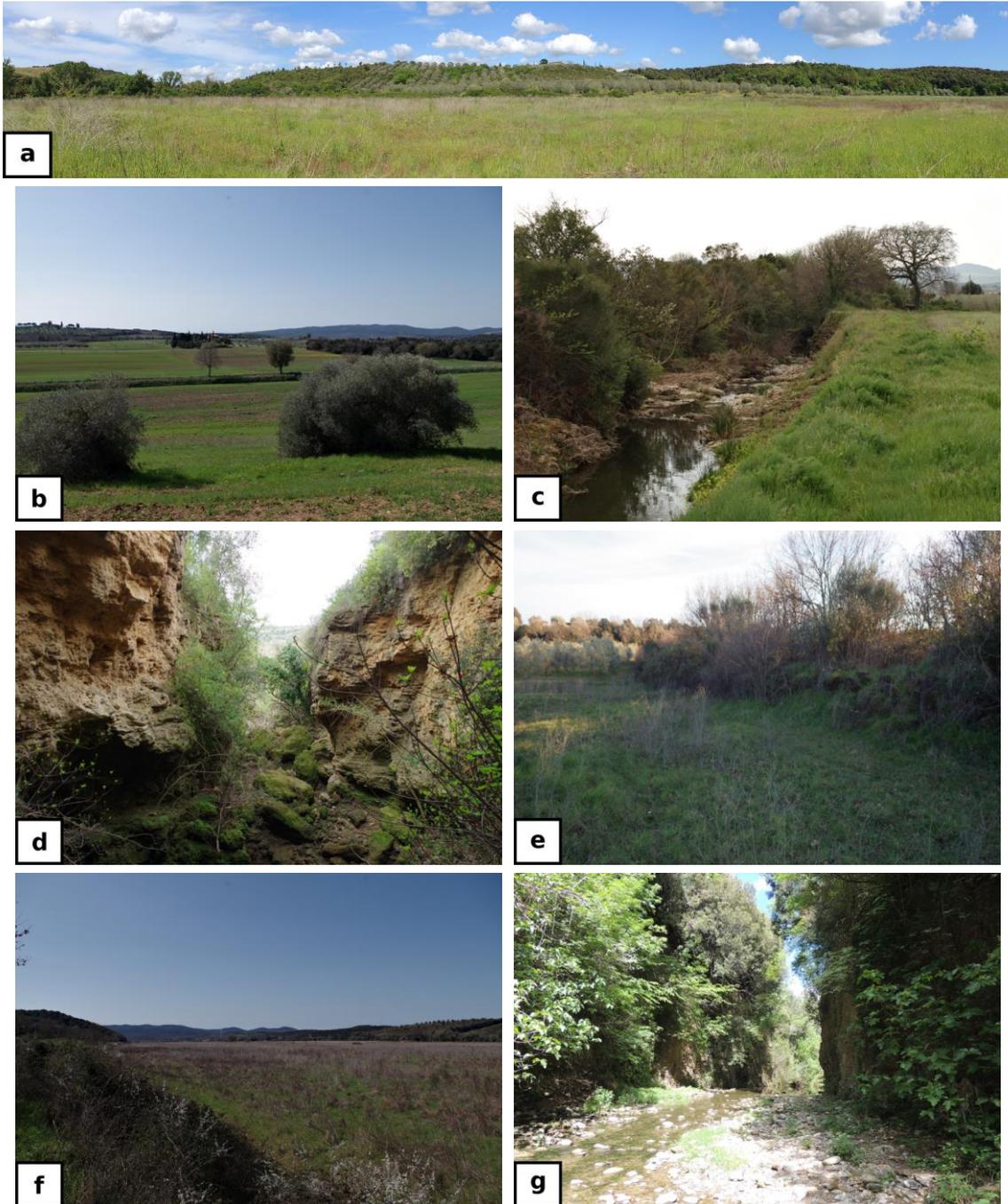


Figura 11.7 – Tratto mediano del bacino del F. Pecora caratterizzata da ambienti di CT. **a)** visuale da valle (Piano del Padule) della cascata. **b)** visuale dell'area a monte della cascata; si noti l'area depressa di Pian delle Gore che ospitava ambienti palustri/stagnanti prima delle opere di bonifica. **c)** regimazione del F. Pecora ed imbocco nel taglio artificiale all'interno della cascata; si noti l'incisione dell'alveo direttamente sulle formazioni di CT in facies di cascata. **d)** visuale interna del taglio artificiale; le formazioni di CT in facies di cascata sono ben riconoscibili. **e)** Padule di Moreta, sbarramento in muratura. **f)** visuale di Piano del Padule. **g)** forra incisa dal F. Pecora su sedimenti alluvionali e formazioni di CT in facies palustre.

Particolarmente interessante è il Fosso Trecine, primo tributario a valle della cascata; la cartografia storica, infatti, identifica questo corso d'acqua con il toponimo di Pecora Vecchia, mentre il corso attuale del fiume Pecora, a monte della cascata, è riportato con il toponimo di Torrente Sata. Ciò indicherebbe, dunque, che precedentemente la realizzazione delle opere di regimazione il Fosso Trecine fosse identificato come il corso d'acqua principale.

Verso valle, l'ambiente dei tufi calcarei si interrompe nei pressi di Loc. Casa al Conte; da questo settore in poi l'incisione del fiume Pecora diminuisce bruscamente e la pianura alluvionale si amplia (Fig. II.8a), mostrando la presenza di numerose tracce di paleoalvei che divagano all'interno di essa. Tale andamento prosegue fino alla confluenza con Fosso di Valmora, tributario in sinistra idrografica. Da questo settore, fino alla confluenza con il Torrente Ferriere, il fiume Pecora è stato oggetto di sistemazioni idrauliche, attraverso la costruzione di argini artificiali e tratti rettificati. Infine, il tratto finale assume le caratteristiche di un alveo pensile, deviato definitivamente verso O per servire alle colmate del Padule di Scarlino e agli stabilimenti industriali.

Per quanto riguarda la valle del Torrente Ferriere, l'area è caratterizzata anch'essa da ambienti di tufi calcarei con estesi terrazzi e corrispettivi *barrages*. Tuttavia, a differenza di quanto osservato per il fiume Pecora, il drenaggio attuale in questa valle scorre all'interno di una pianura alluvionale molto ampia. Nel tratto distale di questo ambiente, nei pressi di Cura Nuova, le formazioni di tufi calcarei formano un terrazzo sul fondovalle attuale ampio fino a ca. 15 m. In aggiunta, è da riportare che in questo settore le superfici dei terrazzi sono interessate dalla presenza di suoli argillici decarbonatati rubefatti (Alfisol, Fig. II.8b). Nel tratto più distale, prima della confluenza con il fiume Pecora, il corso d'acqua è confinato a N dai terrazzi di tufi calcarei di Cura Nuova, mentre a S da un terrazzo alluvionale localizzato ca. 4 m di altezza dal *thalweg*. La superficie di quest'ultimo degrada gradualmente verso S fino ad essere sepolta dai sedimenti della pianura alluvionale tardopleistocenica, sulla cui porzione più distale si colloca il sito archeologico di Vetricella (cfr. Sez. III. Mesoscala).

Per ottenere una visione più dettagliata, nonché raffinare l'evoluzione geomorfologica del tratto prossimale e mediano del fiume Pecora, sono state condotte ulteriori osservazioni sugli affioramenti disponibili delle sequenze sedimentarie alluvionali e delle formazioni di tufi calcarei.

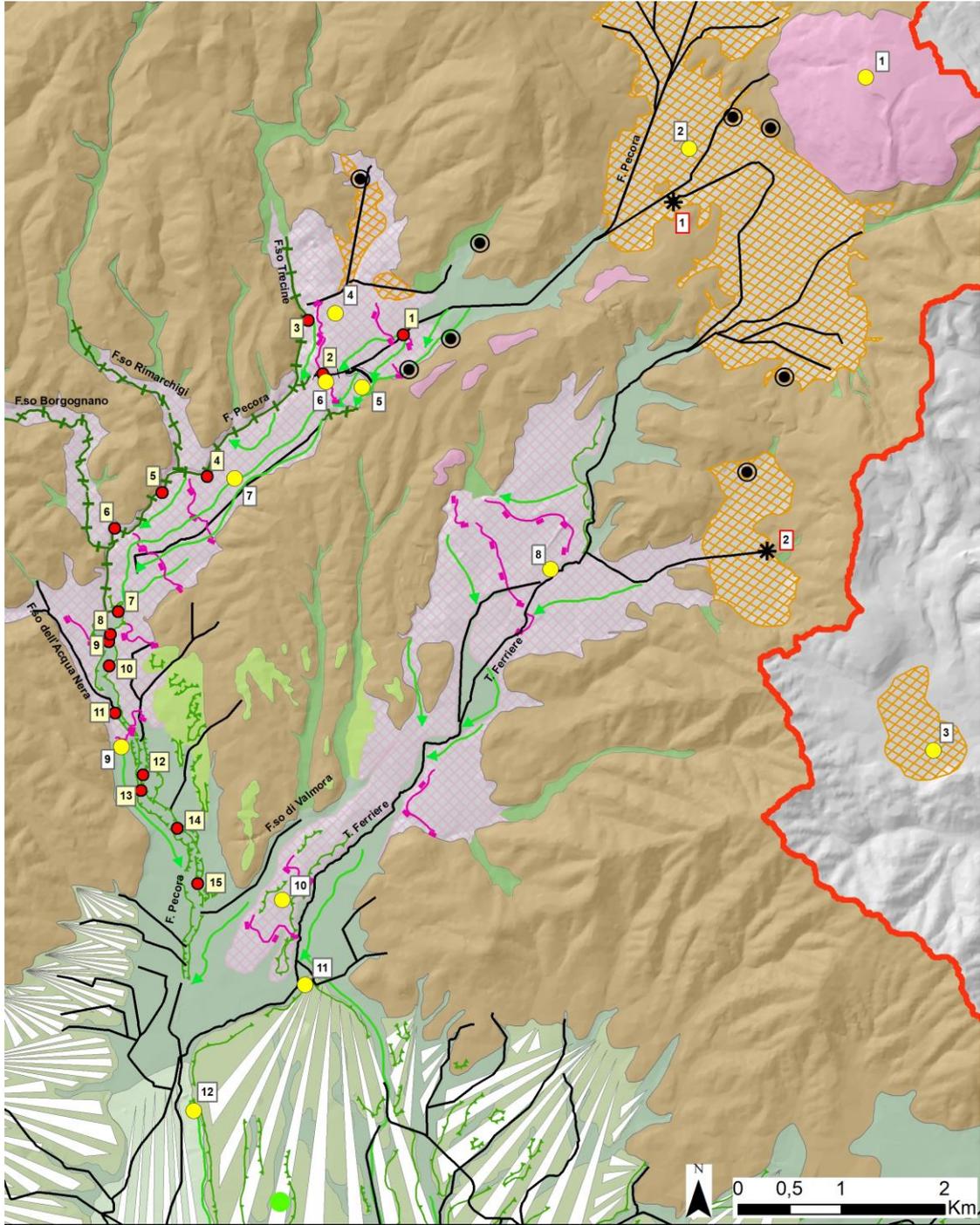


Figura II.8 – Porzione a valle degli ambienti CT. **a)** diminuzione dell'incisione dell'alveo del F.Pecora all'interno della pianura alluvionale; **b)** Superficie dei terrazzi interessate da suoli argillici decarbonatati rubefatti (Alfisol)

II.3.2. CASSA D'ESPANSIONE

Ai fini della riduzione del rischio idraulico della pianura costiera del fiume Pecora, nel 2016 è stata realizzata una cassa d'espansione in derivazione di dimensioni di ca. 400 m in lunghezza e ca. 100 m di larghezza per le laminazioni delle piene. Tale opera, promossa dal "Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa", si colloca sulla sinistra idrografica del fiume Pecora e a valle del Torrente Ferriere, a circa 500 m NO dal sito archeologico di Vetricella (cfr. Figg. II.9, II.10). L'importanza delle sezioni esposte nella cassa d'espansione risiede nel fatto che ha permesso l'osservazione della successione sedimentaria della superficie su cui si imposta il sito di Vetricella, sulla pianura alluvionale e le sue relazioni con gli eventi sedimentari della pianura alluvionale stessa. Grazie alla collaborazione del "Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa" e della "Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Siena, Grosseto e Arezzo", è stato possibile accedere al cantiere ed analizzare 3 delle 4 sezioni stratigrafiche esposte (Sezione E, N, NW) con altezza compresa tra ca. 3 e 8 m.

Figura II.9 – (Pagina seguente) Carta geomorfologica. Stralcio del tratto prossimale e mediano del bacino idrografico del F. Pecora. **Legenda:** **1)** Canale artificiale o tratto di corso d'acqua artificializzato; **2)** Asse di alveo fluviale abbandonato o paleoalveo; **3)** Orlo di scarpata di erosione fluviale; **4)** Forra; **5)** Barrages CT; **6)** Orlo di scarpata di drenaggio artificiale; **7)** Argine artificiale; **8)** UPC-Ve; **9)** UPC-Vc; **10)** UPC-Va; **11)** UPV-Ca; **12)** UPV-Ct; **13)** UPV-Pa; **14)** UPV-Te; **15)** UPV-Co; **16)** UPCo-Pc; **17)** Conoide alluvionale; **18)** Localizzazione Logs stratigrafici; **19)** Sito archeologico di Vetricella; **20)** Risorgiva carsica inattiva; **21)** Risorgiva carsica attiva: (1) Le Venelle, (2) Aronna; **22)** Località menzionate nel testo: (1) Massa Marittima, (2) Pian del Vescovo, (3) Lago dell'Accesa, (4) Pian delle Gore, (5) Padule di Moreta, (6) Loc. La Cascata, (7) Piano del Padule, (8) Valpiana, (9) Loc. Casa al Conte (10) Cura Nuova, (11) Case Vado all'Arancio, (12) Cassa d'espansione



Bacino idrografico del F. Pecora - Tratto prossimale e mediano

Legenda

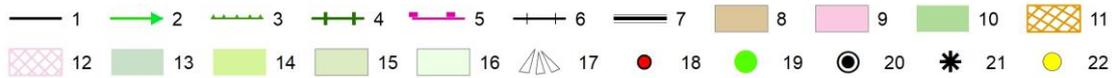




Figura II.10 – *Sopra*: localizzazione della cassa d'espansione. *Sotto*: Le sezioni stratigrafiche esposte (Sezione E in grigio, Sezione N in rosso, Sezione NW in verde)

II.3.2.1. Stratigrafia

Vengono di seguito descritte le unità stratigrafiche osservabili nelle tre sezioni esposte (Fig. II.11) dai lavori di realizzazione della Cassa d'Espansione.

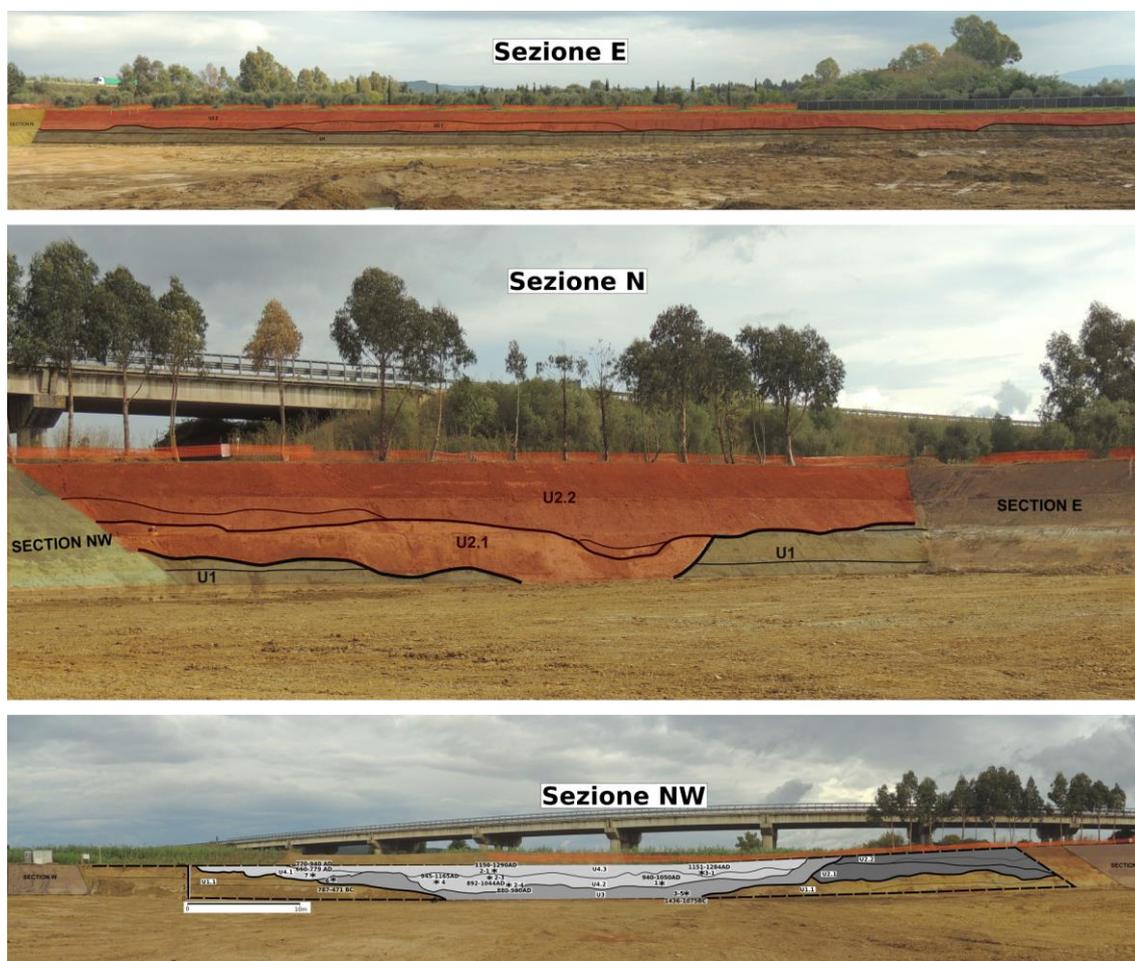


Figura II.11 – Cassa d'espansione, sezioni stratigrafiche analizzate. **Sopra:** Sezione E. **Al centro:** Sezione N. **Sotto:** Sezione NW (scala 10 m)

US1

Osservabile alla base della successione sedimentaria in tutte le sezioni (Fig. II.11). L'unità è costituita da argille grigie da massive a laminate, con stratificazione piano-parallela, sub-orizzontale (Fm, Fl) con rare lenti ed intercalazioni siltose-sabbiose (Sm, Sh) (Figg. II.12a-b). Questi livelli sono altamente bioturbati, con tracce profonde pochi centimetri e perpendicolari alla stratificazione. Sono presenti rari frammenti vegetali (legni e foglie) e frammenti di carbone di dimensioni medio-piccole (da pochi millimetri a pochi centimetri). Il tetto dell'unità è troncato da una chiara discordanza erosiva, ondulata, che corrisponde ad un sistema di

canali profondo più di 8 m di geometria planare e parallelo al corso attuale del fiume Pecora. Tale discordanza è sepolta da US2.

US2

Osservabile nelle Sezioni E e N (Fig. II.11). L'unità è separata da una discordanza minore e caratterizzata da differenti associazioni di facies che determinano la presenza di due subunità:

- **US2.1:** la subunità è formata da sedimento siltoso-sabbioso massivo (Sm) o stratificato con stratificazione incrociata tabulare e incrociata a truogolo (Sp, St, Sh). L'apporto grossolano è relativamente scarso con ghiaia fine poligenica che rappresenta le litologie affioranti nel bacino delle Unità Liguri e Toscane. Al tetto della subunità è presente una discordanza minore sepolta dai sedimenti della subunità US2.2.
- **US2.2:** la subunità è formata da sedimento ghiaioso poligenico (con genesi identica alle ghiaie della subunità 2.1) scarsamente selezionato da fine a grossolano, da subarrotondato ad arrotondato, massivo (Gm) o con stratificazione incrociata a truogolo (Gt, Gh). La matrice sabbiosa è molto abbondante (Fig. II.12c). Gli elementi architettonici, costituiti da forme di fondo ghiaiose di tipo trattivo, indicano sedimentazione massiva all'interno del canale. Questa subunità costituisce il tetto del terrazzo alluvionale fino ad un'altezza massima di 5 m dall'alveo attuale, il cui tetto è fortemente alterato dall'orizzonte argillico rubefatto e lisciviato (Alfisol, Fig. II.12a-c).

US3

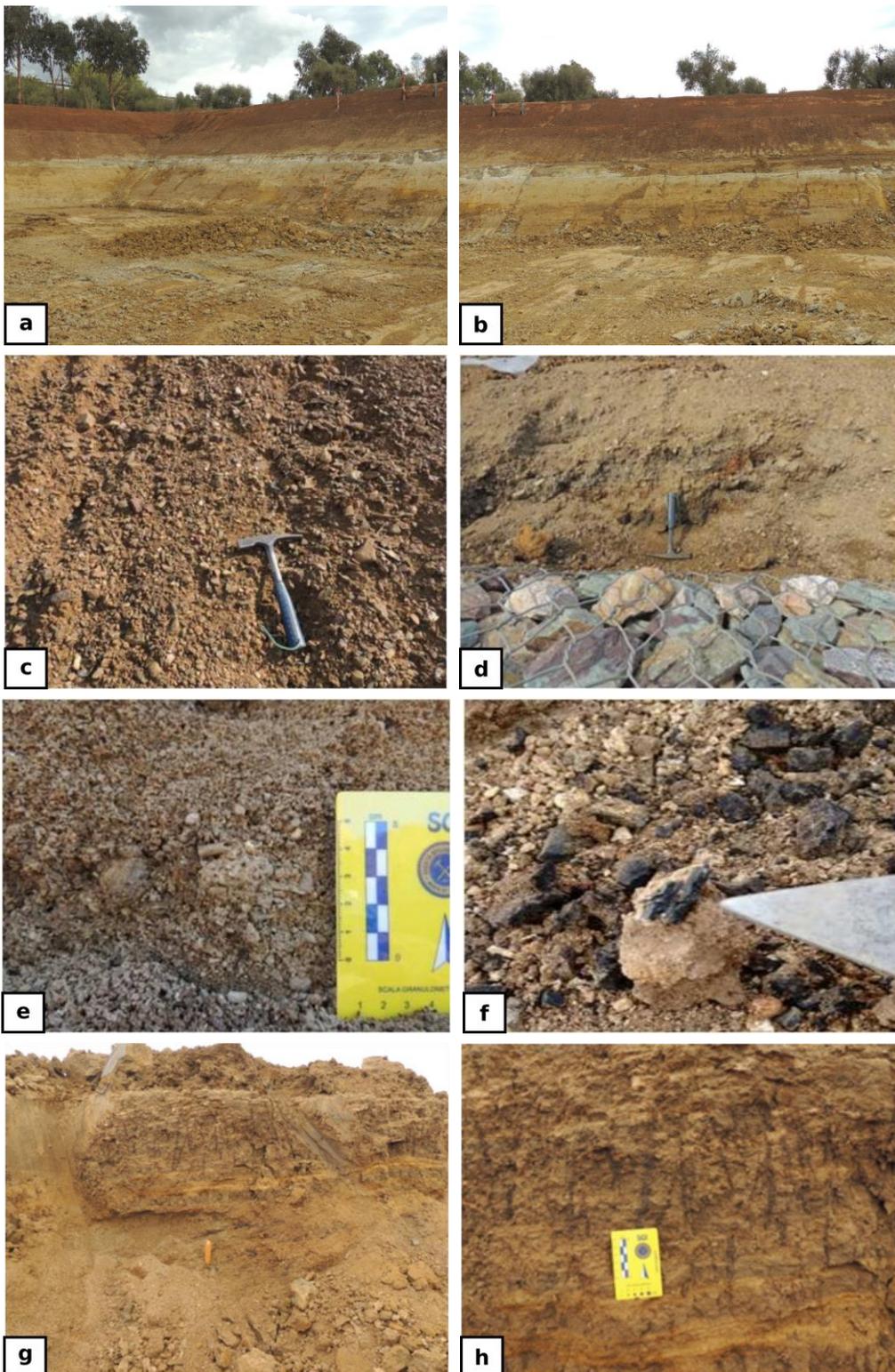
Osservabile nella sezione NW (Fig. II.11). Quest'unità rappresenta il riempimento del canale che taglia sia US2 che US1. US3 è a sua volta tagliata da un successivo canale, poco profondo e debolmente ondulato, riempito dal sedimento di US4 (vedi sotto). US3 è formata da sedimento ghiaioso scarsamente selezionato (Fig. II.12d), da fine a grossolano e da arrotondato a subarrotondato, organizzato in stratificazioni tabulari ed incrociate (Gp) con matrice sabbiosa in quantità variabile. Subordinate ad esso sono presenti locali lenti sabbiose con stratificazione tabulare od incrociata a basso angolo (Sp) e lenti ed intercalazioni siltose-argillose massive (Fm) o con laminazioni fini (FI). Gli elementi costitutivi della frazione ghiaiosa includono, oltre alle già menzionate Unità Liguri e Toscane, occasionali frammenti di tufi calcarei. Sono presenti, inoltre, sporadici frammenti fini di carboni.

US4

Osservabile nella sezione NW (Fig. II.11). US4 è formata prevalentemente da ghiaie sciolte non selezionate, da fini a medie, con morfologia da arrotondata a subarrotondata, da massive a stratificazione incrociata a truogolo (Gt, Gh), localmente a supporto di matrice (Gsm). Localmente sono presenti sabbie massive o con stratificazione incrociata a truogolo (St, Sh) e lenti ed intercalazioni silteuse-argillose da massive a microlaminate (Fm, Fl). I costituenti della frazione ghiaiosa sono prevalentemente formati da frammenti di CT, che riempiono completamente i canali (Fig. II.12e). Le forme di fondo sono altresì caratterizzate da abbondanti frammenti di carbone eterometrici, da fini a molto grossolani, presenti sia sparsi all'interno del sedimento sia in concentrazioni lungo la base dei truogoli (Fig. II.12f). La stessa tipologia di sedimento è stata osservata ad alcune decine di metri a valle in riempimenti di paleocanali ma alternate a sedimenti siltosi-argillosi laminati, con deboli evidenze di pedogenesi ed impronte ben riconoscibili di apparati radicali (Fig. II.12g-h). Nonostante le caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche di US4 siano generalmente omogenee, la presenza di discordanze stratigrafiche minori ha reso necessario distinguere tre subunità:

- **US4.1** – si osserva nella porzione occidentale della sezione NW e riempie la discordanza erosiva poco profonda che taglia US1 e US3.
- **US4.2** – si osserva nella porzione orientale della sezione NW a riempimento di un paleocanale profondo che taglia US3. Questa subunità presenta inoltre uno spessore maggiore rispetto alle altre subunità, suggerendo che si tratti della fase deposizionale più importante.
- **US4.3** – rappresenta la fase finale della sedimentazione, con sedimento che riempie una discordanza erosiva poco profonda ed ondulata che taglia US4.1 e US4.2.

Figura II.12 – (pagina seguente) Stratigrafia della cassa d'espansione. **a-b)** Sezioni E-N. US1, alla base, e US2, al tetto. Si noti la superficie di US2 alterata dall'orizzonte argillico, di colore rosso; **c)** US2, ghiaie scarsamente selezionate massive. **d)** US3, sedimento ghiaioso eterometrico con stratificazione incrociata a truogolo, con scarsi elementi di CT. **e)** US4, ghiaie fini con sabbia e scarsa matrice silteosa formate quasi esclusivamente da frammenti di CT. **f)** US4, concentrazione di frammenti di carboni centimetrici; **g)** Sedimenti di US4 alla base, alternati da sedimenti siltosi argillosi laminati e debolmente pedogenizzati; **h)** particolare di g). Si notino le laminazioni argillose alla base e le tracce ben evidenti degli apparati radicali al tetto.



II.3.2.2. Cronologia

L'eccezionale quantità di carboni presenti nei riempimenti del paleocanale (US3 e US4) ha permesso di ottenere una sequenza cronologica molto consistente. US3 e US4 rappresentano, inoltre, l'ultimo evento sedimentario registrato nella successione stratigrafica indagata nelle sezioni della cassa d'espansione (Pieruccini *et al.*, 2018). I risultati delle datazioni radiocarboniche, riportati in Tab. II.1, evidenziano la congruità cronologica, confermando dunque l'affidabilità della sequenza stratigrafica individuata nel paleoalveo. US3 rappresenta la fase deposizionale più antica ed è stata datata per un periodo compreso tra 1436-1075 cal BC e 787-471 cal BC. Il riempimento più antico del paleoalveo che incide US3 (US4) ha restituito, per i sedimenti presenti alla base (US4.1), un'età compresa tra 660-779 cal AD e 771-970 cal AD. La seconda fase di riempimento (US4.2) inizia tra 769-1013 cal AD e termina a 945-1165 cal AD. Infine, l'ultima fase di riempimento del paleocanale (US4.3) è datata a 1151-1285 cal AD.

US	ID	Taxa	Cod. Lab	Età (BP)	Età cal. (BC/AD)
US4.3	2.1	<i>Ulmus</i>	Fi3451	808±50	1151-1285 cal AD
	3.1	<i>Alnus</i>	Fi3274	809±49	1151-1284 cal AD
	2.3	<i>Ulmus</i>	Fi3496	1042±41	892-1044 cal AD
US4.2	4	<i>Salix</i>	Fi3005	995±55	945-1165 cal AD
	1	<i>Ulmus</i>	Fi3004	1025±40	943-1050 cal AD
	2.4	<i>Ulmus</i>	Fi3452	1142±55	769-1013 cal AD
US4.1	7	<i>Alnus</i>	Fi3171	1165±35	771-970 cal AD
	7	<i>Alnus</i>	Fi3554	1275±40	660-779 cal AD
US3	6	<i>Q. pubescens</i>	Fi3497	2487±48	787-471 cal BC
	3.5	<i>Q. pubescens</i>	Fi3275	3035±68	1436-1075 cal BC

Tabella II.1 – Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) della cassa d'espansione.

II.3.2.3. Analisi antracologica

L'analisi antracologica della stratigrafia dei riempimenti del paleocanale riconosciuto nella cassa d'espansione è stata condotta su 597 frammenti di carbone eterometrici estratti da un totale di 17 l di sedimento raccolto. I risultati preliminari sono riportati in Buonincontri *et al.* (2018) e Pieruccini *et al.* (2018) (Fig. II.13), mentre il dataset completo è tutt'ora in corso di pubblicazione (Buonincontri *et al.*, in pubblicazione). L'identificazione tassonomica ha permesso il riconoscimento di 23 taxa differenti. I più rappresentati afferiscono ad una vegetazione mediterranea decidua. Prevalgono *Fraxinus* (17.4%), con *F. cf. ornus* (2.4%) e *F. cf.*

oxycarpa (7.5%), *Quercus cf. cerris* (16.5%), e *Ulmus* (13.3%). Subordinatamente sono presenti *Populus/Salix* (4.7%), con *Salix* (2.5%) e *Populus* (1.7%), *Alnus* (5.3%), *Vitis vinifera* (2.6%), e *Euonymus* (1.5%). Scarsamente rappresentati (inferiore all'1%) sono invece *Crataegus*, *Q. cf. pubescens*, e *Sorbus*, con *S. cf. aucuparia*.

La vegetazione mediterranea sempreverde è proporzionalmente inferiore e rappresentata da *Erica* (3.6%), *Arbutus unedo* (1.9%), *Q. cf. ilex* (0.9%) e *Cistus* (0.6%).

La distribuzione dei *taxa* all'interno delle facies di riempimento del paleocanale cambia considerevolmente a seconda della sequenza ed alla profondità. In US3 la sequenza antracologica è dominata da *Fraxinus*, attribuibile a *F. cf. oxycarpa*, *Euonymus*, *Ulmus*, *Q. cf. cerris*, *Arbutus unedo* e *Cistus*. In US4.1 prevale *Alnus*, seguito da *F. cf. oxycarpa*; in US4.2 *Populus/Salix* (*Salix*) e *Ulmus* sono i *taxa* maggiormente rappresentati, con *Fraxinus* (*F. cf. oxycarpa*) ed *Erica* subordinati. Al tetto della sequenza, US4.3, predominano *Ulmus*, *Alnus*, *Populus/Salix*, *Fraxinus* (*F. cf. oxycarpa*) e *Q. cf. cerris*, mentre sono scarsamente rappresentati *F. cf. oxycarpa* e *Erica*, in associazione con *Q. cf. cerris*.

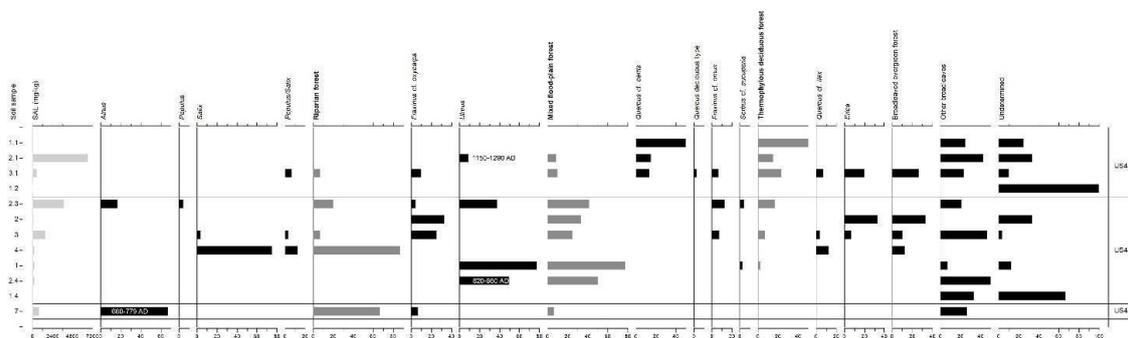


Figura II.13 – Cassa d’espansione. Analisi antracologica, sezione NW. A sinistra: campioni di carboni elencati per profondità. Al centro: barre grigio chiaro: valori SAL (Specific Anthracomass per Layer); barre nere: percentuale dei taxa più importanti con riportate le datazioni radiocarboniche AMS; barre grigio scuro: relativi gruppi ecologici. A destra: unità stratigrafiche relative alla analisi di facies (da Pieruccini et al., 2018)

II.3.3. RILEVAMENTO STRATIGRAFICO

I risultati crono-stratigrafici ottenuti dalle osservazioni effettuate nella cassa d’espansione, nonché la presenza quasi esclusiva di sedimenti provenienti dall’erosione delle formazioni di tufi calcarei presenti a monte, ha reso necessario effettuare una campagna di rilevamento, risalendo l’alveo del fiume Pecora allo scopo di individuare e caratterizzare le sezioni stratigrafiche affioranti sulle scarpate dell’alveo stesso. Le osservazioni hanno interessato il tratto mediano del fiume Pecora compreso tra le aree a monte della Cascata e Casa al Campo

(Fig. II.9). Le opere di bonifica e la completa artificializzazione del drenaggio nell'area di Pian del Vescovo ha impedito l'osservazione di affioramenti significativi. Lo stesso discorso è valido anche per la porzione a valle della cassa d'espansione.

II.3.3.1. Schema stratigrafico

In generale, la sequenza stratigrafica descritta è riassumibile nello schema riportato in Fig. II.14. Per facilitare la visione dei logs stratigrafici (Figg. Da II.16 a II.30) e del modello morfoevolutivo (Fig. II.31), le sequenze sedimentarie sono state codificate con colori diversi. La sequenza sedimentaria più antica (ALLPI, in verde) seppellisce in discordanza erosiva il substrato (MAC, in rosso) delle Unità Liguri e Subliguri (LSAC, Fig. II.15a) e della formazione miocenica del "*Conglomerato di Montebamboli*" (BAM, Fig. II.15b), che affiorano localmente nei tratti dove l'alveo del fiume Pecora incide profondamente la superficie fino a ca 15-20 m (es. Piano del Padule). I sedimenti che compongono la sequenza sono formati da sedimenti fini siltosi argillosi grigio-nerastro, arricchiti di materia organica e resti vegetali occasionalmente parzialmente indecomposti (Fig. II.15c), e sequenze di ghiaie medio-grossolane da subangolose a subarrotondate, addensate, in riempimento di discordanze erosive (Fig. II.15d). Questa sequenza ha la sua espressione maggiore nell'area compresa all'interno di Piano del Padule, con spessori di ca. 8-6 m. Verso valle, la sequenza diminuisce gradualmente di potenza fino ad interrompersi definitivamente nel punto d'ingresso del corso d'acqua nella pianura alluvionale. La successiva sequenza deposizionale, in discordanza erosiva con quella precedente, è caratterizzata dall'ambiente dei tufi calcarei (CT, in rosa). Anche in questo caso, la loro espressione maggiore è localizzata nel tratto mediano, in cui si presentano in tipiche facies di cascata/*barrage* con accrescimenti progressivi e verticali fino a ca. 40 m (Fig. II.15e). Nelle aree comprese tra i *barrages*, i tufi calcarei assumono invece le tipiche facies di palude/stagno, incrostando sedimenti siltosi-argillosi e vegetazione palustre (Fig. II.15f). Ancora una volta, la sequenza diminuisce di spessore verso valle fino ad interrompersi nei pressi di Loc. Casa del Conte. L'ultima sequenza registrata (ALLOI, in giallo) è localizzata solamente nel tratto distale in appoggio e discordanza erosiva con i tufi calcarei. La sequenza è formata generalmente da materiale grossolano poco selezionato e poco addensato, da sabbioso a ghiaioso con clasti da angolosi a subarrotondati, al cui interno sono presenti abbondanti elementi di tufi calcarei erosi e ridistribuiti all'interno della sequenza alluvionale (Fig. II.15g), fino anche a comprendere massi di dimensioni di ca. 1-1,5 m (Fig. II.15h). Questi depositi costituiscono il corpo della pianura alluvionale attuale.

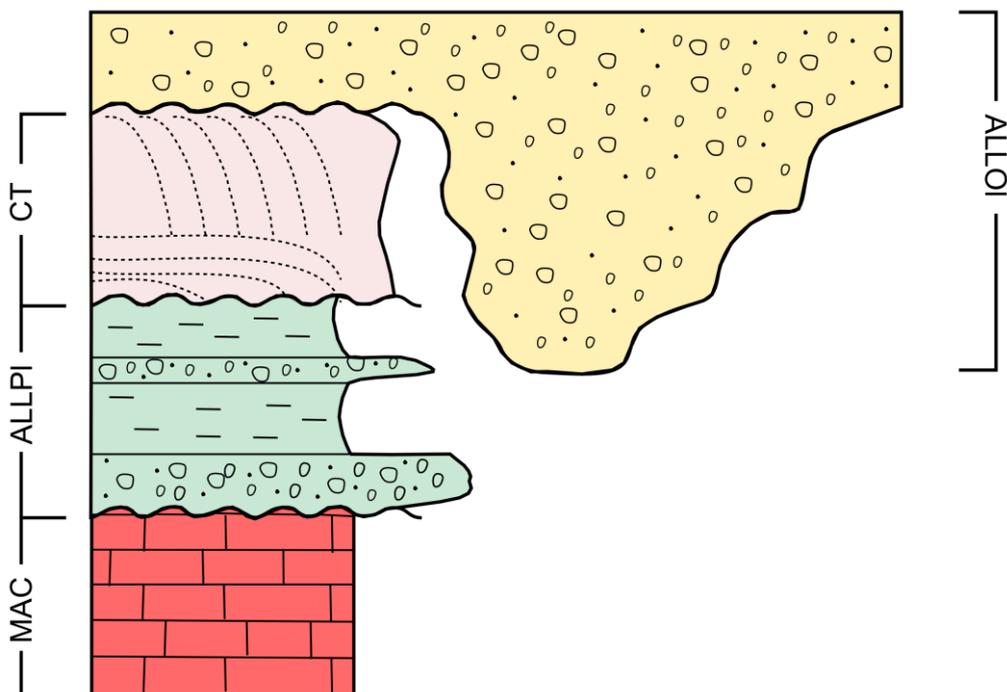


Figura II.14 – Schema della sequenza stratigrafica generale del tratto mediano del F. Pecora. Schema non in scala. Legenda: **in rosso** – MAC, substrato ; **in verde** – ALLPI, facies alluvionali più antiche (Pleistocene sup.); **in rosa** – CT, formazioni di tufi calcarei in facies di cascata e di palude (Olocene med.-sup.); **in giallo** – ALLOI, facies alluvionali recenti (Olocene sup.)

II.3.3.2. Cronologia

Durante le campagne di rilevamento stratigrafico sono state ottenute due datazioni radiocarboniche (Tab. II.2) provenienti da Log1 (a monte della cascata) e Log3 immediatamente a valle della cascata) e relative alle facies di tufi calcarei. Ai fini del progetto nEU-Med non sono state effettuate ulteriori tipologie di datazioni (es. OSL). Nel complesso la cronologia ottenuta ad ora, benché siano necessarie ulteriori datazioni per un affinamento, suggerisce che la fase più antica di deposizione dei tufi calcarei è iniziata nell'Olocene medio-superiore (2201-2031 cal BC, Log1). La disattivazione di questi ambienti, invece, è registrata all'IX-X sec. AD (862-994 cal AD, Log.3); questa datazione è coerente con le datazioni ottenute nella cassa d'espansione (v. Tab. II.1 e §II.3.2.2.).

Log	Materiale	Cod. Lab	Età (BP)	Età cal. (BC/AD)
1	Acidi umici	Beta-485151	3720±30 BP	2201-2031 cal BC
3	Carbone	Beta-485157	1120±30 BP	862-994 cal AD

Tabella II.2 – Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) dei logs stratigrafici

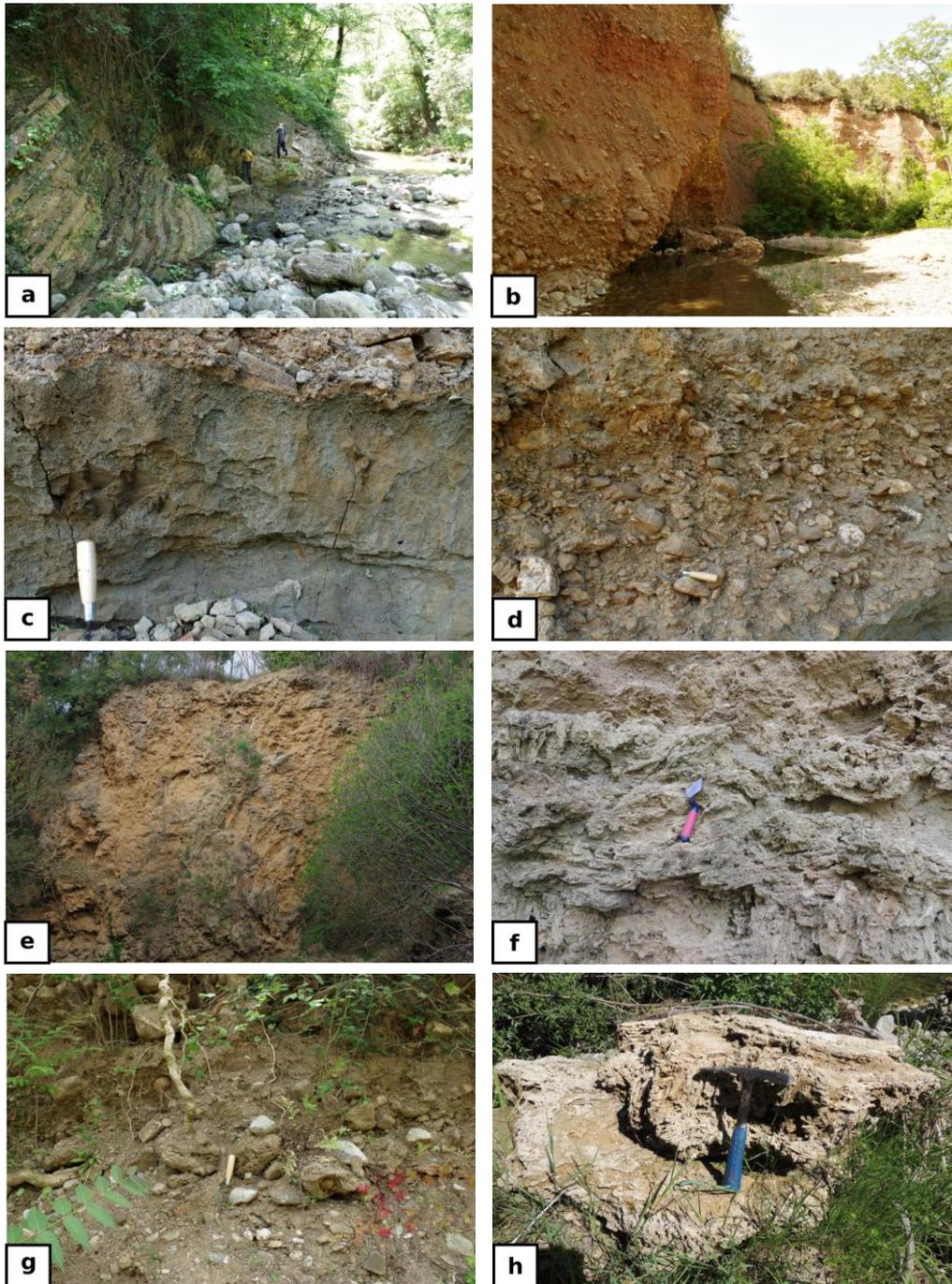


Figura II.15 – Fotografie della sequenza stratigrafica generale (cfr. Fig. II.14). **a)** Substrato (rosso) delle Unità Liguri e Subliguri (LSCAC) inciso dall'alveo del F. Pecora; **b)** substrato (rosso) della formazione miocenica del Conglomerati di Montebamboli" inciso dall'alveo del F. Pecora; **c)** deposito alluvionale più antico (verde) formato da silts argillosi massivi di colore grigio scuro-nerastro; **d)** deposito alluvionale più antico (verde) formato da ghiaie eterometriche da medie a grossolane immerse in abbondante matrice siltosa argillosa; **e)** formazione di CT (in rosa) con facies tipica di cascata; **f)** formazione di CT (in rosa) in facies tipica di palude; **g)** deposito alluvionale recente (in giallo) con sedimento scarsamente selezionato da sabbia a ghiaie. La cazzuola appoggia su un clasto di CT eroso; **h)** massa di CT all'interno dell'alveo del F. Pecora. La stratificazione dei CT è ben visibile, con alternanze di facies di palude e facies fitoclastiche

II.3.3.3. Descrizione dei logs stratigrafici

In totale sono stati realizzati 33 logs stratigrafici, di cui qui vengono presentati i più significativi, da monte verso valle. Le descrizioni dei logs stratigrafici vengono riportate di seguito in forma tabellare (Tabb. da II.3 a II.17).

Log1

(coordinate 10°50'2"E, 43°1'32,5"N, altitudine 149 m slm, spessore 3 m, Fig. II.16)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora, a monte della cascata (Loc "La Cascata") tra Padule di Moreta e Pian delle Gore. La sezione affiora lungo l'incisione dell'alveo artificializzato. È stata ottenuta una datazione 14C su carboni presenti nella facies Fm-FI di età 2201-2031 cal BC

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-1	Orizzonte agricolo e orizzonte C di alterazione di CT in facies di palude	CT	Ap - C
1-1,8	Argille poco siltose, grigie, debolmente laminate e molto bioturbate. Presenza rara di carboni. Ottenuta datazione 14C di età 2201-2031 cal BC	Fm (FI)	
1,8-2,5	Silts sabbiosi calcarei massivi con abbondanti molluschi di acqua dolce	CT (Sfm)	
2,5-3	CT in facies di cascata con accrescimenti progressivi e aggradazione orizzontale	CT	

Tabella II.3 – Log1. Descrizione stratigrafica

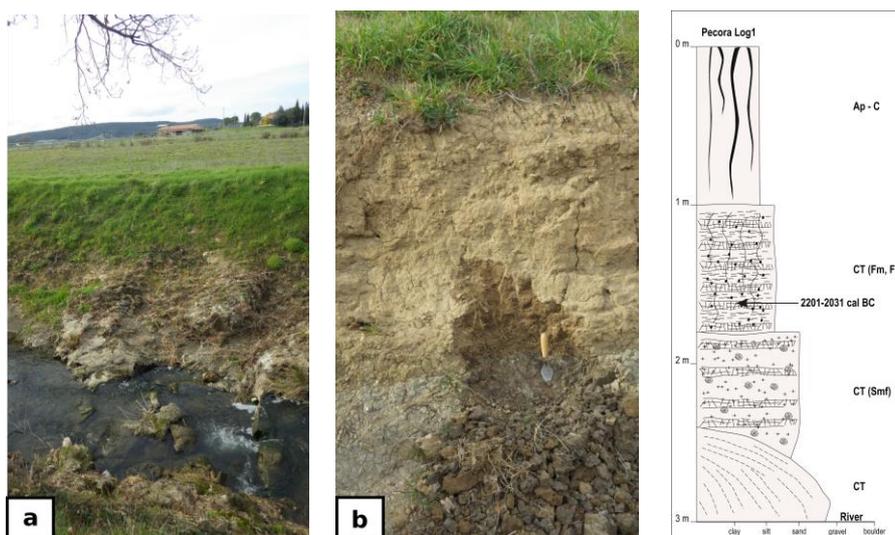


Figura II.16 – Log1. a) canalizzazione del fiume Pecora; si noti come il corso d'acqua incide le formazioni di CT. b) affioramento esposto. A destra: sezione stratigrafica.

Log2

(coordinate 10°49'27"E, 43°1'20,6"N, altitudine 125,6 m slm, spessore 6 m, Fig. II.17)

All'interno del taglio artificiale del fiume Pecora, si osservano le principali facies che costituiscono il corpo della cascata, con altezze che raggiungono anche i 20 m.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-2,5	CT in facies di cascata con clinostratificazioni derivanti da accrescimenti progressivi e aggradazione orizzontale con incrostazioni di vegetali e apparati vegetali ancora in posizione di crescita (facies fitoermale)	CT	
2,5-4	CT in facies di cascata con clinostratificazioni di minori dimensioni che passano lateralmente a facies sabbiose calcaree stratificate suborizzontali, localmente debolmente pedogenizzate, alternate a sottili lamine di CT fitoermali	CT	
4-6	CT fitoclastici subordinatamente fitoermali costituiti da alternanze di silts argillosi massivi e sabbie con laminazione piano-parallela. Abbondanti molluschi d'acqua dolce.	CT (Fm, Sh)	

Tabella II.4 – Log2. Descrizione stratigrafica

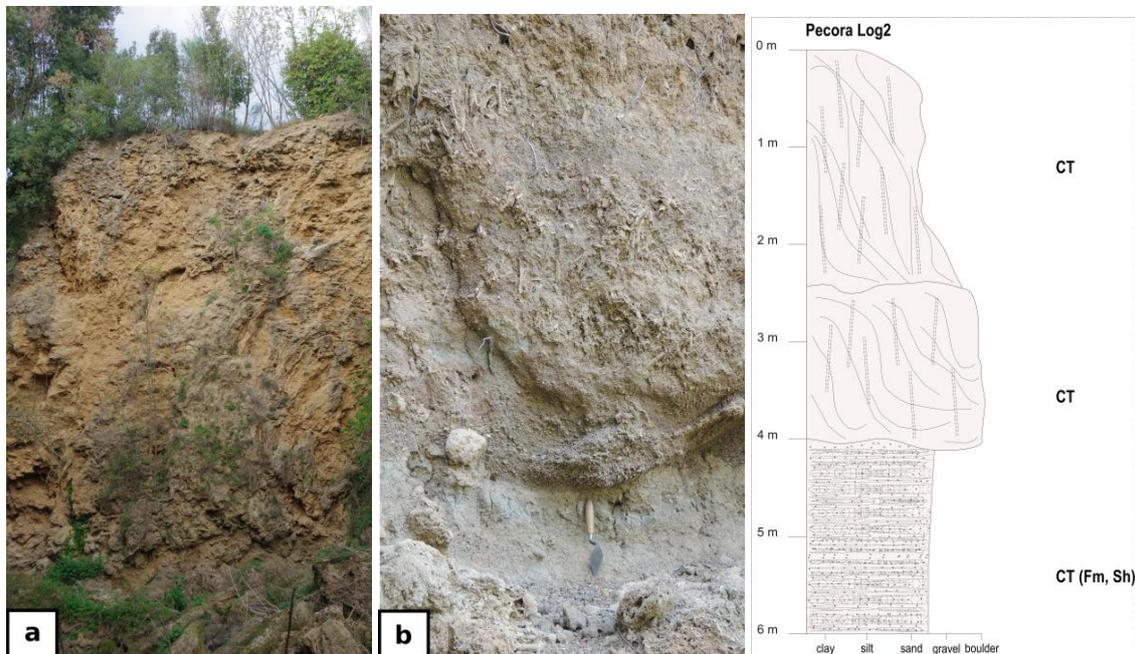


Figura II.17 – Log2. **a)** Formazioni di tufi calcarei in facies di cascata. **b)** CT fitoclastici su sabbie laminate e silt argillosi massivi. **A destra:** sezione stratigrafica

Log3

(coordinate 10°49'21,1"E, 43°1'37,5"N, altitudine 93 m slm, spessore 5 m, Fig. II.18)

Localizzata sulla sponda sinistra del Fosso Trecine, a ca. 640 m a monte della confluenza con il fiume Pecora. È stata ottenuta una datazione 14C al tetto della sezione di età 862-994 cal AD.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-0,5	Orizzonte agricolo e orizzonte C di alterazione di CT in facies di palude	CT	Ap – C
0,5-2,5	CT in facies di ruscellamento e piccoli stagni costituiti da alternanza di sabbie giallastre con laminazioni piano-parallele od inclinate a basso angolo, e silts argillosi di colore grigio massivi o debolmente laminati con abbondanti molluschi d'acqua dolce e carboni. Datazione età 14C 862-994 cal AD.	CT (Sh, Sl, Fm, Fl)	
2,5-3,5	CT alterati da suolo sepolto e troncato con struttura poliedrica fine ,screziature di ossidi di Fe-Mn, scheletro scarso ghiaioso, scarsi apparati radicali ed abbondanti carboni	CT	P
3,5-5	CT in facies di ruscellamento e piccoli stagni costituiti da alternanza di sabbie giallastre con laminazioni piano-parallele od inclinate a basso angolo, e silts argillosi di colore grigio massivi o debolmente laminati con abbondanti molluschi d'acqua dolce	CT (Sh, Sl, Fm, Fl)	

Tabella II.5 – Log3. Descrizione stratigrafica



Figura II.18 – Log3. a) Affioramento esposto. b) Alternanze di facies Fm grigie e facies Sl di colore giallastro. **A destra:** sezione stratigrafica

Log4

(coordinate 10°48'36,5"E, 43°0'49"N, altitudine 66 m slm, spessore 15 m, Fig. II.19)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora all'interno del Piano del Padule, a ca 1 km a valle della cascata (Log2), all'interno della forra incisa dall'alveo del fiume Pecora

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-4,5	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su alternanze di silts argillosi massivi	CT (Fm)	
4,5 -5	Suolo sepolto organico di colore nero con abbondanti resti vegetali. Limite superiore erosivo	CT	P
5-6	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su alternanze di silts argillosi massivi	CT (Fm)	
6-14,5	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi o con laminazione piano-parallela. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali. Discordanza erosiva al tetto	Fm, Fl	
14,5-15	Ghiaie eterometriche subangolose subarrotondate in abbondante matrice siltosa argillosa massive o con stratificazione incrociata a truogoli.	Gms	

Tabella II.6 – Log4. Descrizione stratigrafica

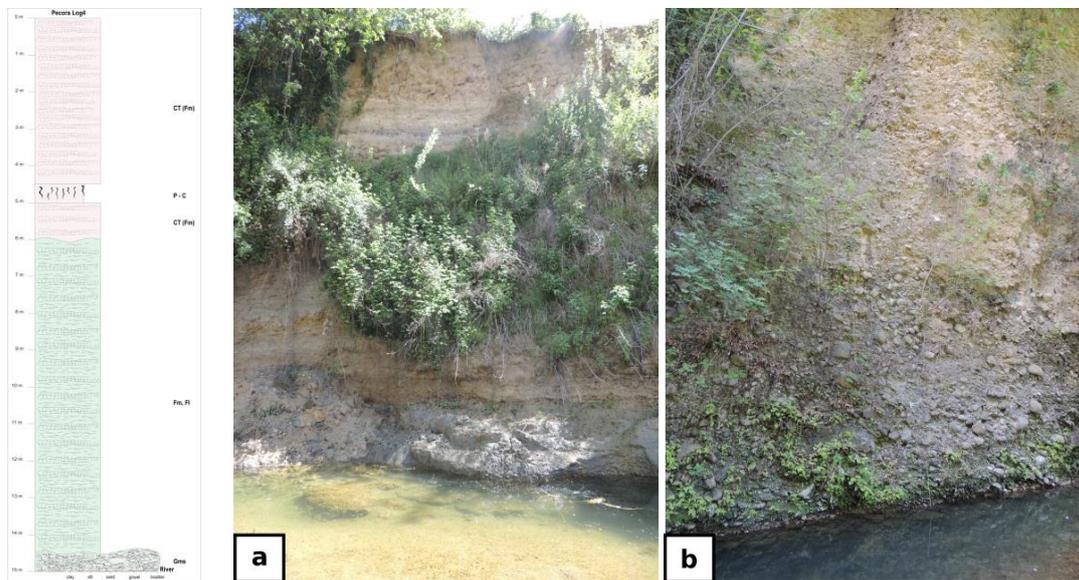


Figura II.19 – Log4. **a)** affioramento CT al tetto e Fm alla base. **b)** Ghiaie eterometriche in abbondante matrice siltosa argillosa (Gms). La base è tuttora incisa dal fiume. **A sinistra:** Log4 Sezione stratigrafica

Log5

(coordinate 10°48'17"E, 43°0'44"N, altitudine 63 m slm, spessore 11 m, Fig. II.20)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora, ca. 500 m a valle di Log4. Il fiume in questo tratto incide il substrato miocenico del "Conglomerato di Montebamboli".

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-0,2	Orizzonte agricolo e orizzonte C di alterazione di CT in facies di palude	CT	Ap - C
0,2 -3	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su alternanze di silts argillosi massivi	CT (Fm)	
3-4,2	CT in facies di palude su silt argillosi debolmente pedogenizzati di colore da grigio-scuro a nerastro massivi. Discordanza erosiva al tetto	CT (Fm)	P - C
4,2-4,6	CT in facies di ruscellamento e piccoli stagni sabbie siltose giallastre con stratificazione inclinate a basso angolo	CT (St)	
4,6-6,5	CT in facies di palude su silt argillosi debolmente pedogenizzati di colore da grigio-scuro a nerastro massivi o con laminazione piano-parallela. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali.	CT (Fm, Fl)	P - C
6,5-11	Formazione miocenica del "Conglomerato di Montebamboli"	BAM	

Tabella II.7 – Log5. Descrizione stratigrafica

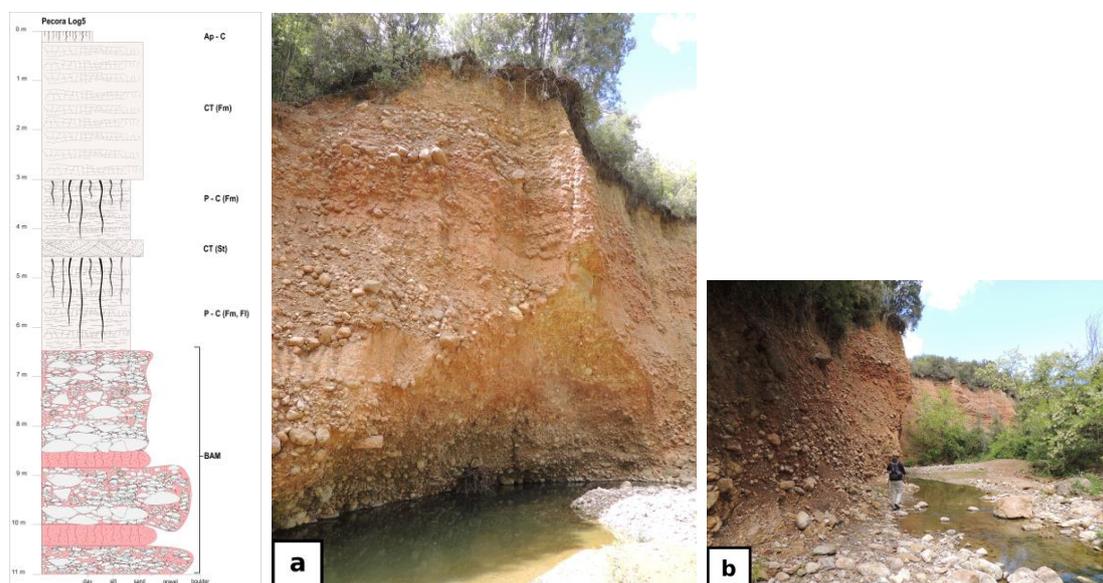


Figura II.20 – Log5. **a)** incisione dell'alveo del fiume Pecora all'interno della formazione miocenica del "Conglomerato di Montebamboli. **b)** come a) ma è possibile apprezzare la continuità laterale dell'incisione all'interno del substrato miocenico. **A sinistra:** Log5 sezione stratigrafica

Log6

(coordinate 10°47'56,4"E, 43°0'33,3"N, altitudine 50 m slm, spessore 10 m, Fig. II.21)

Localizzato sulla sponda destra del fiume Pecora alla confluenza del Fosso di Borgognano.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-2,5	CT in facies di cascata con clinostratificazioni derivanti da accrescimenti progressivi e aggradazione orizzontale con incrostazioni di apparati vegetali ancora in posizione di crescita (facies fitoermale)	CT	
2,5-3,5	Silt argillosi di colore grigio scuro – nerastro con laminazione piano-parallela a basso angolo	CT (FI)	
3,5-4	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su alternanze di silts argillosi massivi	CT (Fm)	
4-5	Silt argillosi di colore grigio scuro – nerastro con laminazione piano-parallela a basso angolo	CT (FI)	
5-6	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su alternanze di silts argillosi massivi	CT (Fm)	
6-7	Silt argillosi di colore grigio scuro – nerastro con laminazione piano-parallela a basso angolo	CT (FI)	
7-8,2	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi o con laminazione piano-parallela. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali. Discordanza erosiva al tetto	Fm, FI	
8,2-8,5	Lente ghiaiosa medio-fine massiva e stratificazione incrociata concava	Gm, Gt	
8,5-10	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi o con laminazione piano-parallela. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali. Discordanza erosiva al tetto	Fm, FI	

Tabella II.8 – Log6. Descrizione stratigrafica

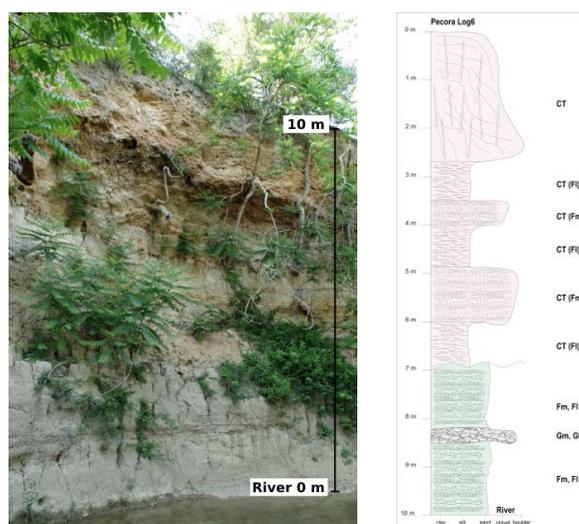


Figura II.21 – Log6. **A sinistra:** affioramento di CT al tetto, con alternanze di facies FI e Fm ben osservabili, e sedimenti siltosi-argillosi grigi alla base. **A destra:** Sezione stratigrafica

Log7

(coordinate 10°47'57,4"E, 43°0'6,9"N, altitudine 43 m slm, spessore 4 m, Fig. II.22)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora nella porzione distale di Pian del Padule, in corrispondenza di un *barrage* minore.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-2	CT in facies di cascata con clinostratificazioni derivanti da accrescimenti progressivi e aggradazione orizzontale con incrostazioni di apparati vegetali ancora in posizione di crescita (facies fitoermale). Passa lateralmente a CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali alternanze di silts argillosi massivi e sabbie con laminazione piano-parallela e abbondanti molluschi d'acqua dolce	CT (Fm, Sh)	
2-4	CT su sabbie calcaree massive con laminazione piano-parallela	CT (Sh, Sm)	

Tabella II.9 – Log7. Descrizione stratigrafica

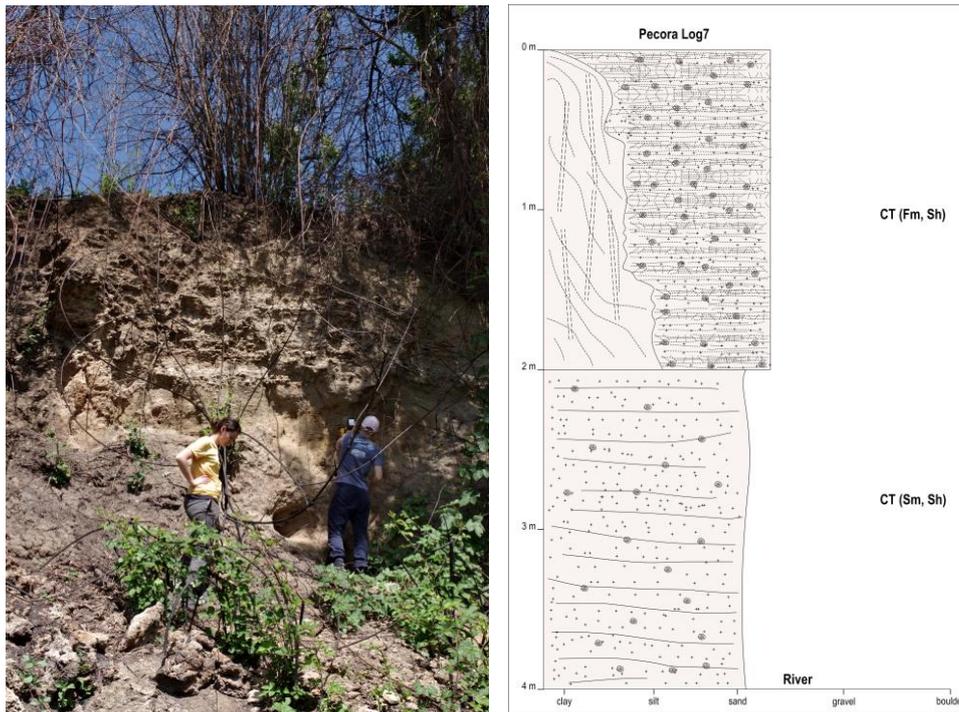


Figura II.22 – Log7. **A sinistra:** affioramento di CT. Si noti la differenza tra formazioni di CT in facies di cascata, sopra, e CT su facies sabbiosa, sotto. **A destra:** Sezione stratigrafica

Log8

(coordinate 10°47'53,8"E, 42°59'59,9"N, altitudine 42,8 m slm, spessore 7 m, Fig. II.23)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora a ca. 230 m a sud di Log7, a valle del *barrage* minore.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-0,5	CT in facies di cascata con clinostratificazioni derivanti da accrescimenti progressivi e aggradazione orizzontale con incrostazioni di apparati vegetali ancora in posizione di crescita (facies fitoermale)	CT	
0,5-2	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali alternanze di silts argillosi massivi e sabbie con laminazione piano-parallela e abbondanti molluschi d'acqua dolce	CT (Fm, Sh)	
2-2,2	Lente siltosa-argillosa massiva debolmente pedogenizzata	Fm	
2,2-2,3	Ghiaie medio fini con stratificazione piano-parallela a basso angolo ed incrociata concava	Gh, Gt	
2,3-2,5	Lente siltosa-argillosa massiva debolmente pedogenizzata	Fm	
2,5-3	Ghiaie medie con supporto di matrice fine siltosa argillosa	Gms	
3-3,2	Suolo sepolto organico di colore nero con abbondanti resti vegetali. Limite superiore erosivo		P
3,2-3,3	Ghiaie fini subangolose con supporto di matrice fine siltosa argillosa	Gms	
3,3-3,5	Suolo sepolto organico di colore nero con abbondanti resti vegetali. Limite superiore erosivo		P
3,5-4,5	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali. Discordanza erosiva al tetto	Fm	
4,5-5,3	Ghiaie medio-fini da angolose a subangolose con stratificazione sottile piano-parallela a basso angolo ed incrociata concava con evidenze di embricatura.	Gh, Gt	
5,3-5,5	Suolo sepolto organico di colore nero con abbondanti resti vegetali. Limite superiore erosivo		P
5,5-7	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali. Discordanza erosiva al tetto	Fm	

Tabella II.10 – Log8. Descrizione stratigrafica

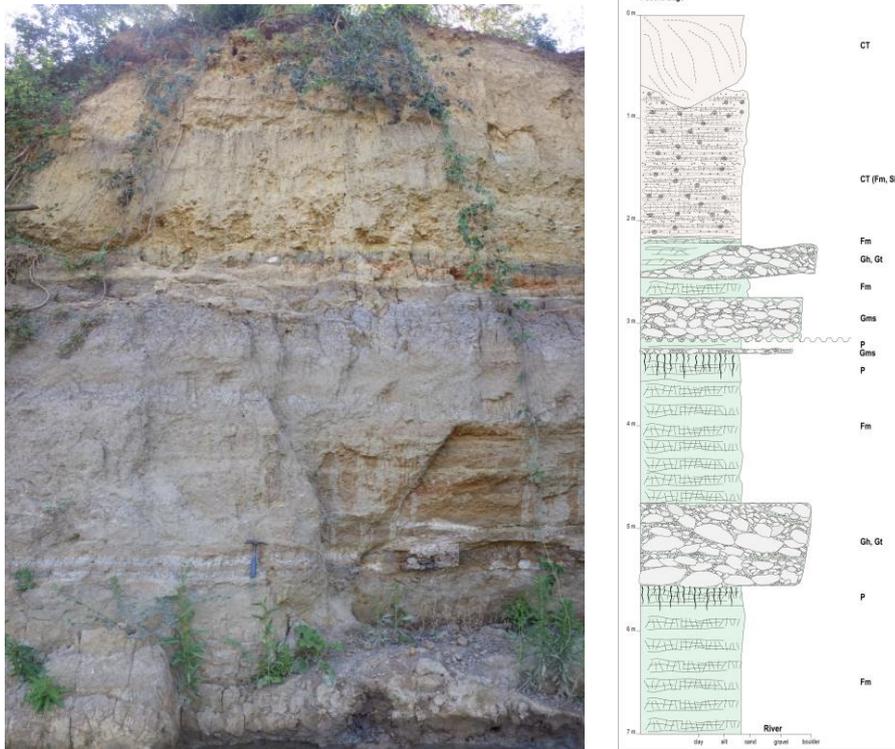


Figura II.23 – Log8. **A sinistra:** affioramento. Si noti la differenza di colore tra facies CT (giallo) e facies Fm (grigio scuro). **A destra:** sezione stratigrafica

Log9

(coordinate 10°47'53"E, 42°59'57,7"N, altitudine 42,8 m slm, spessore 4 m, Fig. II.24)

Localizzato sull'argine sinistro del fiume Pecora, ca. 71 m a valle di Log8. La sequenza stratigrafica è la continuazione di Log8

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-0,5	CT in facies di cascata con clinostatificazioni derivanti da accrescimenti progressivi e aggradazione orizzontale con incrostazioni di apparati vegetali ancora in posizione di crescita (facies fitoermale)	CT	
0,5-0,8	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali alternanze di silts argillosi massivi e sabbie con laminazione piano-parallela e abbondanti molluschi d'acqua dolce	CT (Fm, Sh)	
0,8-1	CT alterati da suolo sepolto moderatamente affermato con screziature di ossidi di Fe-Mn, scheletro scarso ghiaioso, scarsi apparati radicali	CT	P
1-1,8	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali alternanze di silts argillosi massivi e sabbie con laminazione piano-parallela e abbondanti molluschi d'acqua dolce	CT (Fm, Sh)	
1,8-2	CT alterati da suolo sepolto moderatamente affermato con screziature di ossidi di Fe-Mn, scheletro scarso ghiaioso, scarsi apparati radicali	CT	P
2-2,2	Silt argillosi massivi con intercalazioni sabbiose massive	Fm, Sm	
2,2-2,5	Ghiaie fini da subangolose a subarrotondate con rari clasti rimaneggiati di CT	Gf, Gm	
2,5-3	Silt argillosi massivi con intercalazioni sabbiose massive	Fm, Sm	
3-3,2	Suolo sepolto organico di colore nero con abbondanti resti vegetali. Limite superiore erosivo		P
3,2-3,5	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali.	Fm	
3,5-3,6	Suolo sepolto organico di colore nero con abbondanti resti vegetali. Limite superiore erosivo		P
3,6-4	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali.	Fm	

Tabella II.11 – Log9. Descrizione stratigrafica

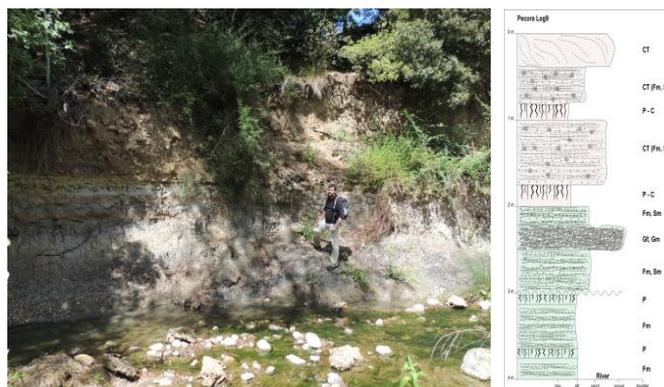


Figura II.24 – Log9. **A sinistra:** affioramento. Si noti la differenza di colore, come in Fig. II.23. **A destra:** Sezione stratigrafica

Log10

(coordinate 10°47'53''E, 42°59'50''N, altitudine 41 m slm, spessore 8 m, Fig. II.25)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora, ca. 200 m a valle di Log9.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-0,1	Orizzonte agricolo e orizzonte C di alterazione di CT in facies di palude	CT	Ap - C
0,2-1	CT in facies di cascata con clinostratificazioni derivanti da accrescimenti progressivi e aggradazione orizzontale con incrostazioni di apparati vegetali ancora in posizione di crescita (facies fitoermale)	CT	
1-1,1	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su silts argillosi massivi	CT (Fm)	
1,1-1,2	CT su suolo sepolto organico di colore nero con abbondanti resti vegetali. Limite superiore erosivo	CT	P - C
1,2-2	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su silts argillosi massivi	CT (Fm)	
2-2,3	CT su suolo sepolto organico di colore nero con abbondanti resti vegetali. Limite superiore erosivo	CT	P - C
2,3-2,5	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su silts argillosi massivi	CT (Fm, Sh)	
2,5-2,6	CT alterati da suolo sepolto moderatamente affermato con screziature di ossidi di Fe-Mn, scheletro scarso ghiaioso, scarsi apparati radicali	CT	P - C
2,6-3	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su silts argillosi massivi	CT (Fm)	
3-3,3	CT alterati da suolo sepolto moderatamente affermato con screziature di ossidi di Fe-Mn, scheletro scarso ghiaioso, scarsi apparati radicali	CT	P - C
3,3-4	CT in facies di palude, fitoclastici, subordinati stromatolitici e fitoermali su silts argillosi massivi con intercalazioni lentiformi di ghiaie fini	CT (Fm, Gf)	
4-4,5	Ghiaie medio-fini da subangolose a subarrotondate con stratificazione piano-parallela ed incrociata concava	Gh, Gt	
4,5-5	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi e laminazione piano-parallela. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali.	Fm, Fl	
5-5,9	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi. Comuni frammenti	Fm	

	parzialmente decomposti di frammenti vegetali.	
5,9-6	Ghiaie fini subangolose massive con supporto di matrice fine siltosa argillosa	Gms
6-6,8	Sabbie fini con stratificazione incrociata concava ed incrociata ad alto angolo (<i>ripple mark</i>) con intercalazioni di lenti di piccole dimensioni ghiaiose fini con stratificazione incrociata concava	St, Sr (Gt)
6,8-7	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi e laminazione piano-parallela. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali.	Fm, Fl
7	Lente ghiaiosa fine con stratificazione incrociata concava	Gt
7-8	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi e laminazione piano-parallela. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali.	Fm, Fl
8	Lente di ghiaie fini massive subangolose con supporto di matrice fine siltosa argillosa	Gms

Tabella II.12 – Log10. Descrizione stratigrafica

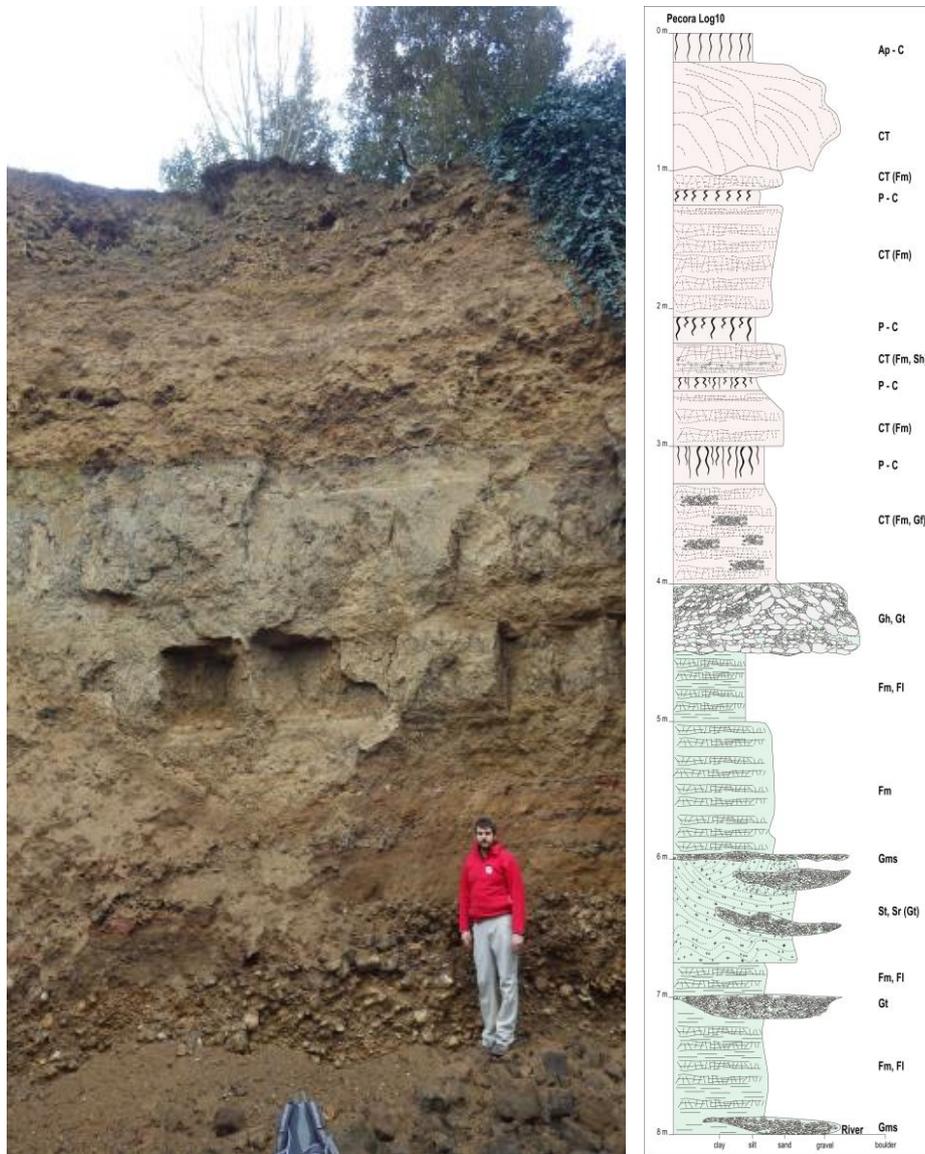


Figura II.25 – Log10. A sinistra: affioramento. A destra: sezione stratigrafica

Log11

(coordinate 10°47'55"E, 42°59'35"N, altitudine 33 m slm, spessore 8 m, Fig. II.26)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora, ca. 500 m a valle di Log9. In quest'area la sinuosità del corso fiume è meno marcata in seguito ad un restringimento dei versanti.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-0,5	Orizzonte agricolo		Ap
0,5-5,5	Silt argillosi di colore avana – giallastro massivi e laminazione piano-parallela, leggermente bioturbati con intercalazioni di sabbie massive. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali ed abbondanti molluschi di acqua dolce	Fm (Sm)	
5,5-7	ghiaie eterometriche da angolose a subangolose embricate con matrice siltosa-argillosa	Gm, Gms	
7-7,8	Silt argillosi di colore avana – giallastro massivi e laminazione piano-parallela, leggermente bioturbati con intercalazioni di sabbie massive. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali ed abbondanti molluschi di acqua dolce	Fm (Sm)	
7,8-8	Ghiaie eterometriche subangolose massive con supporto di matrice fine siltosa argillosa	Gms	

Tabella II.13 – Log11. Descrizione stratigrafica

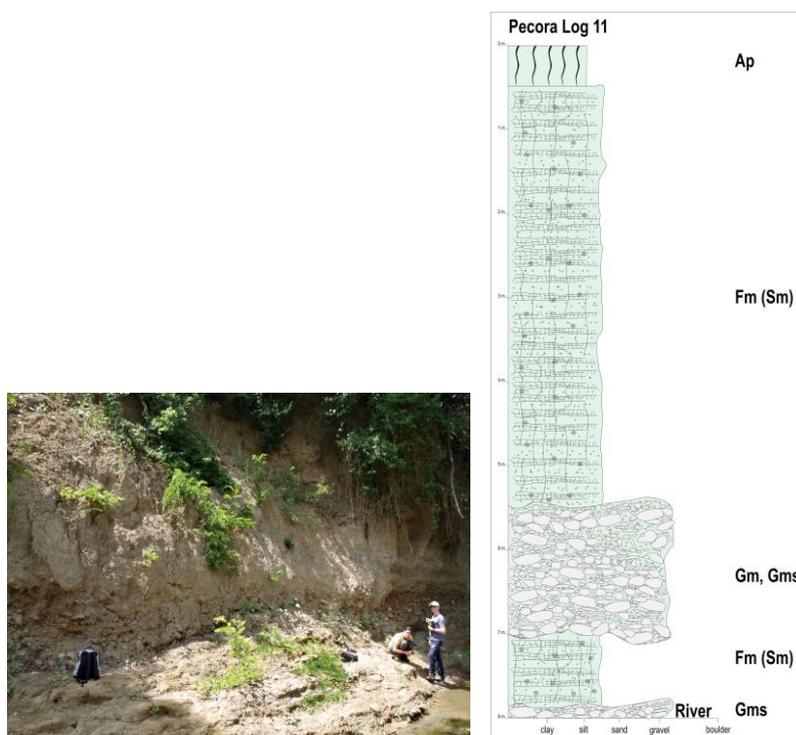


Figura II.26 – Log11. **A sinistra:** affioramento. **A destra:** sezione stratigrafica

Log12

(coordinate 10°48'6,5''E, 42°59'15,8''N, altitudine 32 m slm, spessore 4 m, Fig. II.27)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora, ca. 700 m a valle di Log11.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-0,2	Orizzonte agricolo		Ap
0,2-1	Ghiaie massive da grossolane a molto grossolane con blocchi da subangolosi a subarrotondati	Gm	
1-1,2	Sabbie con laminazione piano-parallela. Limite superiore discordante erosivo	Sh	
0,2-3	Ghiaie medio grossolane con subordinati blocchi da subangolosi a subarrotondati, massive e con stratificazione incrociata concava	Gm, Gt	
3-4	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali. Limite superiore discordante erosivo	Fm	

Tabella II.14 – Log12. Descrizione stratigrafica

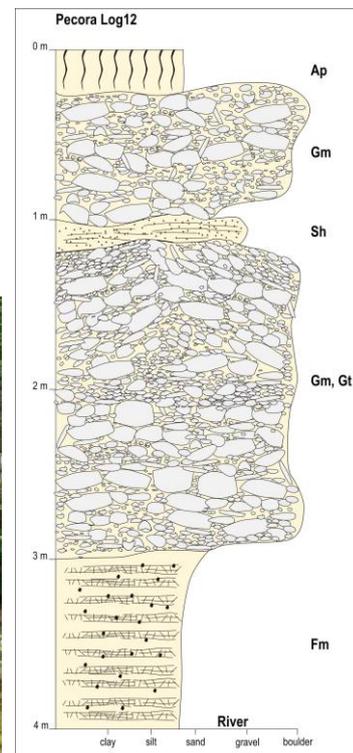


Figura II.27 – Log12. **A sinistra:** affioramento. **A destra:** sezione stratigrafica

Log13

(coordinate 10°48'5,5"E, 42°59'10,5"N, altitudine 31,8 m slm, spessore 3 m, Fig. II.28)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora, ca. 150 m a valle di Log12.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-0,5	Orizzonte agricolo		Ap
0,5-1,5	Silts argillosi massivi bioturbati debolmente pedogenizzati con intercalazioni di sabbie laminate piano-parallele	Fm (Sh)	
1,5-2	CT in facies di ruscellamento e piccoli stagni costituiti da alternanza di sabbie giallastre con laminazioni piano-parallele, e silts argillosi di colore grigio massivi o debolmente laminati con abbondanti molluschi d'acqua dolce e carboni	CT (Fm, Sh)	
2,7-3	Silt argillosi di colore da grigio-scuro a nerastro massivi. Comuni frammenti parzialmente decomposti di frammenti vegetali. Limite superiore discordante erosivo	Fm	

Tabella II.15 – Log13. Descrizione stratigrafica

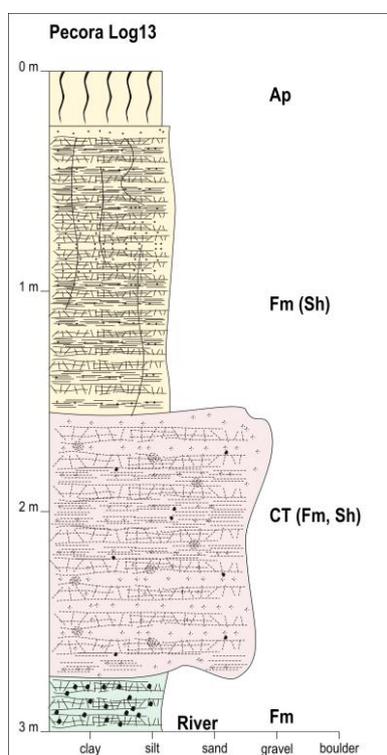


Figura II.28 – Log13. Sezione stratigrafica

Log14

(coordinate 10°48'20,5"E, 42°58'58,3"N, altitudine 27 m slm, spessore 2 m, Fig. II.29)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora, ca. 600 m a valle di Log13.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-1,5	Alternanza di sabbie giallastre da fini a grossolane con laminazione piano-parallela od incrociata concava ed incrociata ad alto angolo con rari frammenti di carbone	Sh, St, Sr	
1,5-2	Ghiaie da grossolane a molto grossolane e blocchi subangolosi con supporto di matrice siltosa sabbiosa. I clasti sono formati da tufi calcarei rimaneggiati	Gms	

Tabella II.16 – Log14. Descrizione stratigrafica

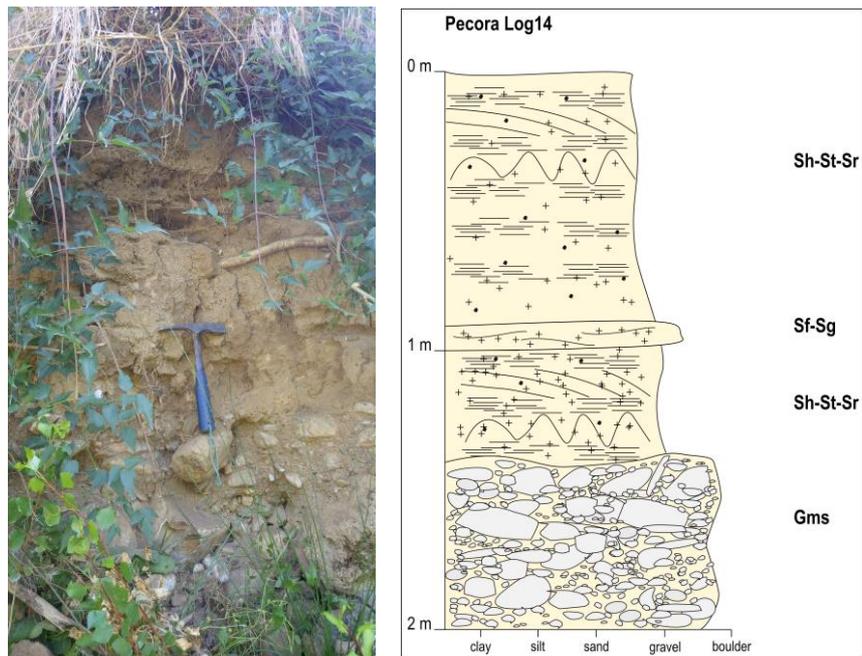


Figura II.29 – Log14. **A sinistra:** affioramento. **A destra:** Sezione stratigrafica

Log15

(coordinate 10°48'28,7"E, 42°58'40,7"N, altitudine 25 m slm, spessore 4 m, Fig. II.30)

Localizzato sulla sponda sinistra del fiume Pecora, ca. 600 m a valle di Log14 e ca. 1,5 km a monte dalla confluenza del torrente Gora delle Ferriere e 2 km dalla cassa d'espansione. Questo è l'ultimo log stratigrafico prima delle opere moderne di regimazione del fiume Pecora, a ca. 1 km a valle.

Profondità (m)	Descrizione	Facies	Orizzonte
0-0,5	Orizzonte agricolo		Ap
0,5-1,5	Silts argillosi e sabbie massive bioturbati con abbondanti molluschi d'acqua dolce e rari carboni	Fm Sm	
1,5-1,8	Sabbia grossolana massiva con rari carboni e frammenti rimaneggiati di argille grigie	Sm	
1,8-2,2	Suolo sepolto debolmente affermato su sabbie fini con laminazione piano-parallela con rari carboni	Sh	P
2,2-4	Silts argillosi massivi bioturbati con intercalazioni sabbiose fini massive o con laminazione piano-parallela	Fm (Sm, Sh)	

Tabella II.17 – Log15. Descrizione stratigrafica

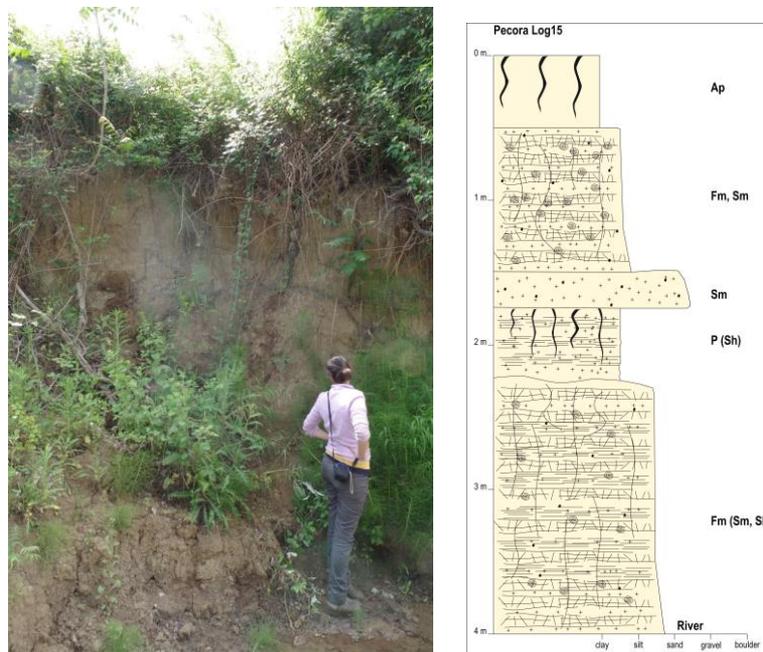


Figura II.30 – Log15. **A sinistra:** affioramento. **A destra:** sezione stratigrafica

II.3.4. DISCUSSIONE RISULTATI

Lo studio delle sezioni stratigrafiche della cassa d'espansione e le informazioni ottenute dai rilevamenti geomorfologici, associate alle datazioni radiocarboniche ottenute, ha permesso di effettuare una ricostruzione dettagliata della diacronia sedimentaria e l'evoluzione del paleoambiente fisico dei tratti prossimale e mediano del fiume Pecora durante la fase dell'Olocene tardo, ed in particolar modo durante il periodo altomedievale (Fig. II.31).

II.3.4.1. Pleistocene superiore – Olocene inferiore

È doveroso premettere in questo punto che le successioni sedimentarie più antiche osservate sia nella cassa d'espansione sia lungo il corso del fiume Pecora non sono state oggetto di datazioni radiometriche. Ciò è stato in conseguenza della mancanza di materiale, nel caso della cassa d'espansione, e tenendo in considerazione che l'attenzione della ricerca nell'analisi della successione stratigrafica lungo il corso del fiume Pecora si è focalizzata principalmente sull'evoluzione degli ambienti dei tufi calcarei, in discordanza stratigrafica con la successione alluvionale antica, nonché di interesse principale al progetto nEU-MED.

Nella cassa d'espansione, la fase più antica di deposizione (US1) è caratterizzata da associazioni di facies tipiche di ambienti palustri a bassa energia e relativamente stabile. Lo spessore della successione, nonché l'assenza di episodi pedogenetici significativi e di sedimenti più grossolani, suggerirebbero la presenza di un ambiente costiero correlabile con una fase di alto stazionamento marino (o *HST – Highstand System Tract*, cfr. Posamentier & Vail, 1988), inquadrabile probabilmente nell'Ultimo Interglaciale⁷ (Lobo *et al.*, 2002; Antonioli *et al.*, 2006; Coltorti & Pieruccini, 2006; Ferranti *et al.*, 2006; Amorosi *et al.*, 2014; Pascucci *et al.*, 2014; Sivan *et al.*, 2016).

Questa successione (US1) è tagliata al tetto da una importante discordanza erosiva colmata e seppellita dalle facies appartenenti a US2; l'associazione di facies per questa fase è caratteristica di ambienti fluviali di alta energia tipico di fiumi a canali intrecciati sia profondi che poco profondi (Miall, 1996, Brown, 1997). I sedimenti che costituiscono questa facies mostrano un incremento marcato del carico solido grossolano, da sabbioso a ghiaioso; tale incremento è indice di un importante cambiamento, in termini di disponibilità, di detrito all'interno del bacino di alimentazione. Il tetto di US2 è alterato da un suolo, troncato,

⁷ I sedimenti di US1 sono stati campionati per analisi micropaleontologiche. Tuttavia, i risultati non hanno fornito elementi utili per la definizione dell'ambiente deposizionale in quanto i campioni sono risultati sterili sia di ostracoda che di foraminiferi.

caratterizzato attualmente da profondi processi di lisciviazione, argillificazione e rubefazione (Fig. II.12a-b).

È da notare, inoltre, che i sedimenti di US2 vanno a formare il conoide alluvionale, sulla cui superficie topografica si installò il nucleo insediativo altomedievale di Vetricella (cfr. Sez. III, Mesoscala). Purtroppo, l'assenza di materiale databile non consente di inquadrare cronologicamente il momento di questo cambiamento nell'assetto del paleoambiente; tuttavia è plausibile ipotizzare che questa fase sia coeva con l'Ultimo Massimo Glaciale, caratterizzato da condizioni climatiche fredde e aride e fase di basso stazionamento marino (Lambeck & Purcell, 2005; Jouet *et al.*, 2006; Lambeck *et al.*, 2014) che incrementano la produzione di *debris* dai versanti denudati e, conseguentemente, determinano a valle i processi di progradazione ed aggradazione sedimentaria (Blum & Törnqvist, 2000), registrati nell'area mediterranea (Macklin *et al.*, 2002; Doğan, 2010; Maselli & Trincardi, 2013, Milli *et al.*, 2016)

La successione dei processi deposizionali discussa per la cassa d'espansione presenta una buona corrispondenza con i dati ottenuti dall'analisi dei logs stratigrafici lungo l'alveo del fiume Pecora, tenendo comunque in considerazione, come già menzionato all'inizio del paragrafo, che la ricostruzione dei processi deposizionali è carente di una calibrazione cronologica⁸. A contatto con il substrato (MAC, Fig. II.31) si impostano, a spessori variabili, alternanze di facies fluviali (ALLPI) ad alta energia, caratterizzate da canali riempiti da ghiaie da grossolane a molto grossolane con evidenze di embricatura (facies G), e facies alluvionali palustri e/o di stagno, prevalentemente siltose argillose (facies F) con abbondante materia organica, resti carboniosi e tracce di apparati radicali. In quest'ultimo ambiente si osservano localmente processi pedogenetici di debole intensità (P), indicativi di fasi di esposizione subaerea di breve durata (Brown, 1997). Questa associazione di facies trova confronti con la US2, osservata nella cassa d'espansione (cfr. §II.3.2.1.).

II.3.4.2. Olocene medio-superiore

Le fasi deposizionali oloceniche sono ben rappresentate sia nella cassa d'espansione che lungo il corso del fiume Pecora. Per quanto concerne la cassa d'espansione, l'evidenza più importante è quella relativa all'installazione di ambienti di corsi d'acqua sinuosi confinati con carico solido grossolano poco selezionato. Infatti, sia US1 che US2 sono tagliate da un singolo paleocanale, profondo circa 3 m, colmato dai sedimenti riferibili alla US3 (v. §II.3.2.1.). Questi

⁸ Ulteriori studi per caratterizzare cronologicamente questi ambienti sono tutt'ora in corso d'opera e i dati non sono ad ora disponibili per questo lavoro.

sedimenti sono composti da ghiaie e sabbie che formano delle tipiche facies sedimentarie associabili ad ambienti fluviali di transizione tipo *wandering* (*sensu* Rosgen, 1994) e meandriformi, con formazione di barre di meandro (*point-bars*) e stagni nei tagli di meandro (*chute cut-off*) (Brown, 1997). Le ghiaie che compongono l'unità stratigrafica sono di taglia più fine rispetto alle ghiaie di US2 e rispecchiano la litologia locale del bacino idrografico; in aggiunta, la presenza di carboni, benché non abbondante, permette di collocare questa fase sedimentaria tra 1436-1075 cal BC fino a minimo 787-471 cal BC, e possibilmente fino all'età romana, quindi all'interno dell'Olocene superiore. US3 registra inoltre, per la prima volta nella sequenza stratigrafica, elementi riferibili all'erosione del sistema dei tufi calcarei presenti nei tratti mediani e prossimali del fiume Pecora e del T. Ferriere. Ciò fa ipotizzare, dunque, che l'ambiente dei tufi calcarei fosse già in formazione durante questo periodo ma tuttavia non eroso o parzialmente eroso dalle dinamiche fluviali. Anche in questo caso, l'analisi stratigrafica della cassa d'espansione trova una buona correlazione con le osservazioni fatte lungo il corso del fiume Pecora (Fig. II.31). Infatti, a monte della cascata, la datazione ottenuta alla base della sequenza (2201-2031 cal BC, Log.1, Fig. II.16) sembrerebbe post-datata all'Olocene medio-superiore la fase di formazione di questi ambienti, associati in bibliografia al Pleistocene medio-superiore/Olocene antico (Brandi *et al.*, 1968; 1969; Bossio *et al.*, 1993; Benvenuti *et al.*, 2009). L'alternanza e l'individuazione di questi ambienti deposizionali sono probabilmente legati all'irregolarità del substrato che ha determinato fenomeni di erosione selettiva, al contatto tra le unità calcaree della Falda Toscana e le Unità Liguri e la formazione miocenica del "Conglomerato del Montebamboli", e formazione di gradini lungo il profilo longitudinale del corso d'acqua. La presenza di questi salti morfologici ha determinato processi di degassazione, dove la turbolenza e la vaporizzazione dell'acqua ha favorito il rilascio di CO₂ e precipitazione di CaCO₃ (Ford & Pedley, 1996; Chen *et al.*, 2004)⁹ con conseguente formazione di ambienti di cascata o *barrage* con facies fitoermali e fitoclastiche tipiche di questi ambienti (Capezzuoli & Gandin, 2004; Capezzuoli *et al.*, 2014). I processi continui di accrescimento laterali e verticali di questi ambienti determinano la formazione, a monte, di aree umide palustri/stagnanti con tipiche facies alluvionali siltose argillose con abbondante materia organica e tracce di apparati radicali. In questi ambienti la precipitazione di CaCO₃ è veicolata principalmente dall'azione batterica (Capezzuoli & Gandin, 2004; Kleinteich *et al.*, 2017). Verso valle, dopo Piano del Padule, la graduale diminuzione di CaCO₃ disciolto nell'acqua determina il

⁹ La precipitazione di CaCO₃ avviene infatti con un processo chimico reversibile quando le acque, arricchite di bicarbonato di calcio, si degassano con rilascio di CO₂ secondo la formula: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

graduale assottigliamento degli ambienti dei tufi calcarei (Log.13, Fig. II.28) ed iniziano a depositarsi, sopra quest'ultimi, sequenze alluvionali recenti (ALLOI), non più caratterizzate da incrostazioni di CaCO_3 .

II.3.4.3. Periodo altomedievale – Olocene tardo

Il tetto di US3 è caratterizzato da una ulteriore discordanza stratigrafica ed erosiva rappresentata da più canali riempiti da circa 2,5 m di sedimenti riferibili ad US4 (v. §II.3.2.1.) distinte da superfici erosive minori che marcano un cambiamento abrupto dalla precedente geometria fluviale sinuosa/meandriforme. Infatti, i sedimenti che compongono la US sono poco selezionati, con ghiaie fini, sabbia grossolana e silts che vanno a colmare piccoli canali di tipo *cut-and-fill*. Questa associazione di facies è tipicamente associabile ad un ambiente fluviale a canali intrecciati, con tasso di sedimentazione maggiore e rapido in un alveo meno confinato (Miall, 1996, Brown, 1997).

Sebbene questo rappresenti un cambiamento importante nella configurazione dell'evoluzione del paleoambiente fisico, la caratteristica principale di US4 riguarda la composizione dei sedimenti, costituiti, per la quasi totalità, da clasti eterometrici di tufi calcarei. In aggiunta, il deposito si caratterizza dall'abbondante presenza di frammenti di carbone, anche di grosse dimensioni, attribuibili a fasi ripetute di incendi forestali (Pieruccini *et al.*, 2018; Buonincontri *et al.*, in pubblicazione).

Questo cambiamento radicale nella composizione del sedimento è indicativo della disattivazione di questi ambienti, e conseguentemente dei processi di precipitazione di CaCO_3 , ed inizio della loro erosione in seguito alle dinamiche fluviali che hanno iniziato ad incidere profondamente ed aggradare le valli, formando forre profonde fino a 20 m (es. Piano del Padule, Fig. II.31). La datazione ottenuta al tetto del sistema dei tufi calcarei colloca la loro disattivazione a 862-994 cal AD (Log.3, Fig. II.18) ed è coeva con le datazioni ottenute per la US4 all'interno del paleoalveo (v. §II.3.2.2.). Le cronologie indicano quindi che questo processo è avvenuto in un arco cronologico molto breve, di circa 500 anni, in piena età altomedievale e concordante con il periodo d'occupazione del sito archeologico di Vetricella (v. Sez. IV Microscala e cfr. Marasco, 2018). Infatti, le prime fasi deposizionali (US4.1) sono datate a 660-779 cal AD ma è con US4.2 che si registra la fase di massima di deposizione dei clasti di tufi calcarei, datata tra 769-1013 cal AD e 945-1165 cal AD, con un tasso di sedimentazione calcolato di ca. 0,7 cm/a. L'ultima fase deposizionale (US4.3) è infine registrata a 1151-1285 cal AD.

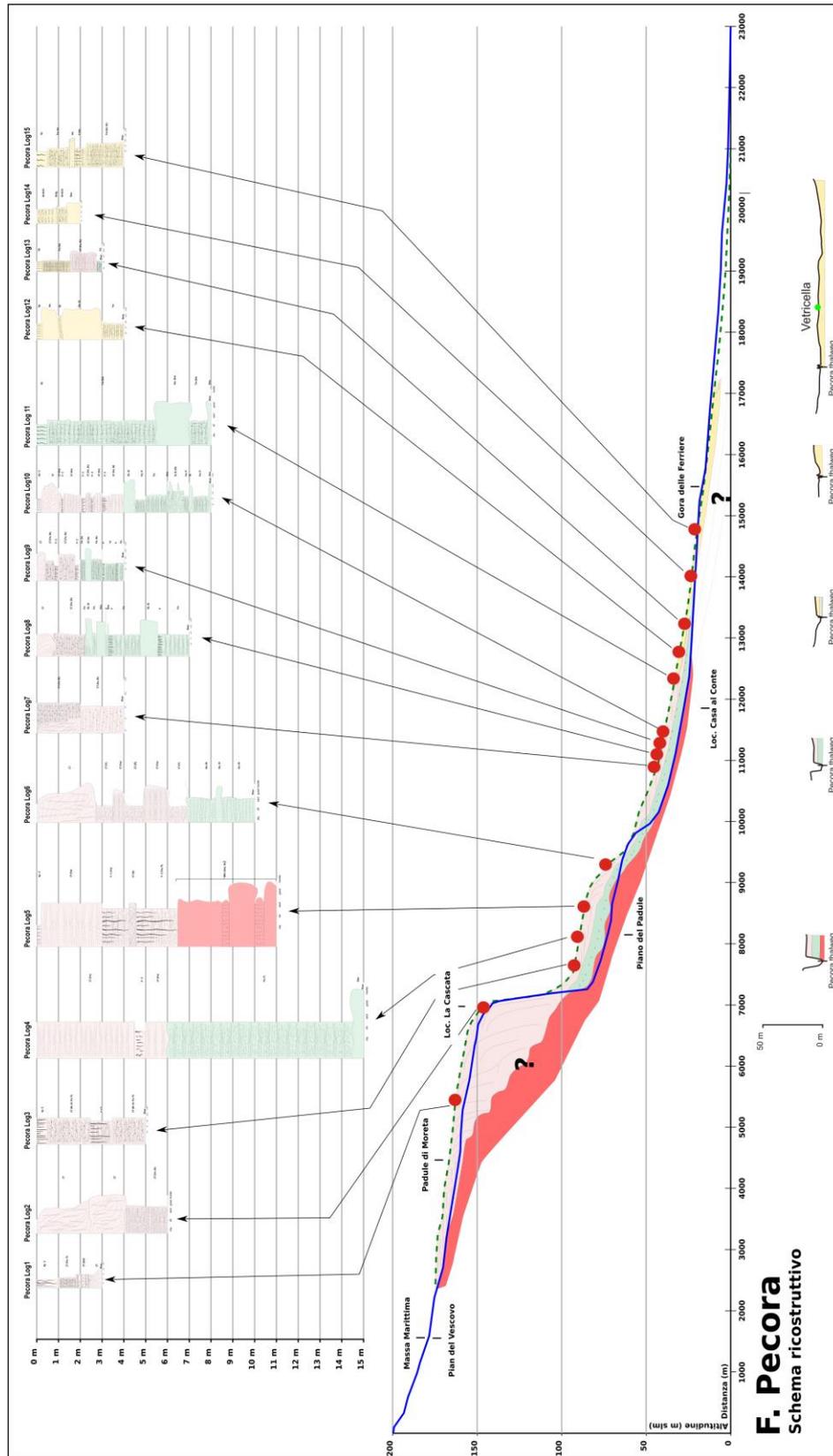


Figura II.31 – Modello ricostruttivo della sezione longitudinale del F. Pecora (linea blu) e della superficie topografica (linea tratteggiata verde). In alto sono riportati i logs stratigrafici. Sotto sono riportati i profili trasversali dell'alveo del F. Pecora.

II.3.5. CAUSE MORFOEVOLUTIVE

Dall'analisi dei dati illustrati precedentemente emerge un quadro interpretativo molto importante che evidenzia come il sistema vallivo del fiume Pecora subisca nelle fasi tardo-oloceniche, in particolare nei secoli altomedievali, delle modificazioni che cambiano radicalmente e permanentemente l'assetto del paesaggio fisico e dell'ecosistema. Due sono le cause principali, in stretta relazione, che concorrono in tali modificazioni:

1. Ripetute fasi di incendi forestali, evidenziate dall'abbondanza di frammenti di carboni associati ai sedimenti della facies fluviale US4. L'abbondanza di carboni all'interno di una sequenza stratigrafica è sovente il risultato della combustione incompleta della vegetazione in seguito ad incendi. La loro dispersione e deposizione, sia durante che successivamente gli eventi, è invece in stretto legame ai processi di ruscellamento superficiale, nonché alla capacità dei fiumi di ridistribuire carboni e sedimenti a valle (Schmidt & Noack, 2000; Forbes *et al.*, 2006; Scott & Damblon, 2010).
2. Disattivazione ed erosione del sistema dei tufi calcarei. La formazione di questi ambienti è veicolata principalmente dalla quantità di CaCO_3 disciolto nell'acqua, originato dalla circolazione in formazioni carsiche e nei suoli, e dalle modalità di precipitazione. Una minore quantità di CO_2 comporta una diminuzione della quantità di CaCO_3 disciolto nell'acqua; parallelamente, la disattivazione dei *barrages* ed il drenaggio delle aree umide influisce sui processi di degassamento e precipitazione di CaCO_3 . I fattori che possono determinare la disattivazione di questi ambienti presentano una casistica molto ampia (Goudie *et al.*, 1993; Ford & Williams, 2007b), ma a carattere generale sono collegati alle oscillazioni climatiche ed alle variazioni condizioni umido/arido o ad attività antropiche (Nicod, 1986; Pastre *et al.*, 2001; Antoine *et al.*, 2002; Carrara *et al.*, 2006; Currás *et al.*, 2012).

Per quanto riguarda il caso di studio analizzato, nella prima fase di disattivazione dei tufi calcarei (660-779 cal AD, US4.1) i *proxy* paleoambientali non mostrano oscillazioni importanti tali da poter determinare un crollo repentino nella loro formazione, come ad esempio per l'oscillazione registrata a ca. 2,5 ka BP (Goudie *et al.*, 1993; Baker & Simms, 1998; Zak *et al.*, 2002; Fubelli *et al.*, 2013) relativa al "Roman Warm Period", e ciononostante fortemente contestata recentemente da Dabkowski (2020). A scala globale, l'indice NAO ("North Atlantic Oscillation") effettuato su speleotemi in Scozia (Baker *et al.*, 2015) riporta un trend generale negativo tra 600 e 870 AD, consistente con un tasso di precipitazione atmosferica sopra la

media. Questo dato coincide, per quanto riguarda l'Italia, con la fase umida registrata tra 450 e 750 AD dalle curve isotopiche provenienti dal Lago di Pergusa (Sicilia, Sadori *et al.*, 2015, 2016) e dalla fase di alto stazionamento del livello del Lago dell'Accesa tra 550 e 850 AD (Magny *et al.* 2007). Situazioni analoghe sono inoltre state registrate per l'area mediterranea come Albania (Sadori *et al.*, 2015) Grecia (Peyron *et al.*, 2011; Finné *et al.*, 2014), Spagna (Oliva & Gómez-Ortiz, 2012), Turchia (Kuzucuoğlu *et al.*, 2011; Woodbridge & Roberts, 2011), Tunisia (Maquer *et al.*, 2008).

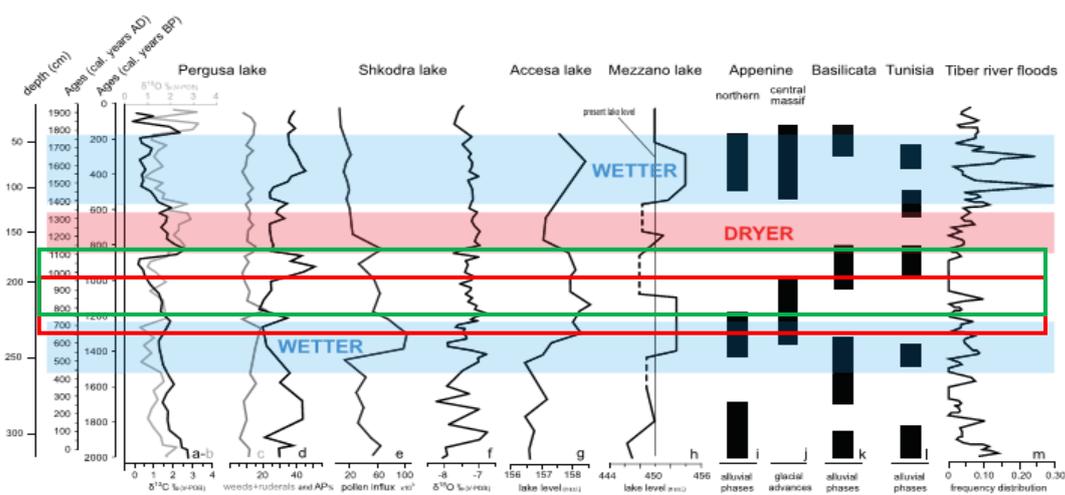


Figura 11.32 – Comparazione dei diversi proxies ambientali continentali del Mediterraneo centro-orientale (da Sadori *et al.*, 2016). **Linea rossa:** arco cronologico della prima fase di disattivazione ed erosione dell'ambiente CT (US4.1); **linea verde:** arco cronologico della seconda fase di disattivazione ed erosione dei CT (US4.2)

La fase più importante della disattivazione del sistema dei tufi calcarei (769-1044 cal AD, US4.2) è coeva invece con la fase climatica del “*Medieval Climate Anomaly*” (MCA, Stine, 1994)¹⁰, tra 950-1250 AD, in cui si registra un aumento delle temperature di ca. +1,7°C rispetto alla successiva fase più fredda della “*Little Ice Age*” (LIA, Mann *et al.*, 2009; Graham *et al.*, 2011). Anche in questo caso il segnale climatico non è abbastanza forte da poter determinare la disattivazione rapida del sistema dei tufi calcarei. Infatti, sebbene l'indice NAO per la MCA riporta un trend generale positivo (Trouet *et al.*, 2009), consistente con un tasso di precipitazione sotto la media e clima relativamente arido, gli studi paleoclimatici indicano che la MCA era caratterizzata da temperature miti (ca. +0,5°C rispetto ad oggi, cfr. Luoto *et al.*, 2017; Lünig *et al.*, 2019). In aggiunta, in alcune regioni sono state registrate temperature

¹⁰ Precedentemente ad esso, il termine utilizzato per questo periodo era “*Medieval Warm Period*” (Lamb, 1965)

inferiori alla LIA¹¹ (Kaniewski *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2019). Inoltre, la MCA non presenta le caratteristiche di un evento climatico globale uniforme, ma è fortemente condizionata dalle variabilità regionali ed inter-regionali (irradiazione solare, venti, correnti oceaniche ecc., Seager *et al.*, 2007; Cronin *et al.*, 2010; Gonzalez-Ruoco *et al.*, 2011; Goosse *et al.*, 2012; Toker *et al.*, 2012; Lünig *et al.*, 2017). Ad esempio, trend idroclimatici di aridità sono stati registrati nelle regioni sudoccidentali del Nord America (Herweijer *et al.*, 2007; Cook *et al.*, 2004, 2007, 2010), nelle regioni mediterranee occidentali (Moreno *et al.*, 2012; Xoplaki *et al.*, 2016; Degeai *et al.*, 2017) e nelle regioni dell’Africa equatoriale orientale (Verschuren *et al.*, 2000). Di contro, trend idroclimatici umidi sono stati registrati nelle regioni tropicali sudamericane¹² (Ledru *et al.*, 2013), nell’Africa meridionale (Nash *et al.*, 2016; Lünig *et al.*, 2018) nel Levante (Frumkin *et al.*, 1991; Litt *et al.*, 2012; Schilman *et al.*, 2002) e nell’Europa settentrionale (Luoto & Helama, 2010; Luoto *et al.*, 2017). In aggiunta, le oscillazioni idroclimatiche non forniscono elementi esaustivi per spiegare i trend delle temperature a scala multi-secolare e multi-decennale. Ad esempio, i proxies paleoclimatici della penisola araba settentrionale riportano condizioni climatiche caldo/secche tra 900-1000 AD e condizioni caldo/umide tra 1000-1200 AD (Kaniewski *et al.*, 2011). Studi condotti sul fiume Nilo mostrano invece che il periodo della MCA era caratterizzato da periodi di portata idrica bassa da 930 a 1070 AD e da 1180 a 1350 AD, intervallati da periodi di portata idrica alta da 1070 a 1180 AD e da 1350 a 1470 AD (Hassan, 2011).

Il fattore climatico, dunque, non fornisce elementi determinanti che possano spiegare la concomitanza tra l’interruzione della precipitazione di CaCO₃, l’inizio dell’erosione dei tufi calcarei e le fasi d’incendi forestali. Per quest’ultimi, infatti, lo studio dei *taxa* arborei pone in evidenza come la progressione di queste ripetizioni ad intervalli ravvicinati interessi diverse e precise tipologie vegetali (Pieruccini *et al.*, 2018; Buonincontri *et al.*, in pubblicazione). Questa pressione selettiva esercitata è compatibile con attività antropiche legate alla produzione di combustibile e/o a pratiche di bonifica per uso agricolo (Williams, 2000; Vanniére *et al.*, 2008; Mensing *et al.*, 2016; García-Ruiz *et al.*, 2016; Gibling, 2018).

È plausibile ipotizzare, quindi, che le azioni di deforestazione associate alle opere di bonifica siano da considerarsi come le cause principali concorse nella disattivazione degli ambienti dei

¹¹ Mercalli & Cat Berro (2013) propongono una interessante ricostruzione paleoclimatica per l’Italia settentrionale basata sull’analisi delle fonti storiche scritte, in cui evidenziano che durante la MCA gli episodi freddi documentati sono maggiori del 12% rispetto a quelli caldi.

¹² Per quest’area le condizioni idroclimatiche sono state condizionate dall’indice ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*, cfr. Trenberth & Stepaniak, 2001) e dall’attività del sistema SAMS (*South American Summer Monsoon*, cfr. Liebmann Mechoso, 2011).

tufi calcarei. È già stato riportato infatti che l'erosione del suolo a causa del ritiro della copertura forestale comporta una diminuzione della quantità di CO₂ disciolta nell'acqua. Da studi condotti in diverse regioni è stato osservato che il contenuto di carbonio presente nel suolo rimane invariato nel passaggio da foresta a pascolo; di contro, vi è un calo sensibile quando il passaggio è da foresta ad area ad uso agricolo (Guo & Gifford, 2002; van Wesemael *et al.*, 2010; Strömngren *et al.*, 2013; Fujisaki *et al.*, 2015). I disboscamenti hanno anche l'effetto di incrementare la quantità di materiale che va ad alimentare il trasporto solido nella rete idrografica, favorendo dunque le condizioni di sedimentazione negli alvei fluviali. Inoltre, le opere di regimazione del fiume Pecora e canalizzazione all'interno della cascata offrono una spiegazione plausibile alla interruzione della precipitazione di CaCO₃. Come infatti già menzionato precedentemente (v. §II.3.4.2.), la turbolenza e la vaporizzazione dell'acqua dovuto alla presenza di salti morfologici determina i processi di degassazione e conseguente precipitazione di CaCO₃. I lavori di regimazione e canalizzazione del fiume Pecora, con creazione del taglio artificiale all'interno della cascata principale, hanno inibito questi processi, diminuendo e/o interrompendo il tasso di crescita di questi ambienti. Contemporaneamente, le opere di regolazione del reticolo idrografico con spostamento del fiume Pecora nella parte settentrionale della valle e convoglio delle acque dei tributari in destra orografica hanno determinato la capacità del fiume di incidere il fondovalle. Infatti, le canalizzazioni e restringimenti hanno come effetto principale quello di incrementare l'energia (ovvero la capacità di trasporto) del fiume come conseguenza dell'aumento di pendenza e/o riduzione di larghezza (Simon, 1989; Brown, 1997). Questo induce una fase d'incisione a cui è associabile la fase di sedimentazione ed aumento del bilancio sedimentario nei tratti a valle del sistema, favorita dall'alimentazione di sedimenti mobilizzati nei tratti a monte dell'incisione stessa.

II.3.6. MODELLO MORFOEVOLUTIVO GENERALE DELL'OLOCENE TARDO

Le indicazioni derivanti dalla sintesi stratigrafica ed antracologica delle sezioni esposte della cassa d'espansione, unite alle considerazioni geomorfologiche presentate nei paragrafi precedenti, permettono di formulare un modello morfoevolutivo generale dell'area per quanto concerne la fase tardo-olocenica e quindi ricostruire la diacronia degli eventi occorsi nella modellazione del paesaggio durante le fasi altomedievali.

Le osservazioni condotte sul paleoalveo indicano che tra l'inizio dell'VIII secolo e la metà dell'V secolo BC (US3) la configurazione idromorfologica del fiume Pecora era molto probabilmente a canale unico meandriforme ed in condizioni di stabilità idrosedimentaria. In questo periodo, il

sistema dei tufi calcarei era ancora attivo, come indicato dalla datazione ottenuta alla base del sistema (2201-2031 cal BC, Log.1, Fig. II.16). Il paesaggio (Piano del Padule, Padule di Moreta) era dunque interessato da aree con cascate con installazione a monte di aree umide palustri e stagnanti. Il drenaggio naturale del fiume Pecora in questo periodo era probabilmente localizzato nella porzione meridionale della valle, come indicano le tracce di paleoalvei.

Tra VII e VIII sec AD l'assetto del corso d'acqua cambia completamente, passando da un canale unico meandriforme ad uno a canali intrecciati non confinati e poco profondi (US4), colmati quasi esclusivamente da clasti di tufi calcarei associati ad una forte presenza di carboni. Questo cambiamento rapido e profondo delle dinamiche idrosedimentarie è attribuibile all'inizio da parte delle comunità altomedievali delle operazioni di bonifica, con regimazione del reticolo idrografico, disattivazione ed incisione dei tufi calcarei, drenaggio delle aree umide, ed operazioni di disboscamento.

L'inizio delle operazioni di bonifica è attestato a 660-779 cal AD (US4.1). I *taxa* arborei indicano che le attività di incendi in questa fase interessavano prevalentemente la vegetazione ripariale e, in estensione minore, la vegetazione tipica della fascia perifluviale (Pieruccini *et al.*, 2018; Buonincontri *et al.*, 2018). Questo suggerisce che durante l'VIII secolo il drenaggio e le bonifiche delle zone umide a monte comportò simultaneamente l'inizio, da parte delle comunità locali, della gestione della copertura forestale con pulitura della vegetazione per creare spazi per l'attività agricola (Buonincontri *et al.*, 2017). Tuttavia, lo spessore limitato della sequenza sedimentaria in questa fase indica dei cambiamenti minori, segno l'impatto antropico era ancora ad uno stadio iniziale.

La fase successiva (US4.2) datata 880-980 cal AD rappresenta il momento deposizionale principale, con aumento sia dello spessore della successione sedimentaria sia della frequenza e del volume dei frammenti di carbone, e l'approfondimento del canale con predominanza di morfologie di tipo *cut-and-fill*. Questa fase è coeva con la datazione ottenuta al tetto del sistema dei tufi calcarei (862-994 cal AD, Log.3, Fig. II.18). È perciò plausibile attribuire questa fase alle maggiori operazioni di bonifica e di drenaggio delle aree palustri. Il fiume Pecora venne completamente regimato e canalizzato all'interno del taglio artificiale del *barrage* principale e spostato definitivamente nella parte settentrionale della valle. In questo modo fu inoltre possibile convogliare le acque dei tributari in destra orografica, aumentando di conseguenza la portata idrica. Questo comportò la fase di incisione del fiume Pecora all'interno di Piano del Padule e la formazione della forra profonda ca. 15-20 m. Il nuovo assetto del reticolo idrografico comportò quindi la disattivazione definitiva del sistema dei tufi

calcarei e l'inizio della loro erosione più accentuata. Inoltre, lo studio tassonomico dell'antracomassa (Pieruccini *et al.*, 2018; Buonincontri *et al.*, in pubblicazione) evidenzia come le attività di incendi si espansero ad un areale che includeva, oltre la già menzionata vegetazione ripariale, anche le foreste di latifoglie sempreverdi localizzate lungo i versanti collinari. La portata di queste operazioni di bonifica e di apertura delle aree boschive denota un livello ingegneristico di altissimo livello da parte delle comunità altomedievali a la disponibilità di una manodopera specializzata in grado di mantenere bonificate queste aree. È ipotizzabile dunque che la possibilità di attuare queste opere sia collegabile all'instaurazione di un nuovo sistema economico (Bianchi & Collavini, 2018) che necessitava di nuovi spazi agricoli sia per agricoltura sia per alberi da frutto (Buonincontri *et al.*, 2015, 2017).

La fase finale (US4.3, 1150-1290 cal AD), mostra una diminuzione del carico solido trasportato, simile a quelle iniziali (US4.1), non potendo però escludere sequenze sedimentarie più recenti, dato il forte impatto antropico moderno sul territorio. Ciononostante, le dinamiche fluviali a canali intrecciati sembrerebbero indicare il perdurare delle operazioni di bonifica degli ambienti dei tufi calcarei almeno fino al XII-XIII secolo AD. Per questa fase, lo studio tassonomico dell'antracomassa indica che gli incendi si espandono alle aree di versante collinare, caratterizzate da foreste mediterranee decidue. Questa fase è coeva con la massima espansione dei sistemi agricoli, che interessò anche i versanti collinari dell'area (Di Pasquale *et al.*, 2014; Buonincontri *et al.*, 2015, 2017).

Infine, la documentazione storica indica che il fiume Pecora venne definitivamente regimato nel XIX sec. AD ed utilizzato per le operazioni di colmata e bonifica delle aree palustri della pianura costiera di Follonica/Scarlino (Londi *et al.*, 2007).

CAPITOLO II.4 - PIANURE COSTIERE

II.4.1. OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE

Le osservazioni geomorfologiche di seguito presentate fanno riferimento alle indicazioni ottenute dall'analisi delle Unità di Paesaggio costiere (UPCo, v. §1.2.2.3.). In riferimento alla pianura costiera del fiume Pecora, le osservazioni geomorfologiche si allacciano alle osservazioni già effettuate per le Unità di Paesaggio collinari e vallive (UPC e UPV) presentate nel Cap. II.3 (v. #II.3.1)

II.4.1.1. Pianura costiera del Cornia

Dall'osservazione della carta geomorfologica della pianura costiera del fiume Cornia (Fig. II.35) è possibile notare la presenza di numerosi paleoalvei, con andamento sinuoso, che interessano tutta la pianura costiera, ben riconoscibili sia dal LiDAR disponibile sia dall'osservazione delle foto aeree multitemporali (Fig. II.33) La presenza di questi paleoalvei indica chiaramente come il fiume Cornia avesse la tendenza a migrare all'interno della pianura costiera e di sfociare all'interno della paleolaguna di Piombino. Purtroppo, l'assenza di sezioni ed affioramenti impedisce ad ora la possibilità di inquadrare cronologicamente le fasi di divagazione del fiume Cornia all'interno della piana. La più importante e persistente di queste evidenze è quella localizzata nel settore orientale della pianura, oggigiorno occupato dal Fosso Corniaccia, in cui si riconoscono molto bene le tracce del paleodrenaggio naturale del fiume Cornia. Queste tracce, sottoforma di paleoalvei, iniziano allo sbocco del fiume all'interno della pianura costiera (San Vincenzo e Loc. Forni), dove le opere di arginatura moderne obbligano l'alveo attuale a drenare verso Ovest, e continuano, con andamento sinuoso, verso Casalappi (Fig. II.34b). In quest'area il paleodrenaggio sembra essere condizionato anche dalla presenza di conoidi allo sbocco delle vallecole laterali. Verso il settore costiero, adiacente il sito archeologico di Vignale (Fig. II.34a), il paleodrenaggio si divide in molti rami sinuosi; tale ramificazione è causata dalla barriera dei cordoni dunali che impedisce parzialmente il deflusso delle acque verso mare. È da notare che il sito archeologico di Carlappiano (Fig. II.35) è localizzato alla base del cordone dunale intermedio e la parte distale della depressione interdunale, all'epoca probabilmente caratterizzata da ambienti umidi/stagnanti. Evidenze di depocentro deposizionale in questo settore della pianura costiera sono state inoltre rilevate dai sondaggi geognostici (facies sedimentarie di canale, Cornia6 e Cornia8, cfr. #II.4.4.).

L'ambiente lagunare, oggi giorno completamente bonificato, interessa prevalentemente il settore occidentale distale della pianura costiera e rientra per pochi chilometri al suo interno. Dalla documentazione storica disponibile (Londi *et al.*, 2007, Dallai *et al.*, 2018) si evince che la laguna doveva essere aperta al mare. Inoltre, la presenza di questi ambienti nei settori più interni della pianura suggerisce la presenza di aree depresse che ostacolavano il drenaggio delle acque, determinando conseguentemente la formazione di aree impaludate.



Figura II.33 – Pianura costiera del F. Cornia. Aerofotografie del 1954 (elementi: -31740; -318010) con riportati i punti dei carotaggi (eccetto Cornia7). Dall'osservazione delle fotografie multitemporali è possibile apprezzare maggiormente la presenza di anomalie sulla superficie topografica relative al paleodrenaggio (freccia bianca).

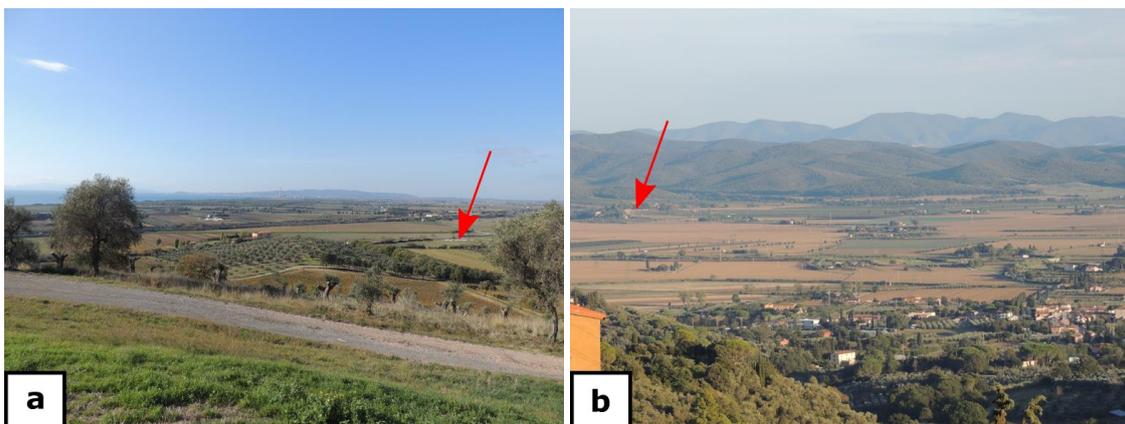
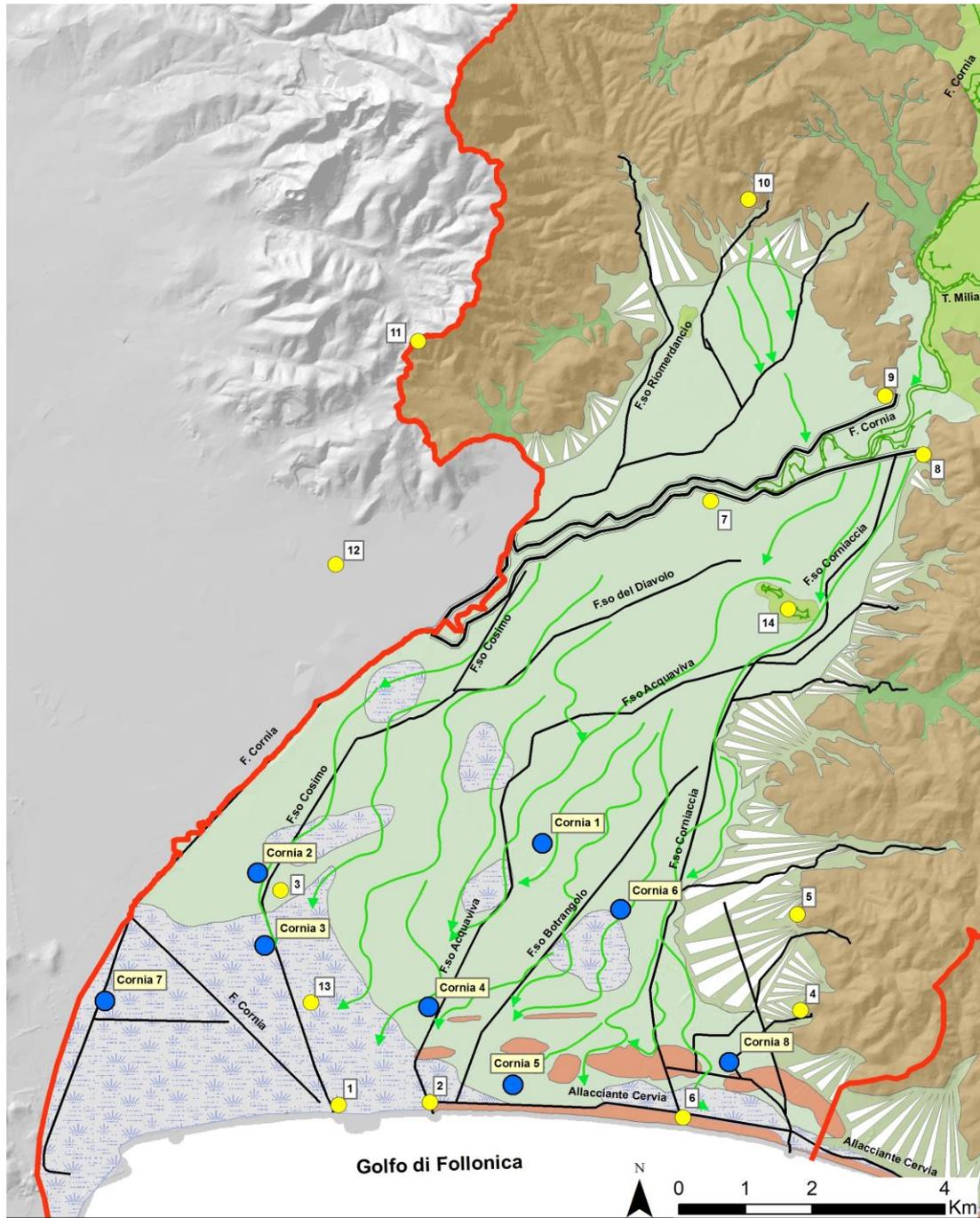


Figura II.34 – Visuali della pianura costiera del F. Cornia. **a)** visuale del settore orientale distale della pianura costiera. La freccia rossa indica l'ubicazione del sito archeologico di Vignale; **b)** visuale da Campiglia Marittina dei settori prossimi della pianura costiera. La freccia rossa indica la posizione di Casalappi.



Bacino idrografico del F. Cornia

Legenda

- | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|---|---|---|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | | | | |

Figura II.35 – Carta geomorfologica. Stralcio della pianura costiera del F. Cornia. **Legenda:** 1) Canale artificiale o tratto di corso d'acqua artificializzato; 2) Asse di alveo fluviale abbandonato o paleoalveo; 3) Orlo di scarpata di erosione fluviale; 4) Argine artificiali; 5) UPC-Ve; 6) UPC-Va; 7) UPV-Te; 8) UPV-Co; 9) UPCo-Pc; 10) UPCo-Pa; 11) UPCo-DS; 12) Conoide alluvionale; 13) Punti carotaggi (Cornia); 14) Sito archeologico di Carlappiano; 15) Località menzionate nel testo: (1) Torre del Sale; (2) Loc. Perelli; (3) Loc. Sdriscia; (4) Vignale; (5) Riotorto; (6) Foce di S. Martino; (7) Casette di Cornia; (8) San Lorenzo; (9) Loc. Forni; (10) Suvereto; (11) Campiglia Marittima; (12) Venturina; (13) Orti di Bottagone; (14) Casalappi

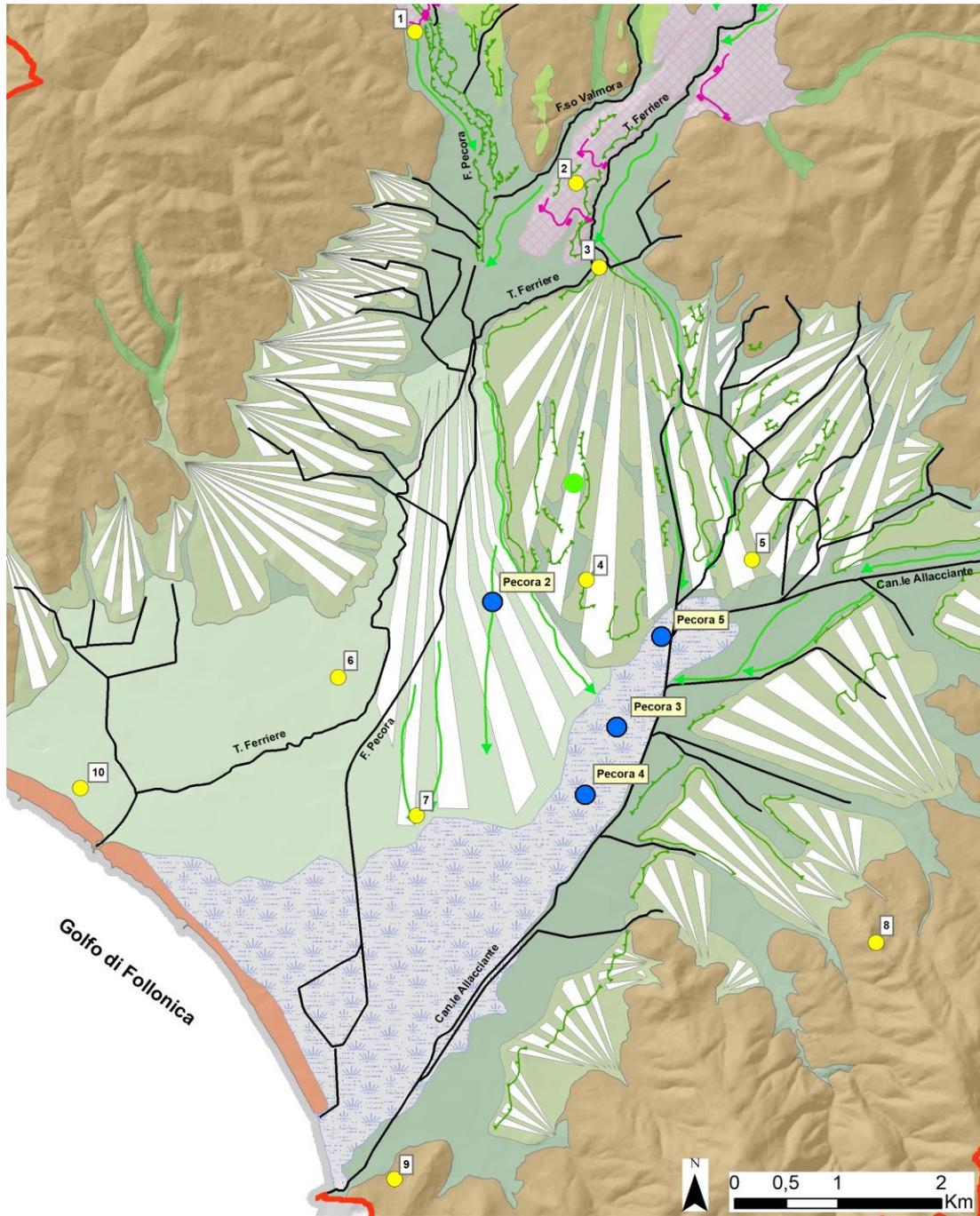
II.4.1.2. Pianura costiera del Pecora

Il tratto distale del fiume Pecora si amplia a formare la pianura costiera. Dall'osservazione della carta geomorfologica (Fig. II.37) l'elemento principale che caratterizza la pianura costiera è costituito dal vasto conoide alluvionale olocenico che si estende per ca. 4 km, partendo dallo sbocco del fiume Pecora all'interno della pianura alluvionale fino all'area industriale dello stabilimento di NUOVA SOLMINE (Fig. II.36). La deposizione di questo conoide è collegata verosimilmente alle operazioni di bonifica per colmata del settore occidentale e che formarono la pianura alluvionale odierna. Infatti, è possibile osservare che la parte distale del conoide alluvionale si imposta sopra gli ambienti palustri che occupavano l'area durante i secoli altomedievali. Le tracce del paleodrenaggio, sottoforma di paleoalvei con andamento sinuoso, interessano tutta la superficie del conoide e sono ben osservabili dal LiDAR a disposizione, ma poco dalle foto aeree multitemporali, dovuto alla forte antropizzazione dell'area. Il forte impatto antropico nella pianura costiera ha impedito inoltre l'osservazione di ulteriori paleocanali, plausibilmente presenti, nel settore occidentale compreso tra il centro urbano di Follonica e l'area industriale. L'evidenza più importante di questi paleodrenaggi è quella localizzata al contatto con il conoide alluvionale tardopleistocenico (per la sua descrizione si rimanda alla Sez. III della Mesoscala, v. #III.1) e verosimilmente riferibile all'evidenza di paleoalveo osservata nella cassa d'espansione (v. §II.3.2.1.).

Gli ambienti lacustri/palustri, oggi giorno completamente bonificati, interessano il settore orientale e si inoltrano all'interno della pianura costiera per ca. 5 km fino ai confini del centro urbano di Scarlino Scalo. In accordo con la documentazione storica disponibile (Londi *et al.*, 2007) la linea di costa era caratterizzata dalla presenza di cordoni dunali; anche in questo caso, lo sfruttamento urbanistico della costa ha determinato la loro completa distruzione (Bartolini *et al.*, 1977; 1989).



Figura II.36 – Visuale da Scarlino della pianura costiera del F. Pecora. La freccia rossa indica la posizione dello stabilimento NUOVA SOLMINE. Si noti la pendenza della superficie topografica dovuta alla presenza del conoide alluvionale olocenico che degrada verso la costa ed all'interno degli ambienti lagunari/palustri



Bacino idrografico del F. Pecora

Legenda

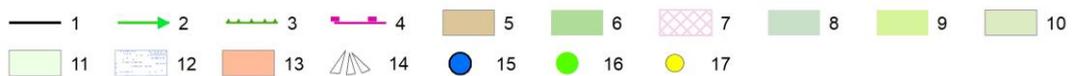


Figura II.37 – Carta geomorfologica. Stralcio della pianura costiera del F. Pecora. **Legenda:** 1) Canale artificiale o tratto di corso d'acqua artificializzato; 2) Asse di alveo fluviale abbandonato o paleoalveo; 3) Orlo di scarpata di erosione fluviale; 4) Barrages CT; 5) UPC-Ve; 6) UPC-Va; 7) UPV-Ct; 8) UPV-Pa; 9) UPV-Te; 10) UPV-Co; 11) UPCo-Pc; 12) UPCo-Pa; 13) UPCo-DS; 14) conoide alluvionale; 15) Punti carotaggi (Pecora); 16) Sito archeologico di Vetricella; 17) Località citate nel testo: (1) Casa al Conte; (2) Cura Nuova; (3) Case Vado all'Arancio; (4) Palazzo Guelfi; (5) Scarlino Scalo; (6) Centro Industriale di Follonica; (7) Stabilimento NUOVA SOLMINE; (8) Scarlino; (9) Puntone; (10) Follonica.

II.4.2. FACIES ED AMBIENTI SEDIMENTARI

Di seguito viene riportata la descrizione delle facies sedimentarie riconosciute. A ciascuna facies è assegnato un codice ed un colore identificativo utilizzato nelle figure e tabelle successive (Fig. II.38, Tab. II.18) che identifica inoltre l'ambiente deposizionale a cui sono associate.

II.4.2.1. Facies lagunari

Riportate con il codice "L" e rappresentate dalle tonalità di blu. Questi ambienti sono formati generalmente da argille da chiare a scure, massive o debolmente laminate, bioturbate, con presenza abbondante di malacofauna salmastra e marina, rinvenuta sia integra che frammentata, e comuni foraminiferi. Localmente è possibile osservare degli arricchimenti in materia organica ed intercalazioni sabbiose associate ad abbondanti frammenti malacologici. Le facies lagunari sono state riconosciute prevalentemente nelle carote riferibili alla pianura costiera del fiume Cornia (Cornia3, 4, 5 e 7) nelle porzioni basali e mediane (in Cornia3 le facies caratterizzano ca. l'80% di tutta la carota) mentre sono poco caratterizzate nella pianura costiera del fiume Pecora (Pecora3 e 4) e localizzate solamente nelle porzioni basali delle carote.

Si riconoscono tre facies sedimentarie distinte:

- **Facies L1:** riferibile ad ambienti di laguna interna a bassa energia. La facies è formata da argille da massive a debolmente laminate di colore da grigio chiaro, GLEY1 6/N (*gray*) a grigio scuro, GLEY1 4/N (*dark grey*), bioturbate, con rare intercalazioni sottili di sabbia fine e silts. Abbondante presenza di malacofauna marina e salmastra (*Cerastoderma*), comuni macroframmenti carboniosi ed assenza di resti vegetali.
- **Facies L2:** riferibile ad ambienti lagunari marginali vegetati. La facies è formata da argille siltose massive o bioturbate di colore grigio scuro, GLEY1 4/N (*dark grey*), con aumento di spessore e frequenza delle intercalazioni sabbiose e siltose. Accumuli abbondanti di materia organica parzialmente decomposta, occasionalmente indecomposta, ed abbondanti macroframmenti carboniosi. Presenza scarsa di malacofauna salmastra.
- **Facies L3:** riferibile ad ambienti di laguna esterna ad alta energia. La facies è formata da sabbie medio-grossolane e ghiaie fini ben selezionate in livelli da sottili a spessi di colore da giallastro a marrone chiaro, 7.5YR 4/4 (*brown*), con scarse intercalazioni di argille e

silts massivi di colore grigio chiaro, 10YR 5/1 (*gray*). Abbondante presenza di resti di malacofauna marina e salmastra ed assenza di resti vegetali.

II.4.2.2. Facies palustri/stagno

Riportate con il codice “S” e rappresentate dalle tonalità di grigio. Questi ambienti sono formati da argille, argille siltose e silts da massivi a debolmente laminati, di colorazione da chiara a scura dovuto ad arricchimento di materia organica. Localmente si osservano figure di ossidoriduzione e precipitazione secondaria di carbonati. Le facies di palude e stagno caratterizzano prevalentemente le carote riferibili alla pianura costiera del fiume Pecora, mentre sono nettamente subordinate nella pianura costiera del fiume Cornia (Cornia1, 2, 4 e 6). Si riconoscono due facies sedimentarie distinte:

- **Facies S1:** riferibile ad ambienti di palude densamente vegetata. La facies è formata da argille da massive a debolmente laminate con abbondante materia organica, di colore da grigio scuro a nero, GLEY1 3/N (*very dark grey*), bioturbate, con rare intercalazioni sottili di sabbia fine e silts. Abbondante presenza macroframmenti carboniosi ed abbondanti di resti vegetali.
- **Facies S2:** riferibile ad ambienti di palude da poco a molto profonda non vegetata. La facies è formata da argille siltose da massive a debolmente laminate di colore da giallastro chiaro a grigio, GLEY1 5/N (*gray*), bioturbate, con comuni figure di ossidoriduzione, 7.5YR 5/6 (*strong brown*) e noduli di CaCO₃. Presenza scarsa di frammenti carboniosi, assenza di resti vegetali o elementi di malacofauna.

II.4.2.3. Facies alluvionali

Riportate con il codice “F” e rappresentate dalle tonalità di giallo, riferibili alle facies tipiche di pianura alluvionale. Questi ambienti sono formati da alternanze di silts, sabbie ed argille con abbondanti figure di ossidoriduzione e precipitazione di noduli di Fe-Mn e carbonati secondari. Le facies di pianura alluvionale caratterizzano prevalentemente le carote della pianura costiera del fiume Cornia, in particolare quelle localizzate nei settori più interni della piana (Cornia1, 2 e 6), e non interessati in antichità, secondo la cartografia storica, da ambienti lagunari. Nelle restanti carote, ovvero quelle prossime alla linea di costa (Cornia5 e 8) o localizzate ai limiti delle antiche lagune (Cornia3, 4 e 7) queste facies caratterizzano solamente la porzione sommitale della sequenza stratigrafica. Per quanto riguarda la pianura costiera del fiume Pecora, questi ambienti sono nettamente subordinati. Anche in questo caso, le facies di

pianura alluvionale sono concentrate prevalentemente nei settori più interni non interessati in antichità da lagune (Pecora 2), mentre in Pecora 4 e 5, sono osservabili solamente nella porzione sommitale della sequenza stratigrafica.

Si riconoscono tre facies sedimentarie distinte:

- **Facies F1:** riferibile ad ambienti di pianura alluvionale distale scarsamente drenata. La facies è formata da alternanze di silts e sabbie medio-fini da massive a laminate molto spesse, localmente bioturbate, con colore da bruno a giallastro chiaro, 10YR 5/8 (*yellowish brown*). Il colore cambia in relazione all'abbondanza di materia organica presente. Localmente si osservano degli intervalli sottili argillosi scuri massivi. Abbondante presenza di figure di ossidoriduzione, 7.5YR 5/6 (*strong brown*), e precipitazione secondaria di noduli di Fe/Mn e di CaCO₃. La facies è inoltre caratterizzata dalla presenza di intervalli decimetrici di tipo *fining-upward*, formati da alternanze di spesse lamine sabbiose-siltose scure ad argille e silts massivi chiari con concentrazione di carbonati secondari. Presenza rara di frustoli carboniosi fini.
- **Facies F2:** riferibile ad ambienti di pianura alluvionale periodicamente sommersa. La facies è formata da alternanze di silts e sabbie laminate spesse di colore da giallastro a bruno chiaro, 10YR 5/3 (*brown*), e argille scure massive. Presenza comune di figure di ossidoriduzione, 7.5YR 5/6 (*strong brown*).
- **Facies F3:** riferibile ad ambienti di pianura alluvionale sommersa. La facies è formata da argille siltose da massive a debolmente laminate di colore da grigio chiaro a grigio giallastro, 10YR 6/4 (*light yellowish brown*). Presenza abbondante di figure di precipitazione di Fe/Mn, comuni figure di ossidoriduzione, 7.5YR 5/6 (*strong brown*), e rara precipitazione secondaria di CaCO₃. Non sono stati osservati resti vegetali o frammenti carboniosi.

II.4.2.4. Facies fluviale

Riportata con il codice "C" e rappresentata dal colore verde. La facies costituisce il riempimento di canale formato da alternanze di spessore centimetrica di ghiaie sciolte poco selezionate da fini a grossolane da subangolose a subarrotondate e matrice sabbiosa e sabbie da fini a grossolane con rare intercalazioni sottili di silts. Essendo materiale sciolto, non è stato possibile determinare eventuali facies distinte. La facies fluviale è nettamente subordinata

rispetto alle facies descritte sopra ed è stata riconosciuta solamente nelle carote riferibili alla pianura costiera del fiume Cornia (porzione basale di Cornia6 e 8).

II.4.2.5. Paleosuolo

Riportato con il codice “P” e rappresentato dal colore marrone. Questo ambiente è determinato da tipici processi pedogenetici su superfici emerse esposte per lungo tempo a processi di alterazione su argille e silts da massivi a debolmente laminati, con rare lamine sabbiose, di colore da giallo ad arancione rossastro, 10YR 6/8 (*brownish yellow*) e con scarsa preservazione delle strutture sedimentarie originali. Come per la facies fluviale, anche il paleosuolo è nettamente subordinato alle facies sedimentarie descritte precedentemente. La sua espressione maggiore è stata osservata nella pianura costiera del fiume Pecora (parte basale di Pecora5), mentre per quanto riguarda la pianura costiera del fiume Cornia (Cornia4 e 7), i paleosuoli presentano una pedogenesi scarsamente sviluppata.

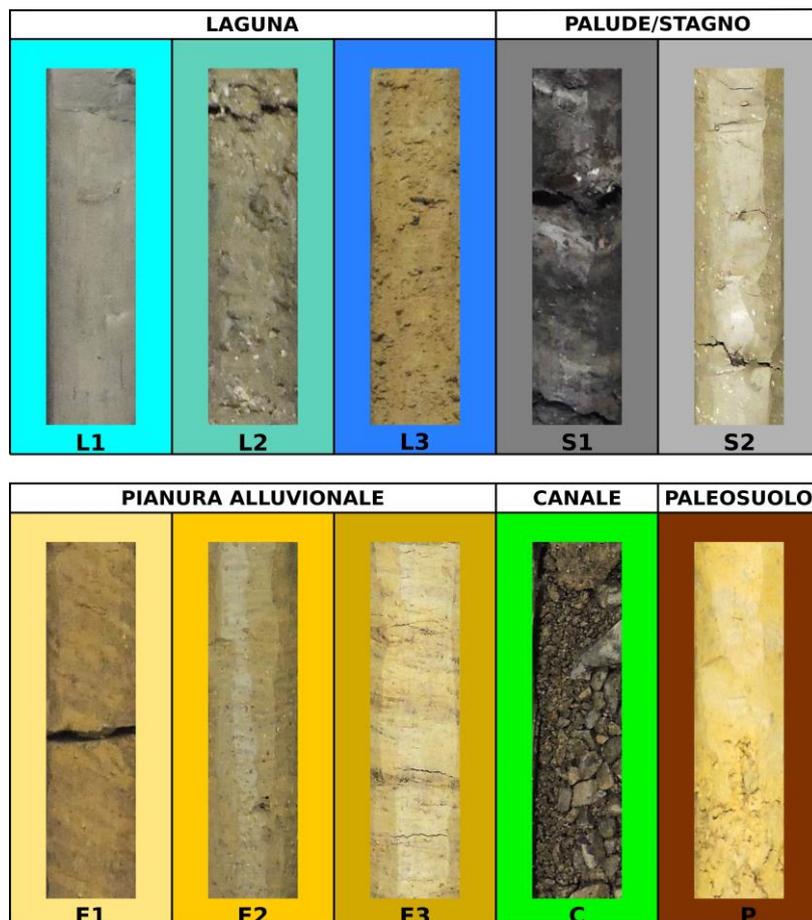


Figura II.38 – Carotaggi. Elenco delle facies e degli ambienti sedimentari riconosciuti

II.4.3. CRONOLOGIA

In totale sono state ottenute 29 datazioni radiocarboniche, eseguite sia su frammenti di carbone che materia organica. Rispettivamente, 21 datazioni provengono dalle carote dell'area del Cornia, mentre 8 dalla pianura alluvionale del fiume Pecora. Le datazioni a questa fase della ricerca si sono concentrate prevalentemente nelle porzioni superiori delle carote, in linea con gli obiettivi principali del progetto nEU-Med. Ciononostante, la cronologia ottenuta ad ora si colloca nell'intero arco olocenico, interessando tutte le facies sedimentarie descritte eccetto per quella fluviale.

Carota	ID-profondità carota	Materiale	Cod. Lab	Profondità (m slm)	Età (BP)	Età cal. (BC/AD)
Cornia2	C2-195cm	Acidi umici	Beta-501038	1,1 m slm	1470±30 BP	544-646 cal AD
	C2-220cm	Acidi umici	Beta-503934	0,9 m slm	1420±30 BP	574-657 cal AD
Cornia3	C3-175cm	Acidi umici	Beta-503935	-0,2 m slm	1230±30 BP	685-885 cal AD
	C3-160cm	Acidi umici	Beta-501046	-0,3 m slm	1520±30 BP	526-609 cal AD
	C3-450cm	Acidi umici	Beta-503937	-3,2 m slm	6690±30 BP	5662-5556 cal BC
Cornia4	C4-90cm	Acidi umici	Beta-503938	0,5 m slm	1820±30 BP	124-257 cal BC
	C4-400cm	Acidi umici	Beta-501547	-2,4 m slm	7790±30 BP	6655-6590 cal BC
	C4-485cm	Acidi umici	Beta-503941	-3,2 m slm	8010±40 BP	7061-6796 cal BC
Cornia5	C5-80cm	Acidi umici	Beta-503942	0,7 m slm	3370±30 BP	1745-1611 cal BC
	C5-160cm	Acidi umici	Beta-503943	-0,1 m slm	4240±30 BP	2910-2860 cal BC
	C5-290cm	Acidi umici	Beta-503944	-1,3 m slm	5080±30 BP	3883-3797 cal BC
	C5-330cm	Acidi umici	Beta-501040	-1,8 m slm	5050±30 BP	3953-3772 cal BC
Cornia6	C5-510cm	Acidi umici	Beta-501044	-3,4 m slm	9050±30 BP	8293-8243 cal BC
	C6-180cm	Acidi umici	Beta-503947	5,2 m slm	660±30 BP	1347-1393 cal AD
	C6-245cm	Acidi umici	Beta-501042	4,7 m slm	6180±30 BP	5217-5041 cal BC
Cornia7	C7-240cm	Acidi umici	Beta-501039	-0,3 m slm	850±30 BP	1155-1255 cal AD
	C7-250cm	Acidi umici	Beta-503949	-0,4 m slm	1420±30 BP	582-660 cal AD
	C7-270cm	Acidi umici	Beta-501037	-0,8 m slm	1790±30 BP	135-265 cal AD
	C7-290cm	Acidi umici	Beta-503950	-1,1 m slm	2410±30 BP	547-400 cal BC
Cornia8	C7-420cm	Acidi umici	Beta-503951	-2,1 m slm	5740±30 BP	4696-4504 cal BC
	C8-80cm	Acidi umici	Beta-511655	1,1 m slm	3090± BP	1427-1277 cal BC
Pecora2	P2-470cm	Acidi umici	Beta-511648	5,3 m slm	4380±30 BP	3036-2913 cal BC
Pecora 3	P3-180cm	Carbone	Beta-511650	3 m slm	1190±30 BP	766-898 cal AD
	P3-410cm	Carbone	Beta-511651	0,7 m slm	2950±30 BP	1236-1051 cal BC
Pecora4	P4-150cm	Carbone	Beta-511652	1,7 m slm	1020±30 BP	968-1046 cal AD
	P4-350cm	Acidi umici	Beta-511645	-0,3 m slm	2730±30 BP	930-812 cal BC
Pecora5	P5-220cm	Carbone	Beta-511647	3,8 m slm	2580±30 BP	814-750 cal BC
	P5-300cm	Acidi umici	Beta-511644	3 m slm	2610±30 BP	826-771 cal BC
	P5-560cm	Legno	Beta-511649	0,8 m slm	4450±30 BP	3139-3011 cal BC

Tabella II.18 – Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) delle carote

Le date in relazione ad ogni singola carota analizzata non mostrano evidenze di inversione cronologica, ad eccezione di 2 due datazioni rifiutate, relative alla pianura costiera del fiume Cornia, in seguito alla loro età eccezionalmente antica (Pleistocene superiore) e probabilmente dovuto a processi di rimaneggiamento e ruscellamento superficiale. L'elenco delle datazioni radiocarboniche è riportato in Tab. II.18, mentre in Tab. II.19 le datazioni, espresse solamente in età cal BC\AD, sono raggruppate secondo gli intervalli cronostratigrafici ottenuti, con enfasi particolare per le età che ricadono all'interno del periodo d'interesse del progetto nEU-Med.

II.4.4. DISCUSSIONE RISULTATI

Lo studio attuale dei caratteri litostratigrafici e di facies sedimentarie dei sondaggi eseguiti nelle due pianure costiere, nonché la loro correlazione, evidenzia chiaramente una tendenza generale, dal basso verso l'alto, al passaggio da ambienti tipicamente lagunari ad ambienti di tipo palustre/stagnante ed infine a schiettamente continentali, con l'instaurarsi di pianure alluvionali distali interessate da fenomeni di ruscellamento superficiale o locale ristagno idrico (Tav. All.1). Questo trend di tipo regressivo trova riscontri lungo la fascia costiera tirrenica, sia nell'area deltizia dei principali corsi fluviali (Rossi *et al.*, 2011; Bellotti *et al.*, 2004; Tesson *et al.*, 2005; Amorosi *et al.*, 2013a; Sarti *et al.*, 2015) sia nei sistemi lagunari (Mazzini *et al.*, 1999; De Pippo *et al.*, 2007). Trend simili sono stati inoltre osservati in altri contesti mediterranei come Spagna (Carmona & Pérez-Ballester, 2011; Carmona *et al.*, 2016), Francia (Allard *et al.*, 2009; Sabatier *et al.*, 2010) e lungo la fascia adriatica (Coltorti, 1991; Coltorti *et al.*, 1991; Calderoni *et al.*, 1996; Amorosi *et al.*, 2003; Storms *et al.*, 2008; Campo *et al.*, 2017). In questo caso, la tendenza è legata all'arrivo di sempre maggiori quantità di sedimenti da terra provenienti da diffusi fenomeni di erosione del suolo (Pieruccini *et al.*, 2018) e, per quanto riguarda gli ultimi 2 secoli, dalle opere di bonifica per colmata del territorio (Londi *et al.*, 2007).

II.4.4.1. Pleistocene superiore – Olocene inferiore

Nella fase attuale della ricerca, la mancanza di datazioni radiometriche riferibili al Pleistocene rende difficoltoso effettuare una correlazione puntuale dei dati a disposizione con quelli relativi ad altri studi. Inoltre, bisogna tenere conto che i carotaggi sono stati effettuati ad una profondità di 10 m, ovvero le profondità massime sotto il livello del mare (-slm) raggiunte sono rispettivamente di ca. -7 m per la piana costiera del Cornia (Cornia2) e ca. -6 m per la piana del Pecora (Pecora4) (Tav. All.1). Gli studi pregressi sia per l'area d'indagine (Censini *et al.*, 1991; Amorosi *et al.*, 2004; Barazzuoli *et al.*, 2008) sia nei bacini idrografici limitrofi (Rossi *et al.*,

2011; Amorosi *et al.*, 2013b) riportano tra ca. -40 e -20 m slm i depositi pleistocenici dell'Ultimo Massimo Glaciale relativi al basso stazionamento marino (Lambeck & Purcell, 2005; Jouet *et al.*, 2006; Lambeck *et al.*, 2014) comprendenti le fasi FST (*Falling System Tract*, Plint & Nummedal, 2000) e LST (*Lowstand System Tract*, Vail *et al.*, 1991). Conseguentemente le pianure costiere indagate dovevano essere caratterizzate da processi di progradazione ed aggradazione sedimentaria a carico dei corsi d'acqua (e già osservati, per il fiume Pecora nella cassa d'espansione, cfr. US2, §II.3.2.1 e v. §II.3.4.1.) strettamente collegati con le condizioni climatiche fredde e aride perdurate a lungo durante l'ultimo Pleniglaciale e responsabili di intensi ed estesi processi di degradazione fisica dei versanti (Coltorti & Dramis, 1987; Macklin *et al.*, 2002; Doğan, 2010; Maselli & Trincardi, 2013, Milli *et al.*, 2016).

Il progressivo miglioramento climatico del Tardiglaciale fino all'Olocene inferiore (Combourieu Nebout *et al.*, 2009) determina un rapido e progressivo innalzamento del livello marino. In questa fase, le facies di riempimento che vanno a colmare le valli cambiano sensibilmente, passando da facies grossolane fluviali a facies argillo-siltose arricchite di materia organica, tipiche di ambienti lagunari/palustri (Rossi *et al.*, 2011; Amorosi *et al.*, 2013b) (Tav. All.1). Questa fase, accumulata tra 13-7,8 ka BP (Tab. II.19), è correlabile rispettivamente con la fase TST (*Transgressive System Tract*) e l'inizio della fase HST (*Highstand System Tract*, Chiocci, 2000; Catuneanu *et al.*, 2009; Ridente *et al.*, 2012; Lobo & Ridente, 2013; Casalbore *et al.*, 2017). Facies schiettamente lagunari sono state identificate in entrambe le pianure costiere analizzate (Facies L) (Tav. All.1). Nella pianura costiera del Pecora questi ambienti sono presenti a partire da ca. -2,5 m slm (Pecora3 e Pecora4); tuttavia non è possibile vincolare cronologicamente questi ambienti al Pleistocene superiore in quanto non sono state effettuate datazioni radiometriche¹³. Cionostante, è plausibile ipotizzare che questi ambienti siano coevi con quelli identificati nella pianura costiera del Cornia. Infatti, per quest'area la fase HST è ben attestata nelle carote di Cornia5 (8293-8243 cal BC) e Cornia4 (7061-6796 cal BC; 6655-6590 cal BC) tra ca. -2,4/-3,4 m slm (Tab. II.19) e continua, in accordo con le stratigrafie tirreniche, fino all'Olocene medio (ca. 4 ka cal BC, Benvenuti *et al.*, 2008; Amorosi *et al.*, 2013a).

La presenza in Cornia4 di livelli sottili di paleosuoli (facies P) a ca. -3,5 m slm e ca. -5,5 m slm (Tav. All.1) testimoniano episodi di breve durata di emersione della superficie, sintomatiche di fasi di retrogradazione delle condizioni climatiche e del livello marino; questa fase è ipotizzabile sia coerente con il *Younger Dryas* (Morelli *et al.*, 2017). Ancora una volta, la mancanza di datazioni radiometriche non permette di confermare questa ipotesi, per cui

¹³ Ulteriori fasi di campionamento per datazioni radiometriche sono tutt'ora in corso d'opera.

sarebbe inoltre necessaria un'analisi approfondita dei dati pollinici e micropaleontologici, tutt'ora in fase di studio.

II.4.4.2. Olocene medio-superiore

Nella fase Olocene medio-superiore si osserva la graduale e progressiva colmata delle due pianure costiere (Tav. All.1), sebbene con modalità deposizionali e tempi diversi a seguito delle diverse caratteristiche morfologiche dei due bacini idrografici (cfr. Figg. II.35, II.37). Per quanto riguarda la pianura costiera del fiume Cornia, la successione stratigrafica è formata principalmente da facies di tipo lagunare (facies L) osservabili nelle carote di Cornia3, 4, 5 e 7, localizzate nei settori centrale ed occidentale della piana e ai limiti della laguna riportata dal Catasto Leopoldino. In termini di sequenza stratigrafica, la progradazione di questa facies sedimentaria è coerente con la fase finale della sequenza deposizionale della HST (Benvenuti *et al.*, 2008; Amorosi *et al.*, 2013a; Sarti *et al.*, 2015). Le facies di pianura alluvionale (facies F) e facies palustri (facies S) sono invece subordinate alle facies lagunari e localizzate solamente nei settori più interni della piana (Cornia1 e Cornia6) (Tav. All.1). In questa ultima carota la datazione dell'Olocene inferiore, 5217-5041 cal BC, è stata ottenuta a ca. 4,7 m slm (Tab. II.19). Questa datazione suggerisce che probabilmente già dall'Olocene inferiore i settori interni erano caratterizzati da processi di aggradazione dovuti alla divagazione del fiume Cornia all'interno della piana. A conferma di ciò, la sequenza stratigrafica della carota Cornia1, localizzata a breve distanza da Cornia6 e alla sua stessa altitudine, benché non vincolata cronostatigraficamente, riporta alternanze di facies alluvionali e facies palustri, sintomatiche di aree depresse circoscritte determinate dall'accrescimento dei depositi alluvionali. In una visione generale, l'impostazione della sequenza stratigrafica della pianura costiera del fiume Cornia rappresenta un segnale sedimentario di ambienti deposizionali strutturati e sviluppati (Miall, 1996; Catuneanu, 2006) tipico della fase HST (Chiocci, 2000; Catuneanu *et al.*, 2009; Ridente *et al.*, 2012; Lobo & Ridente, 2013; Casalbore *et al.*, 2017).

Per quanto riguarda la pianura costiera del fiume Pecora, il trend deposizionale generale nei settori interni della piana registra un ritiro della laguna (facies L) in favore dell'impostazione di ambienti di palude e stagno (facies S) (Tav. All.1). Infatti, le datazioni più antiche disponibili ad ora sono riferibili alle carote di Pecora5 (3139-3011 cal BC) e Pecora2 (3036-2913 cal BC) (Tab. II.19). Il ritiro degli ambienti lagunari nei settori interni della pianura costiera è conseguente con probabilità ai processi di progradazione relativi alle condizioni climatiche oloceniche. Infatti, la fase è concomitante con un cambiamento radicale della copertura vegetale, da

foresta decidua a prateria, registrata dai dati pollinici riferibili alla costa dell'Arno (Sarti *et al.*, 2015). Questo cambiamento è il riflesso della fine dell'*optimum* climatico olocenico (Fletcher & Sánchez Goñi, 2008; Combourieu Nebout *et al.*, 2009) e l'instaurarsi di condizioni climatiche più aride. Il trend climatico registrato nel Mediterraneo occidentale (Jalut *et al.*, 2000, 2009; Magny *et al.*, 2002) ha probabilmente determinato l'inizio della fase di progradazione sedimentaria, favorendo pertanto l'impostazione del conoide alluvionale e degli ambienti palustri. Infatti, come è possibile osservare in Fig. II.37, l'avanzamento del conoide alluvionale all'interno della pianura costiera ha determinato la regressione degli ambienti lagunari nei settori più esterni; di contro, nei settori interni l'interruzione di apporti provenienti dal mare ha comportato l'instaurarsi progressivo di ambienti palustri e di stagno. A conferma di questo, nella colonna stratigrafica di Pecora2, localizzata nel conoide alluvionale, le facies alluvionali (facies F) vanno a sostituire quelle di palude tra III-IV sec. BC (3036-2913 cal BC) (Tab. II.19) e continuano fino alla fine della sequenza stratigrafica, a cui si interpongono eventi di breve durata di facies palustri non vegetate (facies S2) (Tav. All.1). Gli ambienti di palude continuano la loro persistenza all'interno della pianura costiera per tutto l'arco cronologico Olocene medio-superiore, come confermano le datazioni nelle carote Pecora3, 4 e 5 (Tab. II.19). Tuttavia, è da riportare che a partire dall'Olocene medio si registra un cambiamento nella tipologia di facies palustre che passa da densamente vegetata (facies S1) a palude non vegetata (facies S2) (Tav. All.1) a partire dal IX-VIII sec. BC (814-750 cal BC, Pecora5) (Tab. II.19), peraltro già osservate in Pecora2 (v. sopra) benché non inquadrare cronologicamente. Questo cambiamento è coevo con le datazioni ottenute dal primo riempimento del paleoalveo del fiume Pecora all'interno della cassa d'espansione (US3, 787-471 cal BC, cfr. §II.3.2.1.). Nella fase attuale della ricerca, non è possibile stabilire le cause di questo crollo della copertura vegetale, ovvero se esso sia l'effetto di oscillazioni climatiche o sia la conseguenza dell'attività antropica. In questo senso, le analisi polliniche, tutt'ora in corso, aiuteranno a comprendere meglio le modalità di questo cambiamento.

II.4.4.3. Periodo altomedievale – Olocene tardo

La sequenza stratigrafica generale per le pianure costiere dei fiumi Cornia e Pecora, per quanto riguarda la fase tardo-olocenica/altomedievale, riporta la continuazione del trend regressivo delle facies lagunari e palustri in favore delle facies alluvionali (Tav. All.1), iniziata durante l'Olocene medio-superiore. In particolare, le fasi finali, tra X-XIV sec. AD, sono attribuibili alle operazioni di bonifica per colmata del territorio (Londi *et al.*, 2007).

Nella pianura costiera del fiume Cornia, la fase tardo-olocenica è caratterizzata principalmente da processi di colmata evidenziata dalle facies alluvionali a partire dal VI-VII sec. AD fino al XI-XIV sec. AD, sebbene localmente si osservano episodi di impaludamento di breve durata (544-657 cal AD, Cornia2, Tab. II.19). Per quanto riguarda le facies lagunari, le datazioni ottenute dalle carote localizzate ai limiti ed all'interno della laguna del Catasto Leopoldino (Cornia3, 4 e 7) confermano il trend regressivo della laguna, già osservato nelle fasi iniziali dell'Olocene superiore (Tav. All.1). L'ultima fase di attestazione della laguna è inquadrabile tra VII-IX sec. AD (685-885 cal AD, Cornia3, Tab. II.19).

Lo stesso trend regressivo, ma per le facies palustri, è osservabile anche nelle sequenze stratigrafiche delle carote riferibili alla pianura costiera del fiume Pecora (Tav. All.1). Le cronologie ottenute confermano che il passaggio da paludi vegetate (facies S1) a paludi non vegetate (facies S2), osservate nelle fasi iniziali dell'Olocene recente, inizia ad interessare gradualmente anche i settori più esterni della pianura costiera. L'ultima attestazione delle facies palustri, prima dell'instaurarsi definitivo delle facies alluvionali, è inquadrabile tra X-XI sec. AD (968-1046 cal AD, Pecora4, Tab. II.19).

II.4.5. MODELLO MORFOEVOLUTIVO GENERALE

L'integrazione dei dati di superficie con quelli di profondità ha permesso di fornire un quadro stratigrafico evolutivo nuovo delle unità di paesaggio costiere dei bacini idrografici dei fiumi Cornia e Pecora durante l'Olocene, con enfasi particolare alle ultime fasi in accordo con gli obiettivi del progetto nEU-Med.

Le cronologie della pianura costiera del Cornia suggeriscono come gli ambienti sedimentari fossero in stretto legame con la posizione e la presenza di paleoalvei del Cornia o Corniaccia (Cornia6 e Cornia8), mentre gli ambienti schiettamente lagunari inizino la loro contrazione già a partire dall'epoca romana (Cornia4 e Cornia7). Per contro, le cronologie medievali suggeriscono l'esistenza di ambienti lagunari (Cornia3) solamente in aree molto prossime a quelle già individuate come tali nel Catasto Leopoldino, mentre nella pianura prospiciente erano già installati ambienti di pianura alluvionale distale (Cornia6) e di stagni o paludi legati alle variazioni spaziali delle dinamiche fluviali.

	Età cal	Cornia 6	Cornia 2	Cornia 8	Cornia 7	Cornia 4	Cornia 5	Cornia 3	Pecora 2	Pecora 5	Pecora 3	Pecora 4
Olocene superiore	XI-XIV AD	1347-1393 AD 5,2 m slm			1155-1255 AD -0,3 m slm							
	X-XI AD											968-1046 AD 1,7 m slm
	VII-IX AD							685-885 AD -0,2 m slm			766-898 AD 3 m slm	
	VI-VII AD		544-646 AD 1,1 m slm 574-657 AD 0,9 m slm		582-660 AD -0,4 m slm			526-609 AD -0,3 m slm				
	550 BC – 250 AD				135-265 AD -0,8 m slm 547-400 BC -1,1 m slm	124-257 AD 0,5 m slm						
	1000 – 750 BC									814-750 BC 3,8 m slm 826-771 BC 3 m slm		930-812 BC -0,3 m slm
	2000-1200 BC			1427-1277 BC 1,1 m slm			1745-1611 BC 0,7 m slm				1236-1051 BC 0,7 m slm	
Olocene medio	4000-2700 BC						2910-2860 BC -0,1 m slm 3883-3797 BC -1,3 m slm 3953-3772 BC -1,8 m slm		3036-2913 BC 5,3 m slm	3139-3011 BC 0,8 m slm		
	6000-5000 BC	5217-5041 BC 4,7 m slm			4686-4504 BC -2,1 m slm			5662-5556 BC -3,2 m slm				
Olocene inferiore	7100-6500 BC					6655-6590 BC -2,4 m slm 7061-6796 BC -3,2 m slm						
	8300-8000 BC						8293-8243 BC -3,4 m slm					

Tabella II.19 – Cronologie delle carote, espresse in cal BC/AD, associate alle facies sedimentarie riconosciute (per il codice dei colori v. Fig. II.38 e cfr. #4.2) e raggruppate cronostratigraficamente

Nel settore inerente al fiume Pecora, invece, le cronologie ottenute evidenziano che gli ambienti lagunari con evidenze di scambio con il mare erano localizzati in posizione più interna rispetto alla linea di costa attuale, mentre gli ambienti marginali erano caratterizzati da abbondante vegetazione. Quest’ultimi evidenziano una progressiva contrazione in favore dell’instaurarsi di ambienti di stagni da poco a molto profondi non vegetati. In riferimento alle cronologie medievali ottenute, è possibile osservare come gli ambienti schiettamente lagunari

(Pecora3 e Pecora4) fossero già localizzati verso la costa, a più di 1 km S-SO rispetto all'insediamento di Vetricella.

II.4.5.1. Pianura costiera del Cornia

Nel settore inerente al bacino del fiume Cornia le carote più distali ai limiti lagunari del Catasto Leopoldino (Cornia1, 2, 6) evidenziano la persistenza di fasi discontinue di deposizione di facies grossolane relative ad ambienti di pianura alluvionale alternate da facies fini associabili ad ambienti palustri. L'esiguo spessore di quest'ultime facies è indicativo di fasi di breve durata. La discontinuità deposizionale è inoltre evidenziata da facies ghiaiose tipiche di ambiente fluviale, la cui associazione deve essere attribuita al corso principale del fiume Cornia, come evidenziato ulteriormente dall'analisi geomorfologica (presenza di paleoalvei). Le cronologie ottenute in questi settori indicano che questa fase continua fino al periodo medievale; tuttavia, l'impossibilità di datare porzioni più basse delle colonne stratigrafiche, a causa della mancanza di materiale adatto, impedisce ad ora ulteriori analisi.

L'attestazione più evidente di facies fluviale è riferibile alla carota Cornia8, estratta in adiacenza al sistema di cordoni dunali nell'area più ad Est della linea di costa ed in prossimità dello sbocco a mare del Fosso Corniaccia. In questo caso, la base della successione sedimentaria è formata da un deposito spesso ca. 3 m costituito quasi esclusivamente da sedimento ghiaioso di facies fluviale indicativo di un corso d'acqua di portata notevole la cui foce si apriva a Sud della laguna, nella depressione interdunale principale. La cronologia disponibile per la susseguente copertura alluvionale evidenzia che almeno a partire dal III Mill. BC questo settore della piana costiera era già emerso e non influenzato dall'ambiente di laguna.

Ambienti schiettamente lagunari sono osservabili nelle carote di Cornia3, 4, 5 e 7, localizzate ai limiti della laguna riportata dal Catasto Leopoldino nel settore occidentale della piana, e ad una profondità massima di 6 m sotto il livello del mare attuale. Le cronologie disponibili per questo ambiente coprono un range cronologico abbastanza ampio che occupa l'arco olocenico per quasi la sua interezza, dal IX Mill. BC fino al IX sec. AD; questo è indicativo che tale ambiente in quest'area fosse relativamente stabile, senza marcate oscillazioni, se non per sporadici episodi di breve durata di emersione della superficie con conseguente attivazione di processi pedogenetici (Cornia4 e Cornia7).

La fase regressiva della laguna con conseguente installazione di ambiente di piana alluvionale è attestata invece a partire dal III millennio BC (Cornia5) protraendosi fino al XII-XIII secolo AD (Cornia7). In particolare, le carote Cornia4 e 5, localizzate all'intermezzo tra le due lagune presenti nel Catasto Leopoldino, evidenziano la separazione di questi due ambienti già a partire dal III millennio BC.

II.4.5.2. Pianura costiera del Pecora

L'analisi di facies per l'area del fiume Pecora mostra come gli ambienti prettamente lagunari (facies L1, L2, L3) sono attestati a circa 1,25 m sotto il livello del mare attuale e solamente nelle carote più distali (Pecora 3, 4), mentre la presenza di un paleosuolo (facies P) formatosi su sedimenti lagunari in Pecora5, suggerisce che questo settore del paesaggio fu soggetto a marcate oscillazioni della tavola d'acqua e fasi d'emersione di lunga durata. Le sequenze stratigrafiche indicano un cambiamento dell'ambiente deposizionale con progressivo ritiro verso mare della laguna in favore di ambienti prettamente palustri. Le facies più antiche sono riferibili ad ambienti densamente vegetati (facies S1) che si estendono cronologicamente dal IV-III Mill. BC (Pecora 2, 3, 5), mentre in Pecora4, più prossima alla linea di costa, simili ambienti sembrano persistere fino al I Mill. BC. La contrazione di questi ambienti è marcata dal passaggio a paludi poco profonde e non vegetate (facies S2), evidenziato in Pecora3, 4 e 5. Purtroppo, ad ora non si hanno datazioni disponibili che possano inquadrare cronologicamente l'inizio di questa fase contrattiva. Viceversa, in Pecora5 la fase regressiva finale che delinea la successiva installazione di ambienti di pianura alluvionale (facies F3) sembra iniziare relativamente presto, dal VIII-VII sec. BC, probabilmente dovuto alla posizione prossimale della carota, pertanto influenzata maggiormente dai processi sedimentari di tipo *run-off* e fluviale. Lo stesso trend è osservabile anche in Pecora3, VIII-IX sec AD, e particolarmente in Pecora4, X-XI sec. AD. Queste datazioni sono coerenti con la cronologia del sito archeologico di Vetricella (Marasco *et al.*, 2018); pertanto è plausibile ipotizzare che durante le fasi di vita dell'insediamento, l'ambiente fisico a valle fosse interessato da aree paludose o stagni poco profondi e non vegetati, con probabile stadio iniziale dell'avanzamento della pianura alluvionale. A conferma di questo, Pecora2, localizzata sul conoide alluvionale del fiume Pecora, registra il passaggio repentino di ambiente di facies lagunare vegetata (facies S1) ad ambiente di pianura alluvionale (facies F3). Nonostante la mancanza di datazioni per le successioni più recenti, è possibile associare parte della sedimentazione più grossolana alle operazioni di bonifica medievale (Londi *et al.*, 2007).

ANNESSO II.

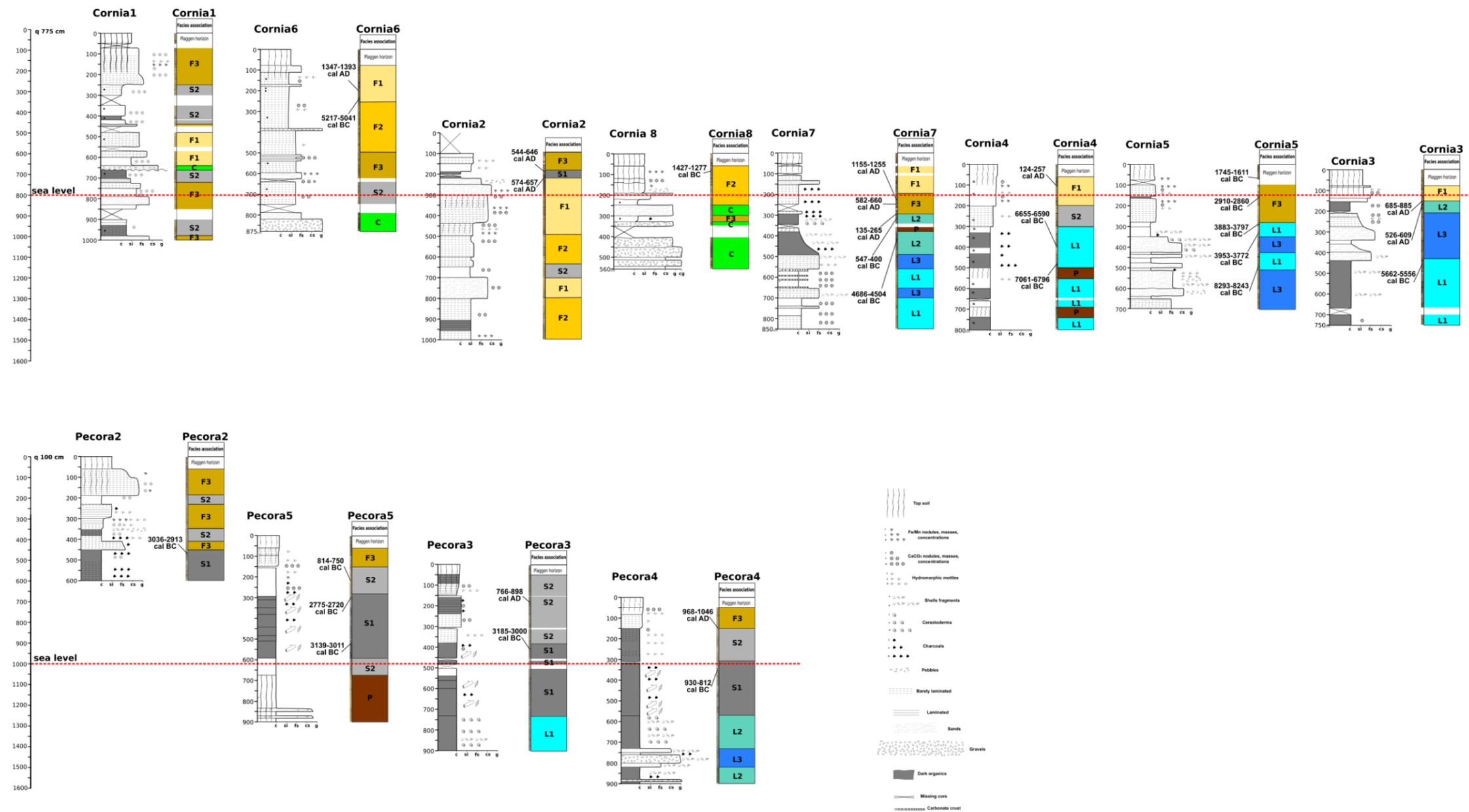


Tavola AII.1 – Ricostruzione degli ambienti deposizionali delle pianure costiere del F. Cornia (sopra) e del F. Pecora (sotto). I sondaggi sono stati organizzati in un unico transetto in relazione alla loro quota di campagna ed alla distanza dalla linea di costa attuale. Per ogni sondaggio si riporta la colonna stratigrafica (a sinistra) e le facies deposizionali corrispondenti (a destra; per la descrizione delle facies si rimanda al paragrafo II.4.2. e alla Fig. II.38) correlate con le datazioni radiometriche

SEZIONE III

MESOSCALA: CONTESTO INSEDIATIVO DEL SITO

ARCHEOLOGICO DI VETRICELLA

CAPITOLO III.1 - INTRODUZIONE

III.1.1. QUESTIONE ARCHEOLOGICA

L'assetto della rete insediativa, le modalità e le strategie di gestione territoriale in rapporto alle caratteristiche dell'ambiente e del paesaggio per il periodo storico compreso tra la tardo antichità ed il pieno Medioevo sono note finora solo in minima parte. Per l'area d'interesse nEU-Med, gli studi archeologici più sistematici condotti nel castello di Scarlino (Francovich, 1985; Francovich & Gelichi, 1988) e le ricognizioni effettuate nel corso degli anni rappresentano il termine di confronto sia per questo specifico ambito geografico sia per un ambito regionale più ampio (Valenti, 1996, Bianchi *et al.*, 2011; Ponta, 2015). Infatti, il VII sec. AD rappresenta il momento, secondo il 'Modello Toscano' (Francovich & Hodges, 2003), in cui si assiste ad un abbandono relativamente rapido delle aree di pianura a favore di un accentramento spontaneo della popolazione in nuclei insediativi d'altura, fenomeno noto in letteratura come 'incastellamento' (Farinelli, 2007). Le fonti storiche e i dati archeologici disponibili non forniscono indicazioni di una rioccupazione delle aree di pianura almeno fino al XIII-XIV sec. AD (Francovich, 1985). Tuttavia, i recenti dati provenienti dallo studio del sito archeologico di Vetricella (v. Sez. IV, Microscala, e cfr. Cap. IV.1) mostrano un quadro insediativo più complesso, con continuità di frequentazione delle aree di pianura costiera tra l'età tardo antica ed il X-XII sec. AD che, in sintesi, farebbero ipotizzare l'VII sec. AD non come un momento di totale abbandono dei precedenti sistemi insediativi ma piuttosto una fase embrionale di formazione o rioccupazione degli abitati in altura (Bianchi, 2015).

In questo ambito, il contributo della ricerca geoarcheologica ha riguardato la necessità di caratterizzare gli ambienti fisici all'intorno del sito di Vetricella per definirne gli aspetti relativi alle dinamiche superficiali (assetto idrografico superficiale, dinamiche deposizionali o erosive, presenza di aree stabilmente umide ecc.) funzionali a comprendere le possibilità di sfruttamento dell'ambiente naturale e le strategie da mettere in campo per gestire le pericolosità e i rischi ad esse associate, oltre a fornire un modello di uso del territorio.

Per indagare la presenza di depositi di origine naturale coevi al periodo d'interesse, e quindi caratterizzare l'ambiente deposizionale, l'analisi si è focalizzata nell'area circostante il sito archeologico di Vetricella, acquisendo dati sia da rilevamenti di campo sia da remoto con DTM. I risultati ottenuti sono stati infine inclusi in un modello ricostruttivo.

CAPITOLO III.2 - MATERIALI E METODI

III.2.1. ANALISI STRATIGRAFICA

Il rilevamento di campo ha riguardato l'analisi stratigrafica di 12 sezioni ottenute dall'apertura di trincee meccaniche (l'ID è identificativo sia della sezione indagata sia della trincea associata) durante la campagna di scavo archeologica 2017, con l'intento di formare dei transetti che seguissero l'andamento del paleodrenaggio riconosciuto con l'analisi geomorfologica. (Fig. III.1). L'areale d'indagine ha dovuto tenere conto dei limiti di proprietà fondiaria, ed ha interessato i settori Sud, ad una distanza massima di ca. 650 m (T1), Nord, ca. 190 m (T11), ed Ovest, ca. 130 m (T3), dal sito archeologico. Non è stato invece possibile indagare il settore Est.

Le trincee sono state scavate per mezzo di pala meccanica a profondità comprese tra ca. 1-3 m; la profondità d'indagine è stata dipendente dello spessore delle successioni sedimentarie osservate e della profondità del tetto dei depositi ghiaiosi grossolani che costituiscono il corpo principale del conoide alluvionale descritto nella cassa d'espansione lungo il F. Pecora (cfr. Sez. II, §II.3.2.1.) Le sezioni ottenute sono state georeferenziate e documentate con acquisizione fotografica digitale e disegno stratigrafico. L'analisi della successione stratigrafica è stata realizzata in termini facies secondo i principi proposti da A.D. Miall (1996). Inoltre, data la scarsa profondità dei sedimenti esposti, sono state indagate e descritte le figure e i relativi processi pedogenetici (USDA, 2014). Le caratteristiche che sono state prese in considerazione sono già state menzionate precedentemente e consultabili in Sez. II. Macroscale (v. #II.2.3).

Campioni di carboni e materia organica presente nei sedimenti (acidi umici) sono stati prelevati dai depositi con spessore maggiore (T1, T2, T3, T4, T5) per datazioni al radiocarbonio. Le sezioni sono state inoltre campionate per ulteriori analisi paleobotaniche (carboni e macroresti vegetali), e paleoambientali (pollini, ostracodi e foraminiferi). Anche in questo caso, queste analisi sono ancora in corso e non verranno quindi discusse all'interno di questo lavoro.



Figura III.1 – Localizzazione delle trincee esplorative interpolate alla griglia dei profili morfologici

III.2.2. ANALISI DA REMOTO

Date le caratteristiche topografiche dell'area, la necessità di distinguere le morfologie sia antropiche sia legate al reticolo di drenaggio ha determinato un'analisi geomorfologica di dettaglio a partire dal modello topografico di maggior risoluzione disponibile.

III.2.2.1. DTM

Il DTM derivato dal LiDAR di proprietà MATTM (cfr. Sez. II, §II.2.1.2.) è stato riclassificato tramite la funzione del *Constrained Colour Shading* (CCR). Questa tecnica di visualizzazione del DTM consiste nell'applicare ad ogni valore altimetrico un codice cromatico (su scala mono- o

policromatica) definendo il *range* altimetrico di visualizzazione settato dall'utente. L'*editing* di un intervallo di valori quota massimo e minimo permette inoltre di escludere dalla visualizzazione tutti i punti eccedenti l'intervallo stesso. La tecnica del CCR, quindi, offre particolari vantaggi per l'analisi di aree contraddistinte da bassa variabilità altimetrica, ad esempio le pianure alluvionali, massimizzando la visualizzazione degli elementi geomorfologici o anomalie. La riclassificazione cromatica è stata fatta con passo di 10 cm (Fig. III.2), escludendo dalla visualizzazione le quote topografiche superiori a 40 m, che per questo tratto sono riferibili ai versanti collinari (cfr. UPC-Ve, Sez. I. #I.2.3)¹⁴.

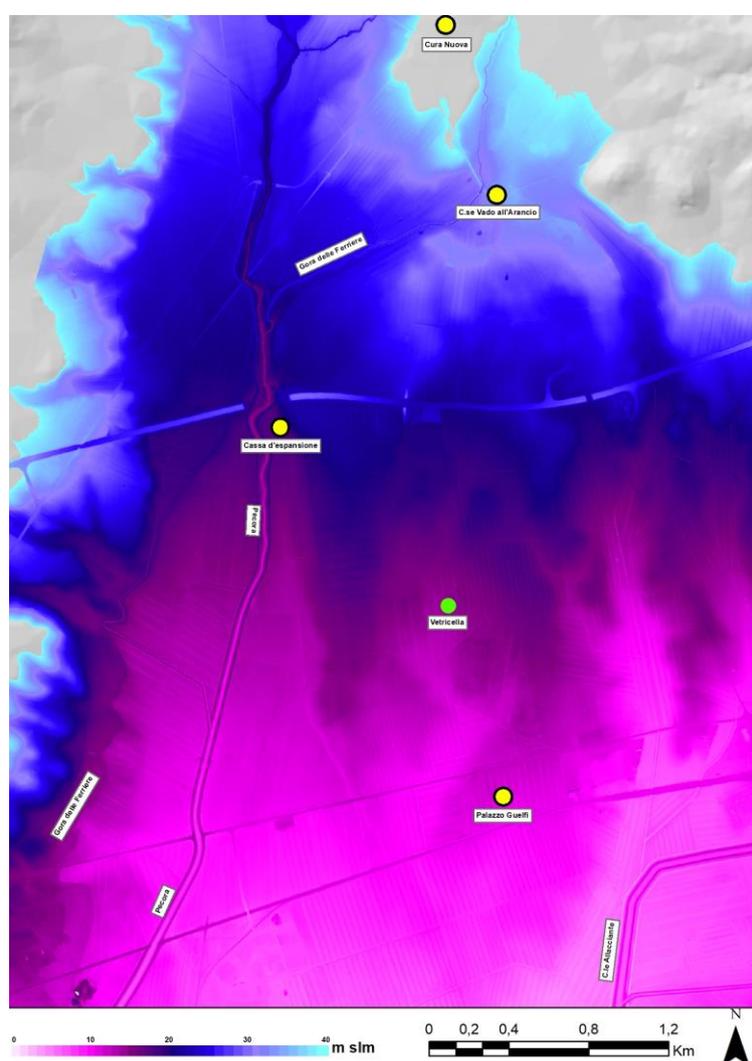


Figura III.2 – Elaborazione CCR a 10 cm dell'area d'indagine alla Mesoscala. L'elaborazione mette particolarmente in risalto la variabilità altimetrica della topografia del conoide alluvionale. Il punto verde localizza il sito archeologico di Vetricella.

¹⁴ In questo frangente, le quote escluse superiori ai 40 m includono anche il terrazzo alluvionale su cui si trova Cura Nuova, benché non sia afferente alle UP collinari.

III.2.2.2. Modellazione superficie topografica

Le piattaforme GIS e le più diffuse estensioni (TIN™, Spatial Analysis™, solo per citarne alcune) forniscono ottimi strumenti in grado di produrre dati di derivazione cartografica di tipo *raster* relativi, ad esempio, a pendenze (*Slope*), ombreggiatura dei versanti (*Hillshade*), ed esposizione (*Aspect*). Di contro, non sono altrettanto diffuse le funzionalità che elaborano i semplici profili morfologici topografici in modalità vettoriale, come invece offerto dalle piattaforme CAD o nei software dedicati alla gestione dei dati topografici.

Ottenere un set di profili topografici seriali consente di elaborare un modello di dettaglio dell'andamento della superficie topografica in 3D, che permetta di osservare e confrontare le relazioni del sito archeologico con le morfologie superficiali.

Per sopperire a queste esigenze è stato elaborato in ambiente ArcGIS™ uno specifico applicativo in due passaggi fondamentali:

- Realizzazione di una griglia di profili morfologici tramite l'utilizzo dello script ArcPy "Profile".
- Elaborazione dei profili ottenuti tramite il software di grafica vettoriale CorelDraw™.

Dal punto di vista della programmazione, lo script è stato realizzato nel 2014 da P.L. Fantozzi Fantozzi (Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università di Siena) in linguaggio Python 2.5 utilizzando le librerie ArcPy™. Le principali funzioni utilizzate dalla libreria ArcPy™ sono:

- `arcpy.InterpolateShape_3d`
- `arcpy.FeatureClassZToASCII_3d`
- `arcpy.GetCount_management`
- `cursori`
- `arcpy.CreateFishnet_management`
- `arcpy.ASCII3DToFeatureClass_3d`
- `arcpy.AddField_management`
- `arcpy.CalculateField_management`
- `arcpy.MakeQueryTable_management`
- `arcpy.SelectLayerByAttribute_management`
- `arcpy.DirectionMean_stats`

Per quanto attiene alla interfaccia, nella sessione di ArcMap (ESRI) vengono strutturati un layer contenente il DEM (*"Digital Elevation Model"*) in formato *raster* e derivato dal LiDAR originale, ed un altro layer relativo al *data input* delle "tracce" delle sezioni (Tab. III.1). Quest'ultimo dato viene disegnato avviando l'edizione dei dati e salvando le linee (ognuna delle quali si riferisce ad una diversa traccia di profilo) all'interno di un geodatabase di default. L'avvio dell'applicazione avviene lanciando l'applicativo "Profile" tramite la GUI (*Graphical User Interface*) del Python fornito con l'installazione di ArcGIS¹⁵. Durante l'esecuzione del profilo, in aggiunta, l'applicativo permette di scegliere delle opzioni di restituzione grafica, tra cui le principali sono:

- Esagerazione verticale, ovvero eventuale fattore moltiplicativo della scala verticale relativa alle quote rispetto alla scala orizzontale relativa alle distanze;
- Caratteristiche del reticolato: spaziatura delle linee che marcano l'equidistanza;
- Spaziatura tra i diversi profili e relativi reticolati.

La strutturazione della griglia da cui sono state ricavate le tracce è stata definita sulla base dalle osservazioni geomorfologiche e dall'areale complessivo occupato dalle trincee (Fig. III.1). La griglia ha una larghezza totale di 510 m ed una lunghezza di 720 m, coprendo una superficie totale di 367.200 m². Dato l'areale esteso e per ottenere una risoluzione soddisfacente della variabilità delle quote topografiche, le maglie sono state strutturate con passo di 15 m.

I tracciati vettoriali longitudinali e trasversali ottenuti sono stati importati all'interno del software grafico CorelDraw™ (Fig. III.3), dove si è proceduto inizialmente alla eliminazione delle anomalie più importanti date dalle imperfezioni del LiDAR stesso. Successivamente si è provveduto a ricostruire la griglia originale creando una prospettiva lineari con due punti di fuga, uno per i profili longitudinali, uno per quelli trasversali. Infine, i tracciati vettoriali sono stati riordinati all'interno della griglia, plottando le forme areali delle Unità di Paesaggio, ed ottenendo così una rappresentazione precisa della superficie topografica dell'areale in cui si installa il sito archeologico di Vetricella (Fig. III.3).

¹⁵ Per l'utilizzo delle funzioni di ArcPy sopra elencate è necessario disporre della abilitazione delle estensioni 3D Analyst™ e Spatial Analyst™.

	Dati	Descrizione
Input	DEM	In formato <i>raster</i> a qualsiasi risoluzione
	Polilinea	Tracciato di cui si vuole ricavare il profilo morfologico. La polilinea deve sempre essere sovrapposta a valori significativi (ovvero esclusi i "no data value") del DEM.
Output	Polilinea 'Profilo'	Tracciato relativo al profilo morfologico costruito in maniera da riferirsi lungo l'asse 'X' ai valori dell'elevazione e lungo l'asse 'Y' la distanza progressiva dal punto iniziale del tracciato
	Polilinea 'Elevazione'	Tracciato relativo ad un reticolo sovrapposto al tracciato del profilo morfologico recante per ogni elemento longitudinale (direzione O-E) il valore della elevazione rispetto al <i>datum</i> prescelto (generalmente 0 m slm)
	Layout	Ogni profilo morfologico relativo ad ogni tracciato 'in carta' viene rilasciato in modo da essere disposto in un unico layout in cui ogni profilo ed il relativo reticolato è distinto dagli altri.

Tabella III.1 – Dati Input ed Output dell'applicativo Profile

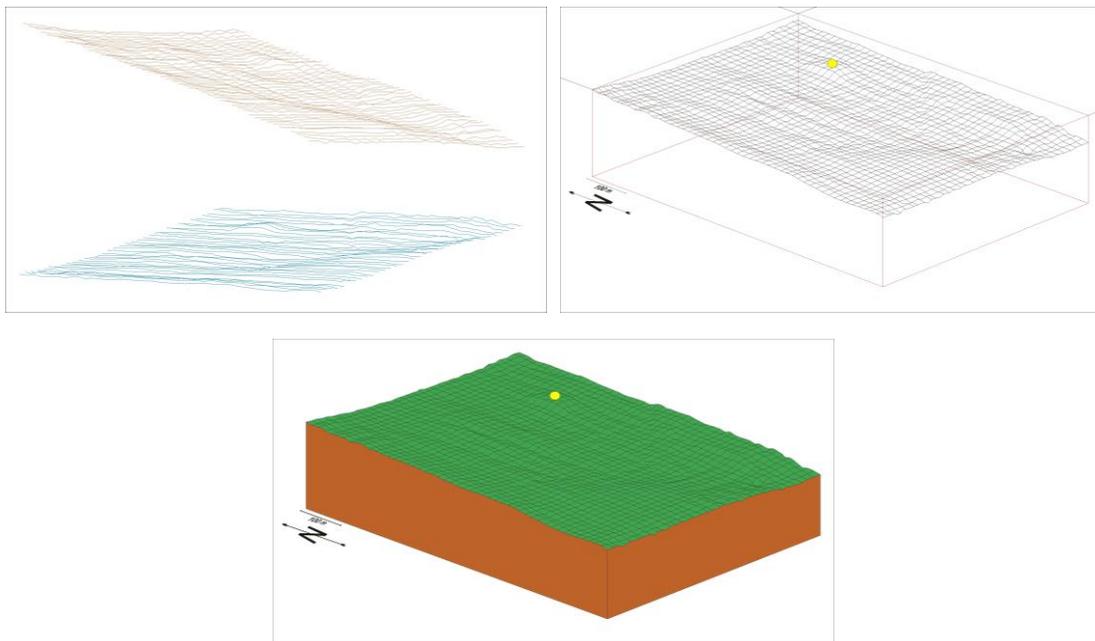
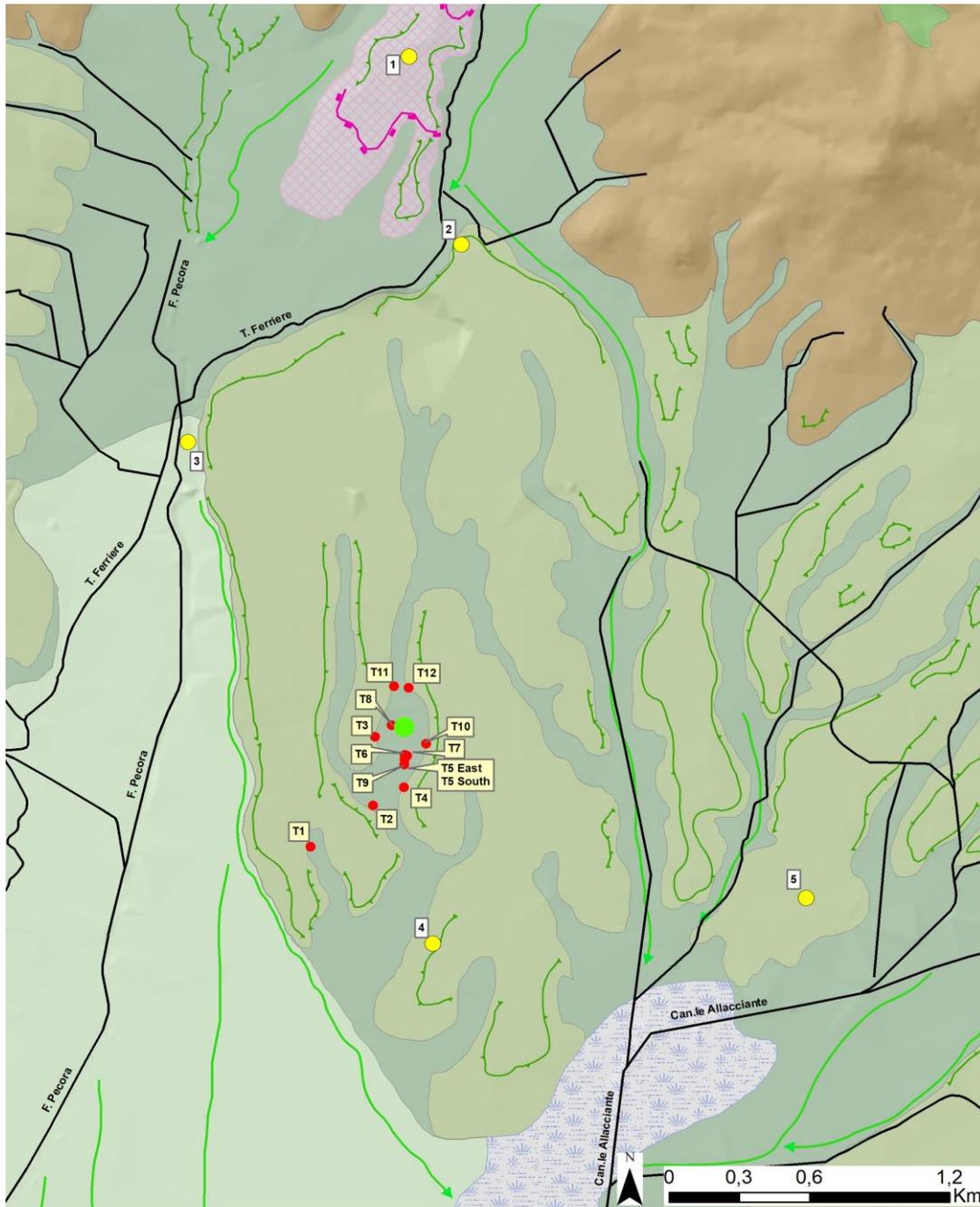


Figura III.3 – Ricostruzione della superficie topografica. **In alto a sinistra:** i tracciati longitudinali (in azzurro) e trasversali (in marrone) ottenuti dalla griglia. **In alto a destra:** ricostruzione della griglia, interpolando i tracciati longitudinali e trasversali in prospettiva. **In basso:** risultato finale del modello della superficie topografica dell'areale circostante il sito archeologico di Vetricella (punto giallo)

CAPITOLO III.3 - DATI

III.3.1. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Il conoide alluvionale (UPV-Co) su cui si imposta il sito di Vetricella si estende a partire da Case Vado all'Arancio a N, degradando verso S in direzione di Case Guelfi, per una lunghezza complessiva di ca. 4,5 km, fino ad essere seppellito dai sedimenti di pianura alluvionale costiera dell'Olocene superiore (UPCo-Pa) (Fig. III.4 e cfr. Fig. III.20). La superficie del conoide è re-incisa dal reticolo di drenaggio attuale (UPV-Pa) con un'altezza di ca. 3-4 m rispetto al fondovalle attuale. L'altezza della scarpata diminuisce progressivamente in direzione N-S in sinistra idrografica della pianura alluvionale, mentre risulta essere meno elevata lungo le vallecole che solcano la superficie del conoide stesso. Le caratteristiche sedimentologico-stratigrafiche del conoide sono state osservate e descritte all'interno della cassa d'espansione (v. Sez. II, §II.3.2.1) e risultano essere costituite da una successione prevalentemente argillosa alla base (US1) seppellita in discordanza erosiva da una successione ghiaioso-sabbiosa progredente verso Sud che costituisce il corpo del conoide (US2). Successivamente a questa fase deposizionale, di difficile attribuzione cronologica per mancanza di materiali databili, il conoide viene inciso nuovamente dal fiume Pecora, registrando la deposizione delle successioni dell'Olocene superiore (UUSS 3 e 4). Nel tratto apicale del conoide si osserva anche il paleoalveo del T. Ferriere che originariamente drenava verso S-SE a partire dal tratto immediatamente a monte di Case Vado all'Arancio, dove si individua l'ampia soglia e la vallecola sottesa (Fig. III.4). Le sistemazioni idrauliche recenti hanno successivamente deviato il corso del Torrente Ferriere in direzione del fiume Pecora attraverso una serie complessa di regimazioni con canali artificiali rialzati volti a impedire il drenaggio lungo la paleodirezione di scorrimento. Sulla superficie del conoide si osservano le evidenze del drenaggio superficiale, costituite da ampie vallecole a U o a fondo piatto che in parte drenavano verso il fiume Pecora e in parte verso la paleovalle del T. Ferriere. Il sito di Vetricella si imposta nella porzione distale del conoide terrazzato (Fig. III.5), all'interno di una di queste ampie vallecole. In particolare, il sito archeologico si trova sull'espluvio tra due linee di drenaggio che confluiscono poco a valle dello stesso. La vallecola è stata investigata attraverso l'apertura di trincee meccaniche distribuite al suo interno. In questo modo è stato possibile osservare i riempimenti delle vallecole e stabilirne le caratteristiche degli ambienti deposizionali e la cronologia della successione di eventi (Fig. III.6).



Bacino idrografico del F. Pecora

Legenda



Figura III.4 – Carta geomorfologica. Stralcio del conoide alluvionale del Pleistocene superiore all'interno del bacino idrografico del F. Pecora. Legenda: **1)** Canale artificiale o tratto di corso d'acqua artificializzato; **2)** Asse di alveo fluviale abbandonato o paleoalveo; **3)** Orlo di scarpata di erosione fluviale; **4)** Barrages CT; **5)** UPC-Ve; **6)** UPC-Va; **7)** UPV-Ct; **8)** UPV-Pa; **9)** UPV-Co; **10)** UPCo-Pc; **11)** UPCo-Pa; **12)** Localizzazione trincee meccaniche; **13)** Sito archeologico di Vetricella; **14)** Località menzionate nel testo (1 - Cura Nuova; 2 - Case Vado all'Arancio; 3 - Cassa d'espansione; 4 - Palazzo Guelfi; 5 - Scarlino Scalo)



Figura III.5 – Visuale da Scarlino del conoide alluvionale tardopleistocenico. La freccia rossa indica la localizzazione del sito archeologico di Vetricella

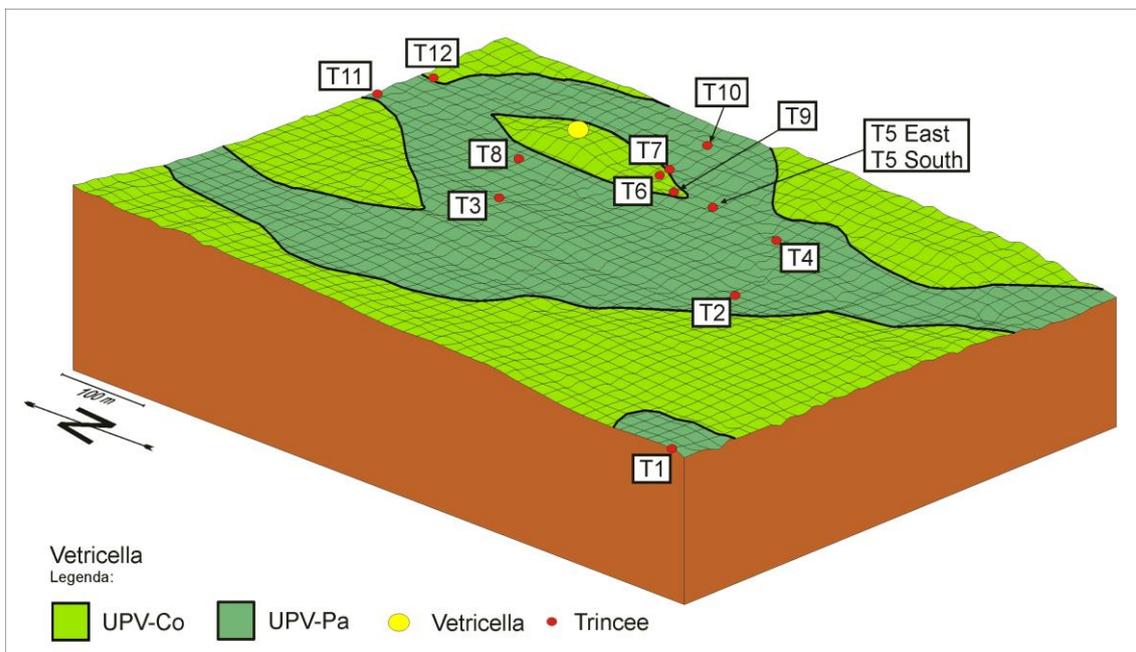


Figura III.6 – Modello della superficie topografica del conoide alluvionale tardopleistocenico con riportati i punti di apertura delle trincee meccaniche

III.3.2. TRINCEE MECCANICHE

III.3.2.1. Cronologia

In totale sono state ottenute 10 datazioni radiocarboniche sia da sedimenti organici che da frammenti di carbone. Le cronologie (Tab. III.2), non hanno evidenziato inversioni cronologiche, confermando dunque la bontà della sequenza stratigrafica analizzata. La fase sedimentaria più antica è inquadrabile alle fasi finali del Pleistocene superiore, tra ca. 16,2 ka BP e ca. 13 ka BP. La fase deposizionale olocenica non evidenzia iati cronologici importanti, ad indicare che i processi sedimentari sono stati continui. La fase olocenica iniziale è ben rappresentata da 4 datazioni, con inizio a ca 11,2 ka BP e termine a ca. 9,9 ka BP. I processi deposizionali proseguono senza interruzione per tutto l'arco dell'Olocene medio, tra ca. 8 ka BP (T2) fino a ca. 5,7 ka BP (T5), fino alle fasi iniziali dell'Olocene superiore, ca. 4 ka BP (T3).

Trincea	ID	Materiale	Cod. Lab	Profondità	Età (BP)	Età cal. (BC/AD)
T1	T1CLAY3	Acidi umici	Beta-485156	2,2 m	11210±40 BP	11201-11056 cal BC
T2	T2-M1	Acidi umici	Beta-496438	1,75 m	8020±30 BP	7061-6899 cal BC
	T2-M2	Acidi umici	Beta-485155	2,8 m	14480±40 BP	15904-15533 cal BC
T3	T3-Ck3	Acidi umici	Beta-496436	1,3 m	4070±30 BP	2695-2551 cal BC
	T3-Ck1	Acidi umici	Beta-496435	1,85 m	9940±30 BP	9459-9296 cal BC
	T3-Cg1	Acidi umici	Beta-496434	2,1 m	13030±30 BP	13846-13406 cal BC
T4	T4Bg2-1	Acidi umici	Beta-496437	1,15 m	10960±30 BP	10957-10766 cal BC
	T4Bg3-2	Acidi umici	Beta-485154	1,7 m	16240±50 BP	17873-17489 cal BC
T5sud	T5C-2	Acidi umici	Beta-485152	1,05 m	5740±30 BP	4686-4504 cal BC
	T5C-1	Acidi umici	Beta-485153	1,5 m	10160±40 BP	10082-9749 cal BC

Tabella III.2 – Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) delle trincee meccaniche

III.3.2.2. Analisi stratigrafica

Di seguito vengono riportate in forma tabellare le descrizioni delle stratigrafie osservate all'interno delle trincee meccaniche, con le descrizioni delle facies e delle caratteristiche pedologiche (Tabb. da III.3 a III.15). Nelle tabelle vengono inoltre riportate le datazioni radiocarboniche ottenute, espresse in BP (v. Tab. III.2 per il riferimento)

T1

(coordinate: 10°48'42"E, 42°56'43"N; altitudine: 13,4 m slm; distanza sito archeologico: ca. 650 m a Sud, Fig. III.7)

T1					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 40	Ap		Sabbie siltose massive, 7.5YR 5/8 (<i>strong brown</i>), scheletro scarso da grossolano a molto grossolano; abbondanti apparati radicali fini e medi; porosità abbondante da fini a grandi. Limite inferiore netto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
40 – 90	Bw	Fm	Silts argillosi, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa fine poco affermata, 7.5YR 6/6 (<i>reddish yellow</i>), scheletro molto scarso da fine a molto fine; abbondanti apparati radicali di fini; pori fini molto scarsi; screziature sottili di Fe-Mn abbondanti. Limite inferiore netto ondulato	<i>Orizzonte cambico, processi pedogenetici di breve durata</i>	
90 – 110	Ab	Sfm	Sabbie siltose, aggregazione buona e struttura poliedrica subangolosa media ben affermata, 5YR 3/4 (<i>dark reddish brown</i>), scheletro molto scarso da fine a molto fine; pori da fini a grandi abbondanti; screziature Fe-Mn 2.5 YR 4/3 (<i>reddish brown</i>) da fini a grandi. Limite inferiore sfumato ondulato	<i>Orizzonte superficiale sepolto</i>	
110 – 140	Bwb	Sfm	Sabbie siltose, aggregazione buona e struttura poliedrica subangolosa media ben affermata, 5YR 4/4 (<i>reddish brown</i>); pori medi abbondanti; abbondanti noduli e screziature di Fe-Mn da fini a medi. Limite inferiore netto	<i>Orizzonte cambico, processi pedogenetici di breve durata</i>	
140 – 190	Bgb	Sfm	Silts sabbiosi, struttura poliedrica subangolosa media ben affermata, 5YR 3/4 (<i>dark reddish brown</i>), scheletro scarso da fine a grossolano; comuni pori da medi a grandi; abbondanti screziature e patine di Fe-Mn 2.5 YR 4/3 (<i>reddish brown</i>); abbondanti figure di idromorfia, 2.5YR 6/3 (<i>light reddish brown</i>). Limite inferiore netto ondulato	<i>Orizzonte soggetto a oscillazione della falda su depositi fini di bassa energia, piana alluvionale distale o soggetta a ruscellamento superficiale</i>	
190 – 210	Bgb2	Gms	Ghiaie immerse in matrice siltoso-argillosa, massive; clasti eterometrici da fini a grossolani, da angolosi ad arrotondati; abbondanti screziature e patine rossastre di Fe-mn, 2.5YR 4/3 (<i>weak red</i>). Limite inferiore sfumato	<i>Deposizione di massa tipo mud-flows, eventi stagionali critici legati a ruscellamento superficiale diffuso. Debole alterazione dovuta all'oscillazione della falda</i>	
210-//		Fm	Argille massive e sabbie medio-fini subordinate, 2.5Y 7/2 (<i>light gray</i>);scarse screziature rossastre di Fe-Mn, 2.5YR 4/3 (<i>weak red</i>).	<i>Pianura alluvionale distale sommersa o paludi .</i>	11210±40 BP

Tabella III.3 – Trincea T1. Descrizione stratigrafica

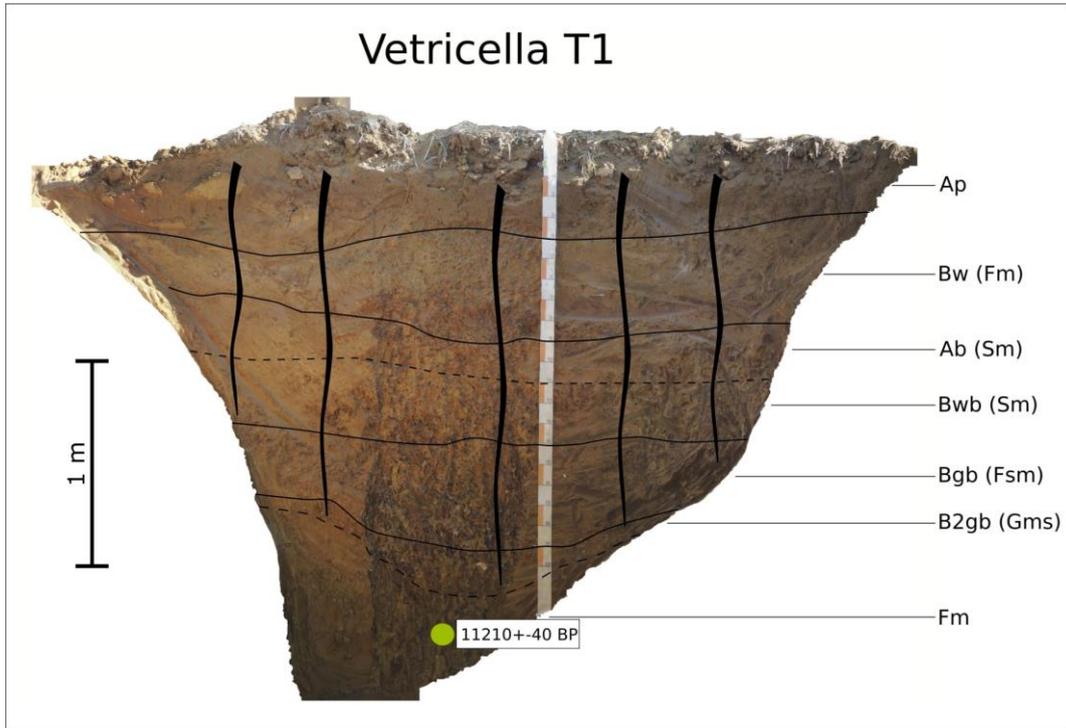


Figura III.7 – Stratigrafia Trincea T1

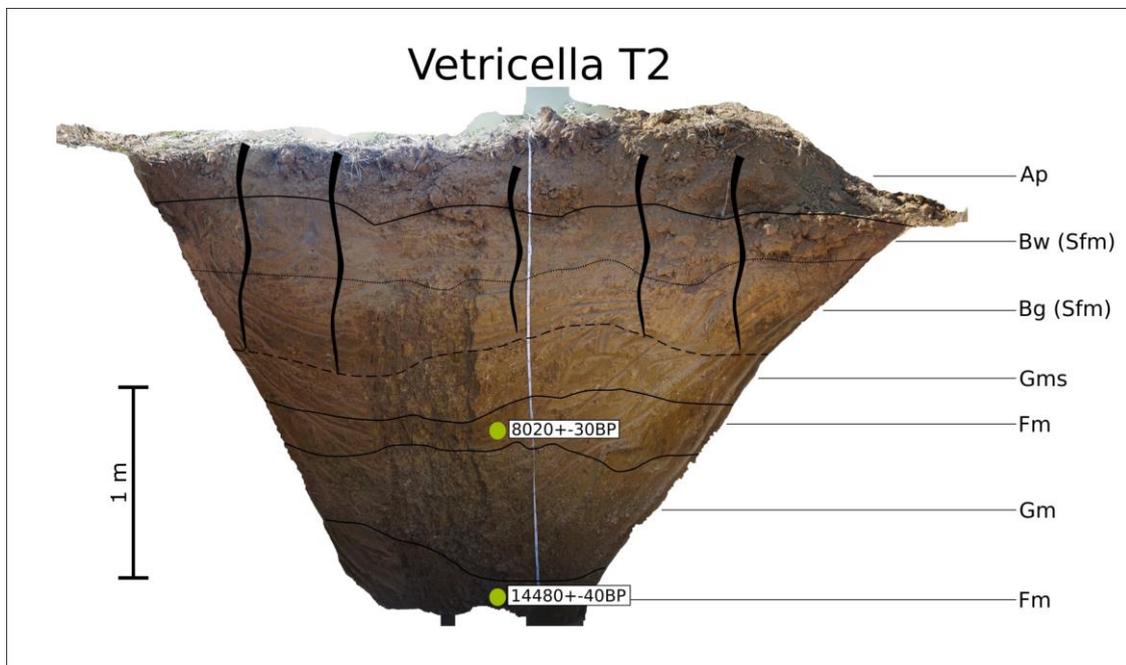


Figura III.8 – Stratigrafia Trincea T2

T2

(coordinate: 10°48'55"E, 42°56'48,5"N; altitudine: 12,5 m slm; distanza sito archeologico: ca. 371 m a Sud, Fig. III.8)

T2					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 60	Ap		Sabbie siltose, 7.5YR 5/8 (<i>strong brown</i>), scheletro molto scarso da fine a medio. Limite inferiore netto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
60 – 95	Bw	Sfm	Sabbie siltose, scheletro molto scarso fine, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa fine poco affermata, 10YR 5/2 (<i>grayish brown</i>); scarsi pori da fini a grandi. Limite inferiore sfumato ondulato	<i>Pianura alluvionale distale soggetta a ruscellamento superficiale occasionale.</i>	
95 – 130	Bg	Sfm	Sabbie siltose, aggregazione debole o assente, struttura massiva, 10YR 4/4 (<i>dark yellowish brown</i>), scheletro molto scarso fine; scarsi apparati radicali fini; rari pori da fini a medi; abbondanti screziature rossastre di Fe-Mn, 2.5YR 3/6 (<i>dark red</i>); scarse figure di deplezione. Limite inferiore graduale ondulato	<i>Pianura alluvionale distale soggetta a ruscellamento. Fenomeni di oscillazione della falda</i>	
130 – 160		Gms	Ghiaie da fini a medie da arrotondate a subangolose immerse in matrice siltoso-argillosa; scarse screziature rossastre di Fe-Mn, 2.5YR 4/3 (<i>weak red</i>). Limite inferiore netto ondulato	<i>Deposizione di massa tipo mud-flows, eventi stagionali o critici legati a ruscellamento superficiale diffuso</i>	
160 – 190		Fm	Argille siltose, bioturbate, con laminazioni molto deboli; scheletro sabbioso fine raro, 2.5Y 5/3 (<i>light olive brown</i>); abbondanti screziature rossastre di Fe-Mn, 2.5YR 3/6 (<i>dark red</i>). Limite inferiore netto ondulato	<i>Pianura alluvionale distale periodicamente sommersa e stagni con scarso apporto da ruscellamento.</i>	8020±30 BP
190 – 260		Gm	Ghiaie eterometriche, da fini a grossolane, subangolose con scarsa matrice argillo-siltosa. Limite inferiore netto ondulato	<i>Flusso canalizzato con deposizione massiva, eventi critici legati a ruscellamento superficiale concentrato</i>	
260 – //		Fm	Argille massive con scheletro sabbioso fine molto raro, 2.5Y 6/2 (<i>light brownish gray</i>); comuni screziature rossastre di Fe-Mn, 2.5YR 3/6 (<i>dark red</i>)	<i>Pianura alluvionale periodicamente sommersa o stagni con scarso apporto da ruscellamento</i>	14480±40 BP

Tabella III.4 – Trincea T2. Descrizione stratigrafica

T3

(coordinate: 10°48'55,5"E, 42°56'58"N; altitudine: 14 m slm; distanza sito archeologico: ca. 131 m a Ovest, Fig. III.9)

T3					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 70	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa grossolana poco affermata, 7.5YR 5/8 (<i>strong brown</i>); raro scheletro da fine a grossolano; scarsi apparati radicali fini; abbondanti pori da grandi a medi. Limite inferiore netto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
70 – 110	Bgw	Sfm	Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa fine poco affermata, 10YR 5/2 (<i>grayish brown</i>), scheletro fine molto scarso; scarsi pori da fini a grandi. Limite inferiore sfumato ondulato	<i>Pianura alluvionale distale soggetta a fenomeni di ruscellamento superficiale. Debole alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale</i>	
110 – 200	C	Fm	Silts argillosi massivi, 2.5Y 5/1 (<i>reddish gray</i>); pori fini molto scarsi. Limite inferiore sfumato ondulato	<i>Pianura alluvionale distale sommersa o stagno. Debole alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale</i>	4070±30 BP 9940±30 BP
200 – 250	Cg	Fm	Argille siltose massive, 2.5Y 6/1 (<i>reddish gray</i>); comuni screziature rossastre e scarsi noduli di Fe-Mn, 2.5YR 4/2 (<i>weak red</i>). Limite inferiore netto	<i>Pianura alluvionale distale sommersa o stagno o di palude prossimale. Debole alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale</i>	13030±40 BP
250 – 260		Gms	Ghiaie medie da angolose a subangolose, immerse in matrice argillosa-siltosa. Limite inferiore netto ondulato	<i>Deposizione di massa tipo mud-flow, eventi stagionali o critici legati a ruscellamento superficiale diffuso</i>	
260 – //		Gms	Ghiaie eterometriche, da fini a medie, da arrotondate a subangolose, molto addensate; abbondanti rivestimenti bruno-rossastri sulla superficie dei clasti.	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.5 – Trincea T3. Descrizione stratigrafica

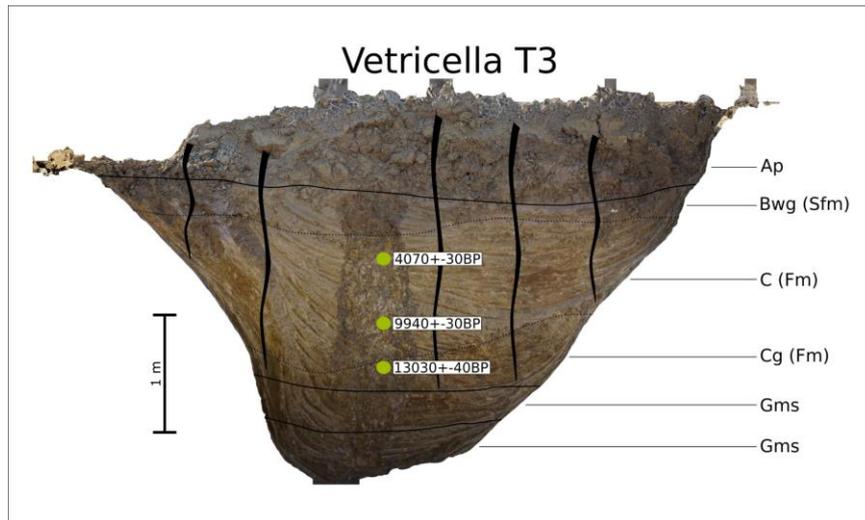


Figura III.9 – Stratigrafia Trincea T3

T4

(coordinate: 10°49'1"E, 42°56'51"N; altitudine: 13 m slm; distanza sito archeologico: ca. 263 m a Sud, Fig. III.10).

T4						
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)	
0 – 25	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa grande poco affermata, 10YR 3/3 (<i>dark brown</i>); scarso scheletro da fine a medio; comuni pori da fini a medi. Limite inferiore netto ondulado	Orizzonte di aratura parzialmente troncato		
25 – 70	Bg1	Fm	Silts argillosi, aggregazione debole e struttura prismatica media poco affermata, 10YR 4/2 (<i>dark graysh brown</i>); scarsi pori da fini a grandi; abbondanti masse e concentrazioni di Fe-Mn, 2.5YR 3/6 (<i>dark red</i>). Limite inferiore netto ondulado	Pianura alluvionale periodicamente sommersa con scarsi fenomeni di ruscellamento superficiale. Debole alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale		
70 – 130	Bg2	Fm	Silts argillosi massivi, 10YR 5/1 (<i>gray</i>); scarsi noduli di CaCO ₃ da grandi e medi; abbondanti screziature di Fe-Mn, 7.5YR 5/8 (<i>strong brown</i>); comuni noduli di Fe-Mn da piccoli a grandi, 2.5YR 3/6 (<i>dark red</i>). Limite inferiore sfumato	Pianura alluvionale distale periodicamente sommersa. Debole alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale	10960±30 cal BP	
130-//	Bg3	Fm	Argille siltose massive, GLEY2 5/5B (<i>bluish gray</i>); scarse masse e concrezioni di CaCO ₃ da medie grandi; comuni screziature di Fe-Mn, 7.5YR 5/6 (<i>strong brown</i>); scarse masse cementate da medie e grandi di Fe-Mn.	Pianura alluvionale distale periodicamente sommersa. Debole alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale	16240±50 cal BP	

Tabella III.6 – Trincea T4. Descrizione stratigrafica

Vetricella T4

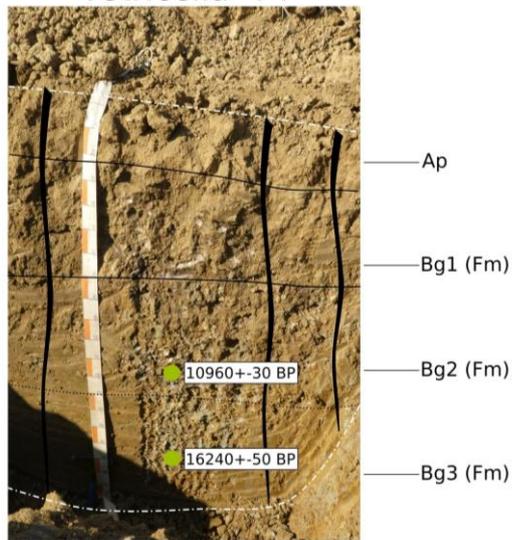


Figura III.10 – Stratigrafia Trincea T4

Vetricella T5 Sud

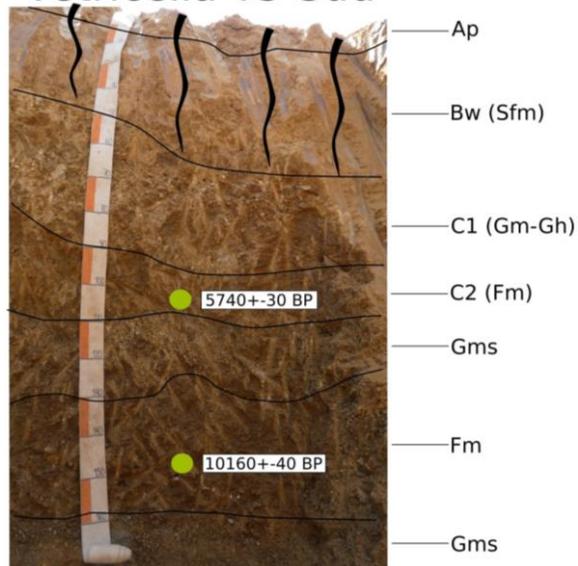


Figura III.11 – Stratigrafia Trincea T5 Sud

T5 Sud

(coordinate: 10°49'1"E, 42°56'54"N; altitudine: 13 m slm; distanza sito archeologico: ca. 168 m a Sud, Fig. III.11).

T5 Sud					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 15	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa fine poco affermata, 10YR3/3 (<i>dark brown</i>). Limite inferiore netto ondulado	<i>Orizzonte di aratura. Superficie topografica troncata</i>	
15 – 50	Bw	Sfm	Sabbie siltose massive, scheletro fine scarso. Limite inferiore netto ondulado	<i>Orizzonte cambico relazionabile al suolo attuale</i>	
50 – 90	C1	Gm-Gh	Ghiaie eterometriche, da fini a grossolane, da subarrotondate a subangolose, massive o deboli stratificazioni piano parallele. Limite inferiore netto ondulado	<i>Flussi canalizzati con deposizione massiva, eventi critici legati a ruscellamento superficiale concentrato. Deboli alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale</i>	
90 – 110	C2	Fm	Argille siltose, struttura granulare poco affermata, 10YR 4/2 (<i>dark grayish brown</i>), comune scheletro fine da arrotondato a subarrotondato; comuni pori da fini a grandi; abbondanti screziature giallastre, 10YR 6/6 (<i>brownish yellow</i>). Limite inferiore netto ondulado	<i>Pianura alluvionale distale periodicamente sommersa o stagni intermittenti</i>	5740±30 cal BP
110 – 130		Gms	Ghiaie fini ben selezionate da arrotondate a subarrotondate immerse in matrice argillosa, 10YR 5/8 (<i>yellowish brown</i>); comuni screziature giallastre, 10YR 6/6 (<i>yellowish brown</i>). Limite inferiore netto ondulado.	<i>Deposizione di massa tipo mud-flows, eventi stagionali o critici legati a ruscellamento superficiale diffuso</i>	
130 – 160		Fm	Argille siltose, struttura granulare poco affermata, 7,5YR 3/4 (<i>dark brown</i>), comune scheletro fine da arrotondato a subarrotondato; comuni pori da fini a grandi; abbondanti screziature, 10YR 6/6 (<i>yellowish brown</i>). Limite inferiore netto ondulado	<i>Pianura alluvionale periodicamente sommersa</i>	10160±40 cal BP
160 – //		Gms	Ghiaie eterometriche, da fini a medie, molto addensate da arrotondate a subangolose, scarsa matrice sabbioso-siltosa; superfici dei clasti con rivestimenti bruno-rossastri	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.7 – Trincea T5 Sud. Descrizione stratigrafica

T5 Est

(coordinate: 10°49'1"E, 42°56'54"N; altitudine: 13 m slm; distanza sito archeologico: ca. 168 m a Sud, Fig. III.12).

T5 Est					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 15	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa grossolana, 10YR 3/3 (<i>dark brown</i>); scarsi pori piccoli e medi. Limite inferiore netto ondulato	<i>Orizzonte di aratura. Superficie topografica troncata</i>	
15 – 60	Bw	Sfm	Sabbie siltose, massive, scarso scheletro fine, 10YR 5/3 (<i>brown</i>). Limite inferiore netto ondulato	<i>Orizzonte cambico relazionabile al suolo attuale</i>	
60 – 150	C	Gm-Gt	Ghiaie eterometriche da fini a grossolane da subarrotondate a subangolose, massive, o con debole stratificazione incrociata a truogolo e sottili lenti sabbiose. Limite inferiore netto ondulato	<i>Flussi canalizzati con deposizione massiva, eventi critici legati a ruscellamento superficiale concentrato. Debole alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale</i>	
150 – //		Gms	Ghiaie eterometriche molto addensate da arrotondate a subangolose, scarsa matrice sabbioso-siltosa; superfici dei clasti con rivestimenti bruno-rossastri	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.8 – Trincea T5 Est. Descrizione stratigrafica

Vetricella T5 Est

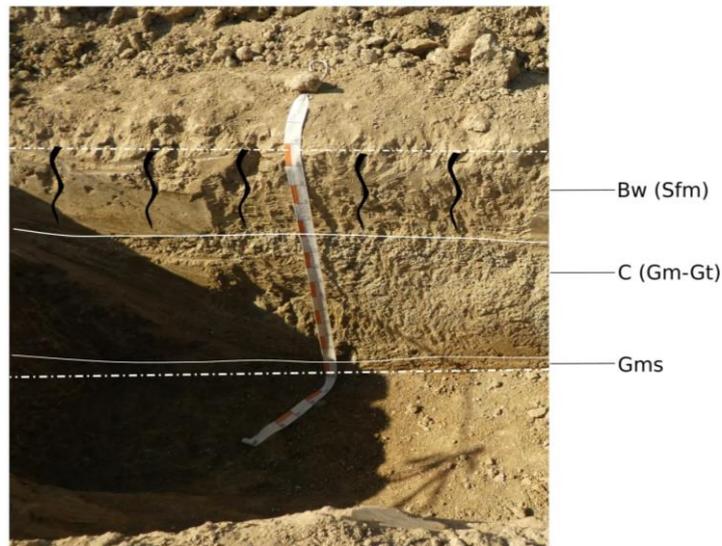


Figura III.12 – Stratigrafia Trincea T5 Est. L'orizzonte Ap è stato asportato dalle operazioni di scavo

T6

(coordinate: 10°49'1"E, 42°56'55,5"N; altitudine: 13 m slm; distanza sito archeologico: ca. 125 m a Sud, Fig. III.13).

T6					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 50	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa grossolana, 10YR 3/3 (<i>dark brown</i>); abbondante scheletro ghiaioso grossolano. Limite inferiore netto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
50 – //		Gms	Ghiaie eterometriche, da fini a medie, molto addensate da arrotondate a subangolose, scarsa matrice sabbioso-siltosa; superfici dei clasti con rivestimenti bruno-rossastri	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.9 – Trincea T6. Descrizione stratigrafica

Vetricella T6

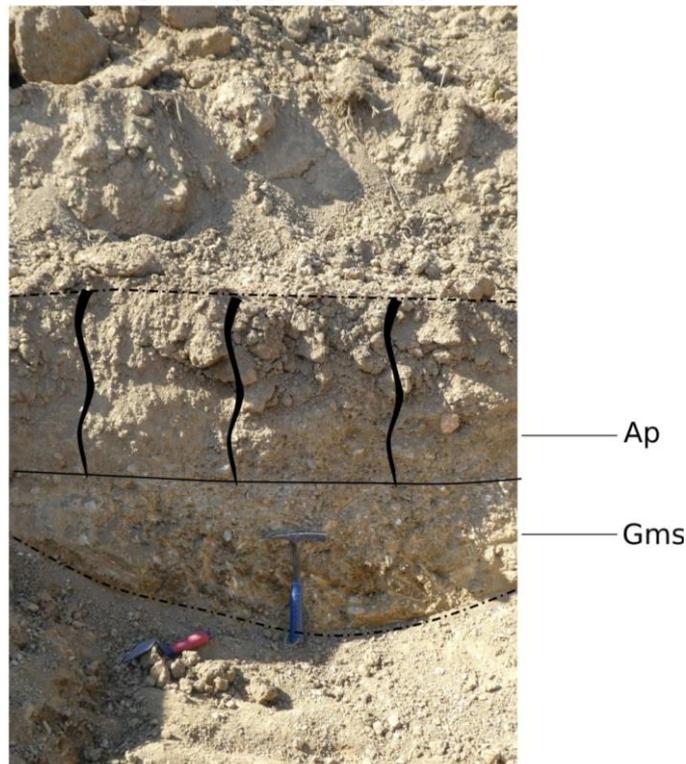


Figura III.13 – Stratigrafia Trincea T6

T7

(coordinate: 10°49'1,5"E, 42°56'55,5"N; altitudine: 13,3 m slm; distanza sito archeologico: ca. 127 m a Sud, Fig. III.14).

T7					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 50	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa grossolana poco affermata, 10YR 3/3 (<i>dark brown</i>); abbondante scheletro ghiaioso grossolano. Limite inferiore netto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
50 – //		Gms	Ghiaie eterometriche, da fini a medie, molto addensate da arrotondate a subangolose, scarsa matrice sabbioso-siltosa; superfici dei clasti con rivestimenti bruno-rossastri	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.10 – Trincea T7. Descrizione stratigrafica

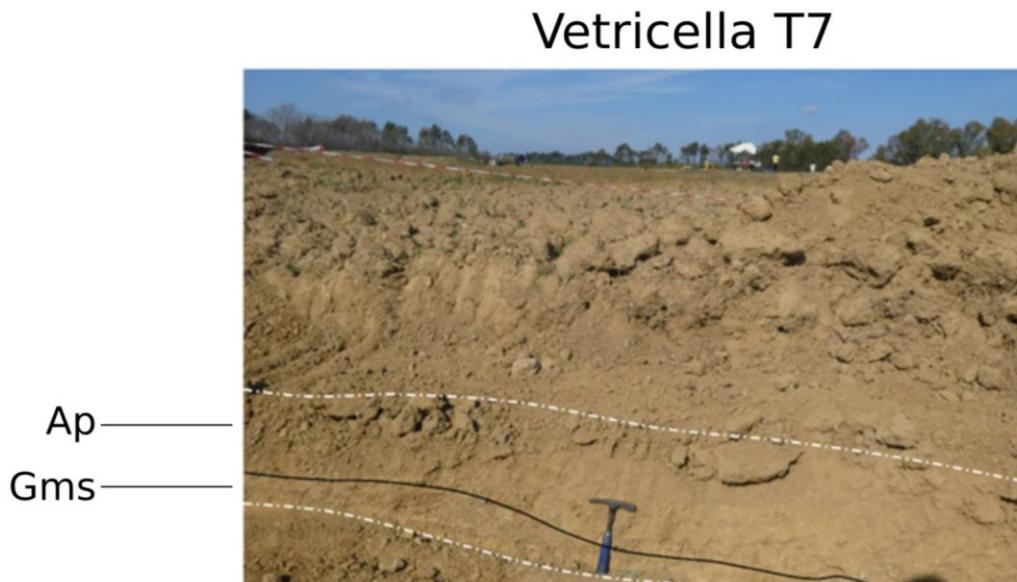


Figura III.14 – Stratigrafia Trincea T7

T8

(coordinate: 10°48'58,7"E, 42°56'56"N; altitudine: 14 m slm; distanza sito archeologico: ca. 56 m a Ovest, Fig. III.15).

T8					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 20	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica subangolosa grossolana poco affermata, 7.5YR 5/2 (<i>brown</i>); scheletro da fine a molto grossolano molto scarso. Limite inferiore abrupto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
20 – 40	Bw1	Fm	Silts argillosi, struttura poliedrica subangolosa media ben sviluppata, 10YR 3/2 (<i>very dark grayish brown</i>); scheletro fine molto scarso; abbondanti pori da fini a grandi; rari apparati radicali fini. Limite inferiore sfumato ondulato	<i>Orizzonte cambio relazionabile al suolo attuale</i>	
40 – 55	Bw2	Fm	Silts argillosi, struttura poliedrica subangolosa poco affermata, 10YR 4/3 (<i>brown</i>); scarso scheletro fine; abbondanti pori da fini a grandi; rari apparati radicali fini; scarse screziature 10YR 6/8 (<i>brownish yellow</i>). Limite inferiore sfumato ondulato	<i>Pianura alluvionale distale periodicamente sommersa. Debole alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale</i>	
55 – 85	Bw3	Fm	Silts argillosi, struttura poliedrica subangolosa fine poco affermata, 10YR 4/6 (<i>dark yellowish brown</i>); scarso scheletro fine; abbondanti pori da fini a grandi; scarse screziature giallastre 10YR 6/8 (<i>brownish yellow</i>). Limite inferiore sfumato ondulato	<i>Pianura alluvionale distale periodicamente sommersa. Debole alterazione pedogenetica relazionabile al suolo attuale</i>	
85 – 125	C	Fm	Argille siltose massive, 10YR 5/6 (<i>yellowish brown</i>); scheletro fine molto scarso; abbondanti pori molto grandi. Limite inferiore netto ondulato	<i>Pianura alluvionale distale sommersa e stagni poco profondi</i>	
125 – //		Gms	Ghiaie eterometriche, da fini a medie, molto addensate da arrotondate a subangolose, scarsa matrice sabbioso-siltosa; superfici dei clasti con rivestimenti bruno-rossastri	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.11 – Trincea T8. Descrizione stratigrafica

Vetricella T8



Figura III.15 – Stratigrafia Trincea T8

T9

(coordinate: 10°49'1"E, 42°56'55"N; altitudine: 13,1 m slm; distanza da sito archeologico: ca 140 m a Sud, Fig. III.16).

T9					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 60	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica grossolana, 10YR 3/3 (<i>dark brown</i>); scarso scheletro da fine a grossolano. Limite inferiore abrupto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
60 – //		Gms	Ghiaie eterometriche, da fini a medie, molto addensate da arrotondate a subangolose, scarsa matrice sabbioso-siltosa; superfici dei clasti con rivestimenti bruno-rossastri	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.12 – Trincea T9. Descrizione stratigrafica

Vetricella T9



Figura III.16 – Stratigrafia Trincea T9

T10

(coordinate: 10°49'5"E, 42°56'57,1"N; altitudine: 14,2 m slm; distanza da sito archeologico: ca 120 m a S-SE, Fig. III.17).

T10					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 45	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica grossolana, 10YR 3/3 (<i>dark brown</i>); scarso scheletro da fine a grossolano. Limite inferiore abrupto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
45 – //		Gms	Ghiaie eterometriche, da fini a medie, molto addensate da arrotondate a subangolose, scarsa matrice sabbioso-siltosa; superfici dei clasti con rivestimenti bruno-rossastri	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.13 – Trincea T10. Descrizione stratigrafica

Vetricella T10



Figura III.17 – Stratigrafia Trincea T10

T11

(coordinate: 10°48'59,2"E, 42°57'5,5"N; altitudine: 15 m slm; distanza da sito archeologico: ca 187 m a Nord, Fig. III.18).

T11					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 40	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica grossolana, 10YR 3/3 (<i>dark brown</i>); scarso scheletro da fine a grossolano. Limite inferiore abrupto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
40 – 80	Bw	Sfm	Sabbie siltose, struttura poliedrica subangolosa media poco affermata, 10YR 3/2 (<i>very dark greyish brown</i>); scheletro fine scarso; pori fini scarsi. Limite inferiore ondulato	<i>Orizzonte cambico relazionabile al suolo attuale</i>	
80 – //		Gms	Ghiaie eterometriche, da fini a medie, molto addensate da arrotondate a subangolose, scarsa matrice sabbioso-siltosa; superfici dei clasti con rivestimenti bruno-rossastri	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.14 – Trincea T11. Descrizione stratigrafica

Vetricella T11

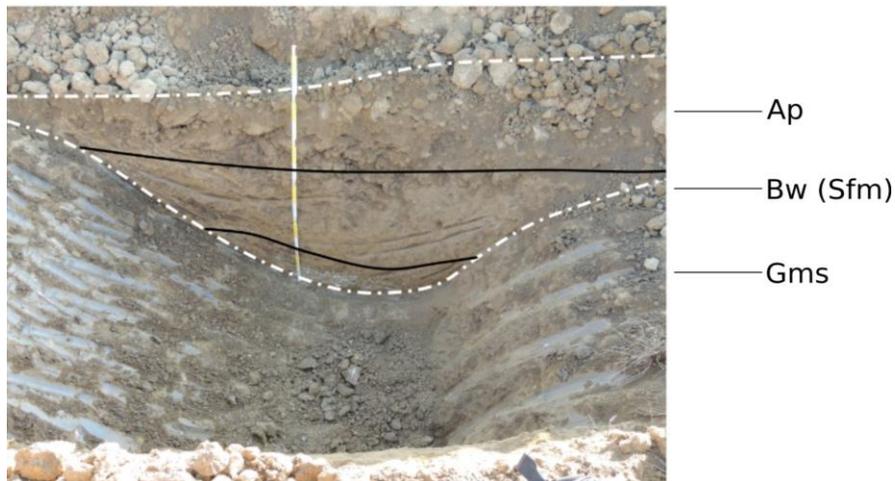


Figura III.18 – Stratigrafia Trincea T11

T12

(coordinate: 10°49'2"E, 42°57'5,2"N; altitudine: 14,7 m slm; distanza da sito archeologico: ca 173 m a Nord, Fig. III.19).

T12					
Profondità (cm)	Orizzonte	Facies	Descrizione	Interpretazione	Età (BP)
0 – 45	Ap		Sabbie siltose, aggregazione debole e struttura poliedrica grossolana, 10YR 3/3 (<i>dark brown</i>); scarso scheletro da fine a grossolano. Limite inferiore abrupto ondulato	<i>Orizzonte di aratura</i>	
45 – //		Gms	Ghiaie eterometriche, da fini a medie, molto addensate da arrotondate a subangolose, scarsa matrice sabbioso-siltosa; superfici dei clasti con rivestimenti bruno-rossastri	<i>Depositi di conoide alluvionale</i>	

Tabella III.15 – Trincea T12. Descrizione stratigrafica

Vetricella T12

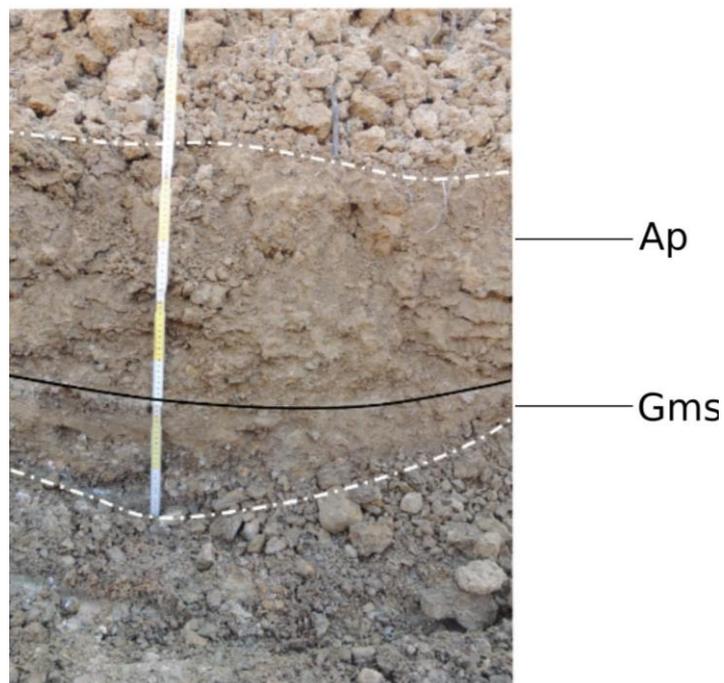


Figura III.19 – Stratigrafia Trincea T12

CAPITOLO III.4 - DISCUSSIONE RISULTATI

III.4.1. MODELLO MORFOEVOLUTIVO

L'analisi stratigrafica delle trincee meccaniche mostra come le facies sedimentarie siano ben preservate e scarsamente alterate da processi pedogenetici di breve durata, con formazione di orizzonti cambici sub-superficiali relativi ad un inceptisuolo poco evoluto (USDA, 2014), nonché da processi di migrazione di ossidi di Fe-Mn e CaCO₃. Le cronologie ottenute (Tab. III.16) evidenziano come i processi deposizionali del record sedimentario iniziano nel Pleistocene superiore e continuano fino alle fasi iniziali dell'Olocene superiore, senza discordanze erosive importanti. La fase olocenica è ben rappresentata cronologicamente nella fase più antica (Olocene inferiore) ma poco rappresentata nelle fasi medio-finali (Olocene medio e superiore). È bene precisare che per la Mesoscala, a differenza della Macroscala e della Microscala, le datazioni discusse in Tab. III.16 sono espresse in età BP non calibrate, anziché in età cal. BC/AD. Questa decisione è stata presa sia perché non sono state ottenute cronologie altomedievali sia per avere un confronto diretto con la recente ripartizione dell'Olocene (cfr. #I.1.) nei tre nuovi stadi (Walker *et al.*, 2012; 2018).

L'incrocio dei dati ottenuti dalle osservazioni geomorfologica e dall'analisi di facies del record sedimentario ha quindi permesso di elaborare un modello delle dinamiche morfoevolutive del conoide alluvionale durante le fasi tardopleistoceniche-oloceniche.

Età	Sezione				
	T1	T2	T3	T4	T5
Olocene sup.			4070±30 BP		
Olocene medio		8020±30 BP			5740±30 BP
Olocene inf.	11210±40 BP		9940±30 BP	10960±30 BP	10160±40BP
Pleistocene sup.		14480±40 BP	13030±40 BP	16240±50 BP	
Pleistocene sup.					

Tabella III.16 – Cronologie espresse in età BP non calibrata delle facies di riempimento delle vallecicole raggruppate cronostatigraficamente

III.4.1.1. Pleistocene Superiore – Olocene inferiore

Le cronologie disponibili collocano l'inizio del record sedimentario all'interno delle vallecole in un arco cronologico compreso tra ca. 16,2–13 ka BP (Tab. II.16). Questo suggerisce, quindi, che l'installazione di questi ambienti inizia nelle fasi finali dell'LGM e nelle primissime fasi della TST, già menzionata nel capitolo di discussione dei dati delle pianure costiere (v. Cap. II.4 e cfr. #II.4.4.). Il progressivo innalzamento del livello marino ed il miglioramento climatico, con aumento della copertura vegetale (Magri & Sadori, 1999; Drescher-Schneider *et al.*, 2007), hanno determinato l'interruzione dei processi di aggradazione delle conoidi alluvionali e l'inizio dei processi di incisione (Fontana *et al.*, 2008). Stratigraficamente, dunque, queste datazioni forniscono un'ulteriore conferma che la deposizione principale del corpo sedimentario del conoide alluvionale deve essere avvenuta in piena fase di basso stazionamento marino dell'LGM (Lambeck & Purcell, 2005; Jouet *et al.*, 2006; Lambeck *et al.*, 2014), come già ipotizzato per la stratigrafia della cassa d'espansione (cfr. §II.3.4.2.). Le facies di riempimento (in azzurro, Figg. III.20-21), formate da sedimenti argillo-siltosi massivi (Fm), sono indicative di ambienti deposizionali con scarsa energia idraulica, la cui sedimentazione è avvenuta prevalentemente per decantazione. L'associazione di facies, quindi, è tipica di ambienti di pianura alluvionale inondabile o ambienti palustri/stagnanti (Miall, 1996). L'espressione migliore di questi ambienti è osservabile nelle porzioni a valle del sito archeologico di Vetricella (T2 e T4, possibilmente T1), mentre è poco affermata nelle porzioni ad Ovest (T3) ed assente nelle porzioni a monte.

Le cronologie che marcano il passaggio Pleistocene superiore – Olocene inferiore (da 11,4 ka BP a ca. 10 ka BP, Tab. II.16) non evidenziano iati rilevanti, suggerendo quindi una sedimentazione continua. Anche dal punto di vista sedimentario (in rosso, Figg. III.20-21), le facies osservate non mostrano cambiamenti abrupti degli ambienti deposizionali. Tuttavia, associate ad esse, si osservano facies con granulometria leggermente più grossolana, sabbiosa-siltosa (Sfm), sintomatiche di un passaggio graduale ad ambienti deposizionali tendenzialmente di pianura alluvionale distale che continuano per tutto l'Olocene medio-superiore. Tali ambienti erano soggetti localmente ad input di sedimenti più grossolani, ghiaiosi fini, massivi con stratificazione incrociata a truogolo (Gm-Gt, cfr. T5 Est) indicativi di fasi di ruscellamento concentrato, di tipo *mud- debris-flow* (Miall, 1996) e legate verosimilmente a fenomeni critici stagionali.

L'assenza di discordanze erosive e l'omogeneità delle facies sedimentarie suggeriscono l'ipotesi che il drenaggio del fiume Pecora fosse già localizzato in destra orografica durante la

fase finale del Pleistocene superiore e la superficie topografica del conoide alluvionale fosse relativamente stabilizzata (Figg. III.20-21).

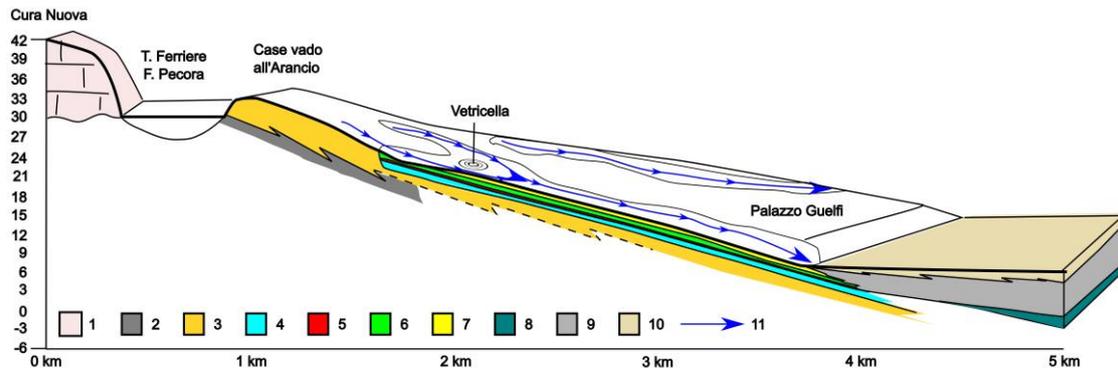


Figura III.20 – Ricostruzione delle dinamiche sedimentarie del conoide alluvionale rapportato con il paleoalveo del F. Pecora e le facies sedimentarie della pianura costiera. Legenda: **1**) CT; **2**) sedimenti di US1 (cfr. cassa d'espansione, §II.3.2.1.); **3**) corpo sedimentario principale del conoide alluvionale tardopleistocenico; **4**) facies fini da decantazione (Pleistocene sup.); **5**) facies alluvionali (Olocene inf.); **6**) facies alluvionale (Olocene med.); **7**) facies alluvionale (Olocene sup.); **8**) facies lagunari (cfr. §II.4.); **9**) facies palustri; **10**) facies alluvionali; **11**) direzione preferenziale dei flussi di drenaggio concentrato

III.4.1.2. Olocene medio-superiore

Per la fase Olocene medio-superiore la sequenza stratigrafica mostra la continuità degli ambienti deposizionali di bassa energia all'interno dei sistemi locali delle vallecole che drenano la superficie topografica del conoide alluvionale (in verde Olocene medio, in giallo Olocene superiore, Figg. III.20-21). Le cronologie (Tab. III.16), infatti, indicano la persistenza di questi ambienti per tutto l'Olocene medio (da 8 ka a 5,7 ka BP) e terminano nelle fasi iniziali dell'Olocene superiore (ca. 4 ka BP), nonostante il record stratigrafico superficiale sia stato parzialmente asportato dalle attività agricole moderne ed alterato da deboli processi pedogenetici (orizzonti cambici).

È dunque plausibile che durante le prime fasi insediative del sito archeologico di Vetricella (v. §IV.1.1.2., Periodo I) le dinamiche del paesaggio fisico fossero già stabilizzate, o comunque soggette marginalmente ad ulteriori eventi stagionali e/o critici (es. alluvioni). Infatti, l'ubicazione del sito archeologico sull'espluvio tra le due vallecole offriva una protezione naturale dalla pericolosità dei flussi di ruscellamento concentrato che seguivano la direzione preferenziale delle due vallecole. Inoltre, le facies di riempimento più antiche del paleoalveo nella cassa d'espansione (3-2,5 ka BP, US3, cfr. Tab. II.1 e §II.3.2.2., e v. §II.3.4.2.) indicano chiaramente che il drenaggio del fiume Pecora fosse stabilizzato in destra orografica, con conseguente formazione del terrazzo del conoide a ca. 4 d'altezza dal *thalweg* (Fig. III.20).

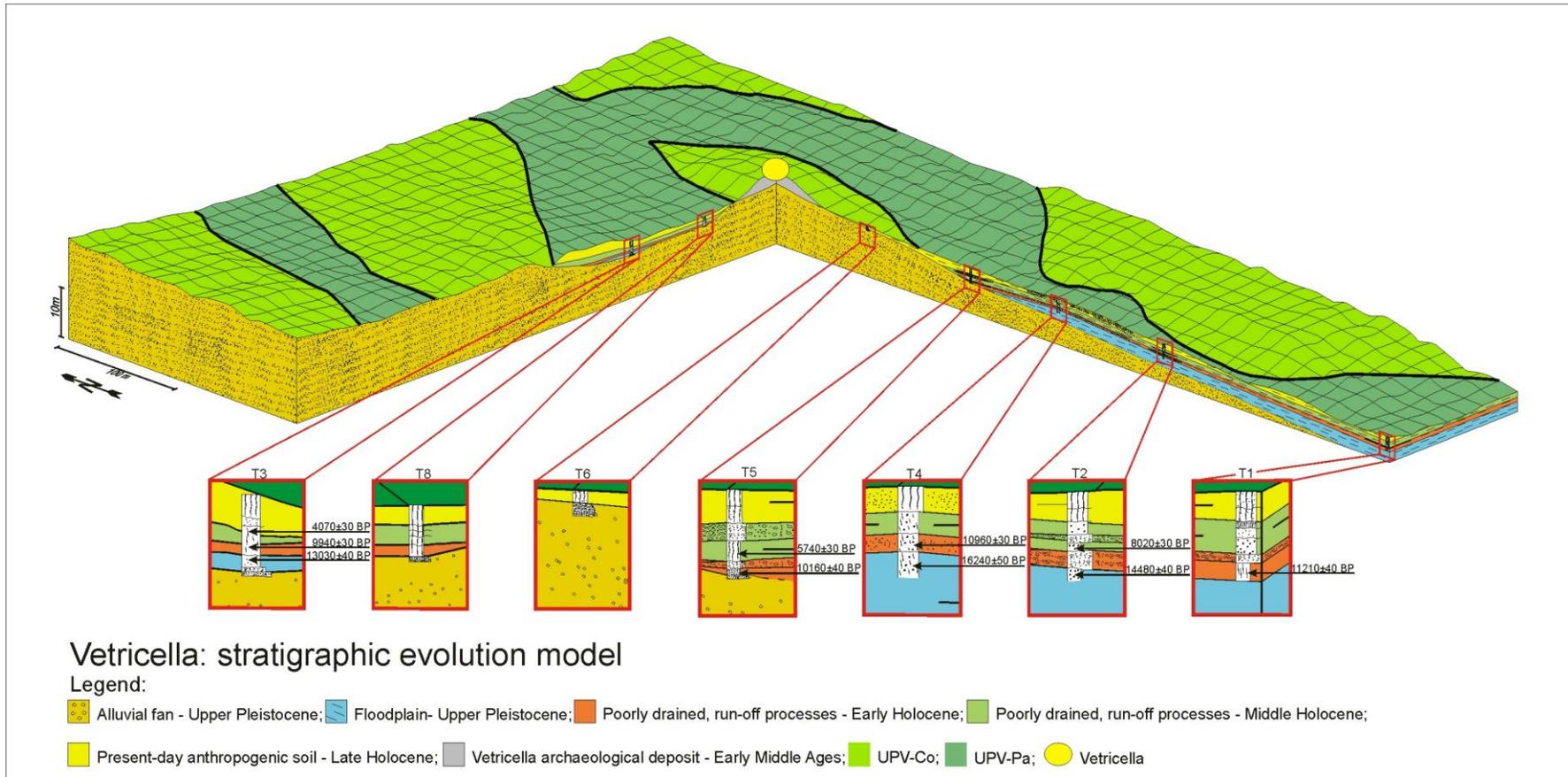


Figura III.21 – Ricostruzione delle dinamiche evolutive del record stratigrafico delle vallecole all'interno del conoide alluvionale tardopleistocenico

SEZIONE IV

**MICROSCALA: IL SITO ARCHEOLOGICO DI
VETRICELLA**

CAPITOLO IV.1 - INTRODUZIONE

IV.1.1. IL SITO ARCHEOLOGICO DI VETRICELLA

Il sito archeologico altomedievale di Vetricella, inquadrato cronologicamente nel periodo altomedievale tra VIII e XIII sec. AD (Marasco, 2009), è descritto in letteratura come un nucleo insediativo fortificato costituito da un edificio centrale turriforme circondato da un sistema di tre fossati concentrici. Come già discusso nella sezione della Mesoscala (cfr. Sez.III, Cap. III.4), il sito archeologico è localizzato nella parte distale del conoide alluvionale tardopleistocenico, sopra un alto morfologico stabilizzato e relativamente protetto che offriva le condizioni ideali per l'insediamento.

A livello di definizione, questa particolare tipologia insediativa si inserisce all'interno di un ampio gruppo denominato "*siti ad anello*", di tradizione nord-europea (Kelland, 2013), sebbene le sue dimensioni, le caratteristiche della cultura materiale (Briano *et al.*, 2018) ed il contesto insediativo interno (Marasco *et al.*, 2018), sembrano essere più affini alle cosiddette "motte altomedievali" (Marasco, 2012, 2013).

Questo particolare assetto, considerato eccezionale in relazione alle contemporanee tipologie di strutture fortificate italiane (Saggiaro, 2006, Farinelli, 2007, 2013), ha determinato da subito l'interesse da parte del progetto nEU-MED di avviare delle campagne di scavo archeologico estensive per comprendere meglio le modalità e le fasi di vita ma soprattutto quale sia stato il suo significato storico nel contesto socio-economico dell'epoca.

IV.1.2. STORIA DELLE RICERCHE

Vetricella (precedentemente denominata Castellina, Marasco, 2009) è stata individuata nel 2005 durante la XIV Summer School in Archeologia dedicata all'archeologia aerea organizzata dall'LAP&T (Laboratorio di Archeologia dei Paesaggi e Telerilevamento, Università di Siena). Le ricognizioni aeree effettuate hanno rivelato la presenza di un'anomalia nel terreno caratterizzata da tre tracce concentriche, interpretate preliminarmente come fossati (Fig. IV.1). Il successivo sopralluogo a terra, correlato con indagini geofisiche (Campana *et al.*, 2006; 2009), ha confermato la presenza di un rilievo topografico con una concentrazione di frammenti ceramici riferibile ad un orizzonte d'occupazione altomedievale (Marasco, 2009).

A seguito di questi rilevamenti preliminari, tra il 2007 ed il 2008 sono state condotte le prime campagne di scavo, tramite sondaggi esplorativi, atti a valutare lo stato di conservazione del

deposito archeologico (Marasco, 2009). Nel primo saggio, localizzato nella porzione centrale del sito, la rimozione degli strati agricoli ha messo in luce un livello spesso ca. 20-30 cm di materiale di riporto e archeologicamente sterile, interpretato come il risultato di operazioni di livellamento/rialzamento delle superfici d'uso. Questa superficie era caratterizzata dalla presenza di numerose buche di palo e aree d'occupazione, con zone d'arrossamento ed alcuni elementi murari, riferibili all'ultima fase di vita dell'insediamento. Lo studio della cultura materiale ceramica ha collocato queste occupazioni nel XII secolo (Marasco, 2009). Sottostante le buche di palo è stata messa in luce una fossa di spoliatura relativa ad una grossa struttura quadrangolare che occupa tutta la porzione del rilievo artificiale e racchiusa dal sistema circolare di fossati (Marasco, 2009). In aggiunta, a questa fase è attribuibile quanto rinvenuto nel settore Est, nel secondo sondaggio aperto sulla traccia concentrica più interna, dove è stata identificata una fossa di spogliatura relativa ai resti di una cinta muraria. Infine, un terzo sondaggio, ad Est dell'elemento murario suddetto, ha messo in luce i resti di una canaletta di fondazione relativa ad una struttura edificata probabilmente con materiale deperibile, data la totale assenza di pietre o malta (Marasco, 2009).

Le campagne di scavo archeologico sono successivamente riprese nel 2016, grazie all'avvio del progetto nEU-Med, e continuate fino al 2018, con un ampliamento significativo sia dell'areale di scavo sia della metodologia d'indagine.

La campagna di scavo 2016 è stata finalizzata principalmente alla ripresa delle ricerche precedenti e verificare le ipotesi di ricostruzioni planimetriche già proposte (Marasco, 2009). Partendo dalla base dei dati pregressi, l'indagine è stata avviata in estensivo (Fig. IV.1), allargando i vecchi settori di scavo e predisponendo un'unica grande area (oltre 1500 m²), corrispondente alla superficie racchiusa dall'elemento circolare più interno (Marasco *et al.*, 2018). Nel settore ad Est, inoltre, l'indagine si è estesa con ulteriori trincee esplorative (es. Trincea D417, vedi §IV.3.3.2) con l'obiettivo di intercettare le facies di riempimento del fossato interno. Quest'impostazione ha consentito quindi di ottenere una prima visione continua, sebbene limitata, del record stratigrafico di quasi tutta la superficie del sito.

Data l'enorme mole di dati potenziali, la strategia di scavo si è basata sull'impostazione multidisciplinare del progetto, privilegiando un connubio tra la visione verticale ed orizzontale della successione stratigrafica. Questo fu soddisfatto conservando una serie di testimoni e corrispettive sezioni stratigrafiche che hanno consentito di ottenere la visione della geometria spaziale dei singoli strati ed il loro rapporto stratigrafico in verticale e, secondariamente, il campionamento per analisi geoarcheologiche, chimiche e paleoambientali.

La prosecuzione dello scavo nell'area centrale, intorno al quale sembra sia stato impostato l'intero sito, ha permesso di esporre interamente il perimetro del grande edificio turriforme, individuandone con più precisione la planimetria quadrangolare. Le indagini sono proseguite nel settore esterno ad Est dove sono stati individuati orizzonti d'occupazione afferenti alla edificazione della cinta muraria. In quest'area, inoltre, è stata scoperta un'estesa area ad uso cimiteriale.

La campagna di scavo finale del 2018 si è focalizzata sulla contestualizzazione cronologica e funzionale delle prime frequentazioni dell'insediamento e le modalità di occupazione sviluppatesi nelle aree esterne al fossato interno; il settore Est è stato ampliato verso Nord, per verificare la reale estensione dello spazio destinato alla funzione cimiteriale, attualmente collocabile cronologicamente tra la fine del X e gli inizi dell'XI secolo (Marasco *et al.*, 2018).



Figura IV.1 – Il sito archeologico di Vetricella. **Sopra a sinistra:** ripresa aerea delle anomalie concentriche del sistema dei tre fossati. **Sopra a destra:** planimetria generale del sito archeologico di Vetricella con evidenziati l'edificio centrale turriforme ed il sistema dei tre fossati concentrici (da Marasco *et al.*, 2018). **Sotto:** visuale area del sito archeologico alla fine della campagna di scavo 2016

IV.1.3. SUCCESSIONE STRATIGRAFICA E PERIODIZZAZIONE¹⁶

Sebbene l'indagine archeologica a Vetricella sia tutt'ora in corso, e sia stata studiata solamente una porzione limitata dell'area potenzialmente occupata in età altomedievale, la sequenza stratigrafica di Vetricella è contestualizzata in sei periodi di frequentazione, basati sulla relazione diretta tra rapporti stratigrafici, elementi della cultura materiale ritenuti più significativi e datazioni radiometriche (Fig. IV.2) (Marasco, 2009; Marasco *et al.*, 2018). Tuttavia, è necessario premettere che le stratigrafie degli orizzonti occupazionali presentano, nel complesso, spessori molto limitati, in cui sono presenti numerose discordanze sia verticali che laterali. Al contrario, le stratigrafie dei fossati sono quelle che presentano spessori maggiori e minori discordanze stratigrafiche:

Periodo 1 (metà VIII-metà IX sec. AD)

Le tracce di frequentazione sono osservabili in quasi tutti i settori di scavo indagati, sebbene le evidenze più significative sono state riscontrate nel settore centrale (Fig. IV.2a). Si tratta di elementi attribuibili a strutture (buche di palo e possibili canalette) e attività di lavorazione (possibili forge); tuttavia le successive fasi di occupazione hanno asportato e/o modificato la stratigrafia originale, rendendo impossibile associare questi elementi a contesti di vita contemporanei e delineare completamente la natura di tale frequentazione.

Periodo 2 (seconda metà IX sec. AD)

Si assiste alla prima trasformazione profonda a livello strutturale di tutto il contesto insediativo di Vetricella (Fig. IV.2b). A questo periodo, infatti, si attestano nell'area centrale le opere di livellamento/rialzo coerenti con l'edificazione dell'edificio turriforme a pianta quadrata. Sempre a questo periodo viene inoltre attestata l'installazione del sistema dei tre fossati concentrici. Per contro, i livelli di frequentazione/vita sono caratterizzati e contestualizzati principalmente dalla cultura materiale, ma poco definiti stratigraficamente. Infatti, la maggior parte delle superfici d'uso sembrano mantenere la funzionalità anche per i periodi successivi, non mostrando accrescimenti notabili ed ostacolando quindi la visione diacronica degli eventi.

¹⁶ La seguente periodizzazione delle fasi di occupazione di Vetricella è riferibile al report di fine scavo 2018 inedito del Dott. Lorenzo Marasco. In questo paragrafo vengono riassunti solamente i tratti principali.

Periodo 3 (prima metà X sec. AD)

Dal punto di vista stratigrafico, nel terzo periodo si assiste alla continuazione di utilizzo dei livelli di frequentazione (Fig. IV.2c). Queste evidenze sono state osservate all'interno dell'edificio centrale e nelle aree adiacenti, trattandosi tuttavia di elementi analizzati parzialmente, sia per interruzione dei settori di scavo, sia per mancanza di continuità laterale. Dal Settore Ovest nella porzione esterna al primo fossato, invece, sono emerse tracce riferibili ad attività di produzione metallurgica, con ampie aree di sovrapposizione di lenti termoalterate, con presenza di micro-scaglie ferrose in associazione ad accumuli carboniosi. Un contesto analogo, sebbene solo parzialmente analizzato, sembra emergere anche nel settore Sud, dove sono stati individuati elementi di strutture in materiale deperibile ed evidenze di termoalterazione del terreno. Contestualmente a queste attività inizia la fase di riempimento del fossato interno, legata alla nuova fase di vita del periodo successivo (Periodo 4), con un accrescimento progressivo del fondo del fossato evidenziato da accumuli di materiale di riporto.

Periodo 4 (seconda metà X – prima metà XI sec. AD)

Il quarto periodo di frequentazione marca una cesura parziale nella continuità dei livelli d'occupazione dei periodi precedenti (Fig. IV.2d-e). Ciò è evidenziato da importanti modificazioni strutturali dell'insediamento, con un susseguirsi continuo di nuovi allestimenti e nuove destinazioni d'uso, e successive destrutturazioni. Queste operazioni hanno comportato, quindi, un profondo e continuo stravolgimento delle stratigrafie precedenti. Data la difficoltà oggettiva nel distinguere chiaramente i processi che hanno indotto questi cambiamenti, e di conseguenza evidenziare i passaggi particolarmente significativi, il Periodo 4 è stato suddiviso in due sottofasce, Fase 4/1 e Fase 4/2.

- **Fase 4/1** – vengono attribuiti una serie di elementi rinvenuti all'interno dell'edificio centrale e connessi alla vita del suo spazio interno (Fig. IV.2)d. Si tratta di elementi che in alcuni casi sono privi di relazioni stratigrafiche certe, ma che in altri indicano una cesura rispetto al periodo 3. Al contrario, nei settori Sud e Ovest si osserva la continuità di utilizzo delle zone di lavorazione e produzione, iniziate durante il Periodo 3. Tale continuità è segnata dall'allestimento di nuove strutture individuate tramite la presenza di aree di terreno termoalterato. Il processo di trasformazione vero e proprio ha la sua manifestazione più evidente nell'allestimento di un miscelatore da malta, localizzato a Nord tra l'edificio centrale ed il fossato interno, e l'installazione di strutture produttive

associate. Conseguentemente, all'esterno dell'edificio centrale e internamente al fossato interno si osserva la stesura di un ampio rivestimento in malta, segnando per quest'ultimo il suo quasi totale seppellimento e defunzionalizzazione. Un'ulteriore manifestazione di cesura è riferibile alla presenza di un allineamento di tagli per buche di palo che circondano l'edificio interno ed interpretati archeologicamente come supporti per una palizzata lignea. L'ipotesi archeologica è che questa palizzata avesse una funzione difensiva, a seguito della defunzionalizzazione del fossato interno. Per ultimo, a questa fase si collega l'installazione dell'area cimiteriale nel settore Est, tra il fossato interno ed il fossato intermedio.

- **Fase 4/2** – si osserva una continuità parziale con le precedenti attività di frequentazione, con la persistenza dell'edificio centrale e delle strutture circostanti nonché delle pratiche funerarie (Fig. IV.2e). Le modifiche più marcate sono evidenziate dalla smantellazione sistematica della palizzata e successive operazioni di riporto atte a formare un rialzamento anulare intorno all'edificio centrale. Su questo nuovo piano d'uso viene allestito un nuovo miscelatore per malta, localizzato specularmente al precedente. Contemporaneamente viene eretto sulla traccia del fossato interno un massiccio basamento murario in pietra con letto di malta. La fine di questo sottoperiodo è caratterizzata nuovamente da importanti mutamenti segnati sia dalla destrutturazione e spoliatura in più punti del basamento murario sia dall'allestimento di un nuovo sistema di palizzata impostato sopra di esso. Infine, a questa fase fa riferimento, verosimilmente, la presenza di nuove e possibili strutture connesse con la lavorazione metallurgica.

Periodo 5 (metà XI – metà XII sec. AD)

Si osserva una diminuzione sostanziale dello spessore e dell'estensione occupazionale, dovuto sia ad un disturbo dato dalle attività agricole odierne, che di fatto hanno parzialmente asportato le stratigrafie superficiali, sia ad una possibile diminuzione nell'intensità della frequentazione dell'insediamento (Fig. IV.2f). Le fasi di vita per questo periodo sono attestate dalla prosecuzione di frequentazione dell'edificio centrale e sui livelli di massiciata. Nel corso del periodo si assiste inoltre allo smantellamento dell'ultima palizzata e sostituita molto probabilmente da un nuovo allineamento circolare di buche di palo, realizzate in modo regolare e piuttosto fitto lungo il bordo del vecchio fossato. A questo seguono le evidenze di una progressiva dismissione delle strutture ed abbandono dell'insediamento.

Periodo 6 (metà XII – metà XIII sec. AD)

Rappresenta l'ultima fase di vita dell'insediamento di Vetricella, principalmente caratterizzato da una complessa opera di smantellamento e defunzionalizzazione dell'edificio centrale (Fig. IV.2g). La fossa di spoliazione, con resti sporadici del basamento murario, fa ipotizzare un intervento accurato e programmato. Nelle aree circostanti si registrano diverse azioni di riporto di materiale grossolano e pietrame disperso. Nel settore Est si notano sporadici allestimenti di strutture, probabilmente in materiale deperibile, fortemente disturbate dalle azioni di aratura; tali strutture possono essere ritenute come le ultime stratigrafie d'occupazione dell'insediamento.

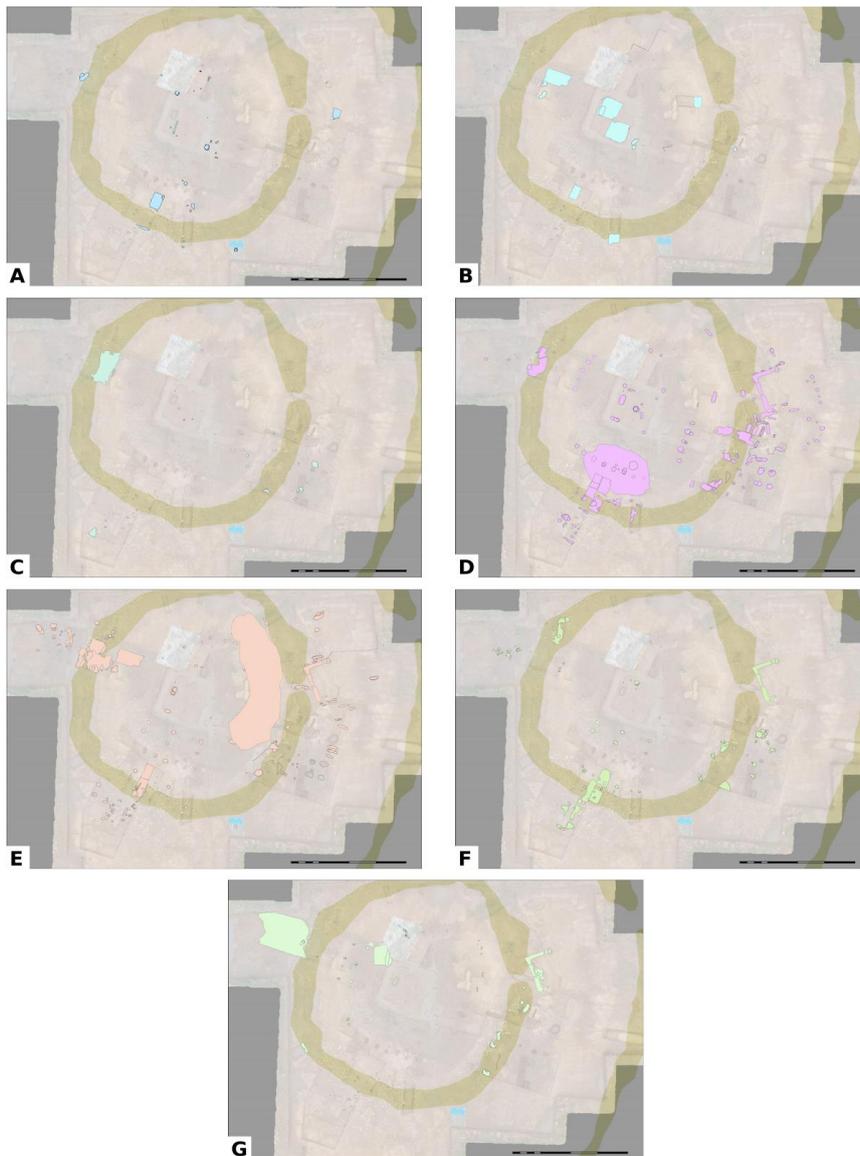


Figura IV.2 – Periodizzazione di Vetricella. **A** – Periodo 1; **B** – Periodo 2; **C** – Periodo 3; **D** – Periodo 4, fase 4/1; **E** – Periodo 4, fase 4/2; **F** – Periodo 5; **G** – Periodo 6 (ricostruzione Marasco, 2019)

CAPITOLO IV.2 - MATERIALI E METODI

IV.2.1. ANALISI STRATIGRAFICA

L'analisi stratigrafica ha riguardato la descrizione di alcune sezioni esposte durante le campagne di scavo archeologico (Fig. IV.3). Le sezioni sono state documentate fotograficamente, analizzate e descritte attraverso analisi di facies (granulometria, composizione, morfologia, geometria, presenza di strutture sedimentarie e di *fabric*) e le reciproche relazioni dal punto di vista sedimentologico; per la determinazione del colore è stata usata la *Munsell Soil Color Chart*.

Durante le campagne di scavo tra il 2016 e 2018 sono inoltre state aperte una serie di trincee esplorative (Fig. IV.3), per mezzo di pala meccanica, con lo scopo di intercettare le facies di riempimento sia del fossato interno che del fossato intermedio¹⁷.

L'analisi stratigrafica si è concentrata prevalentemente sullo studio delle geometrie e dei riempimenti dei fossati. Il fossato interno è stato investigato nella campagna di scavo 2016 attraverso l'apertura di una trincea (D417), localizzata nell'area NE del sito archeologico, da cui è stata descritta la sezione NFS_D417. Il fossato intermedio è stato invece indagato durante la campagna di scavo 2018 con 4 trincee esplorative, collocate ai punti cardinali (S1DS a Sud, S2DE ad Est, S4DN a Nord, S7DW ad Ovest) da cui sono state descritte 4 sezioni (l'ID è identificativo sia della trincea, sia della sezione associata descritta). Per il fossato intermedio, campioni di carbone per le datazioni al radiocarbonio (Tab. IV.9) sono stati prelevati dalle sezioni S4DN e S7DW.

Tutte le sezioni descritte sono state oggetto di campionamento micromorfologico. Per quanto riguarda il fossato intermedio, è stata condotta una ulteriore campagna di campionamento per analisi paleoambientali (pollini, ostracodi e malacofauna) e geochimiche (conducibilità elettrica, TIC, TOC, pH). Anche in questo caso, le analisi sono tutt'ora in fase di studio e pertanto non verranno discusse in questa tesi.

¹⁷ Sono stati inoltre effettuati una serie di sondaggi meccanici in aree occupate dal fossato esterno ma, dato lo spessore esiguo dei riempimenti (ca. 10-20 cm), non è stato possibile condurre ulteriori analisi; pertanto il fossato esterno non verrà menzionato in questo lavoro.

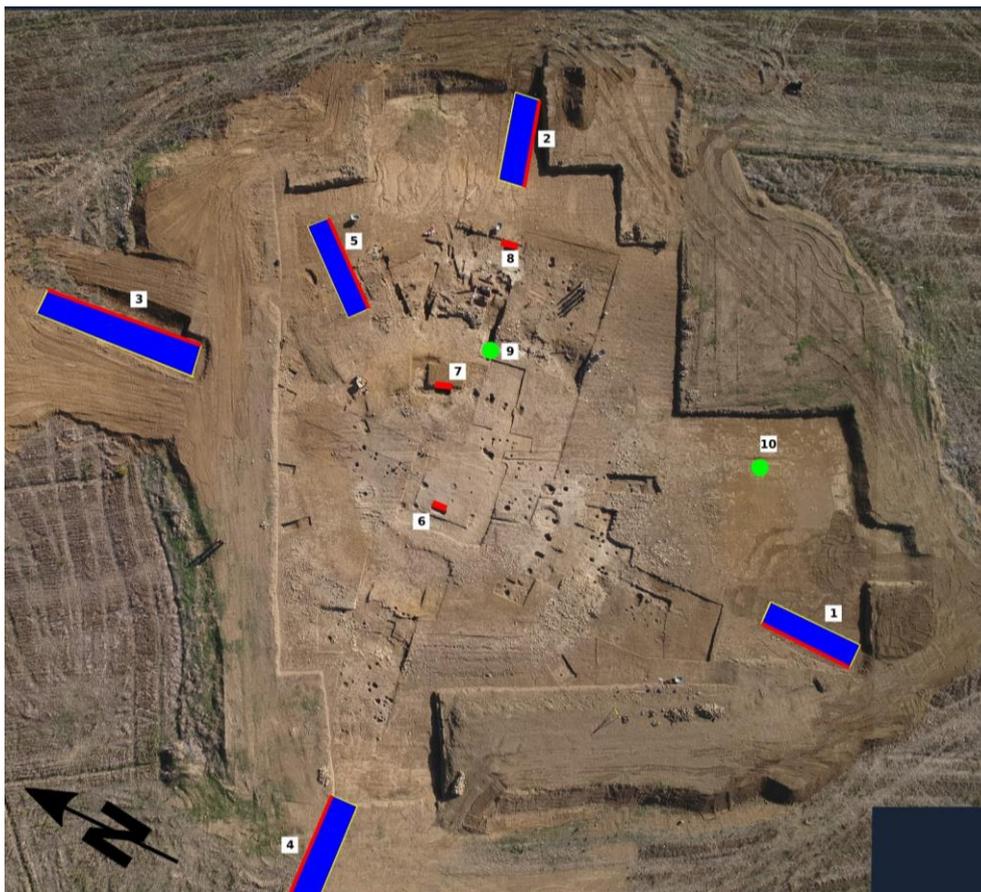


Figura IV.3 – Ortofoto aerea da drone dello scavo di Vetricella, anno 2018 con riportate le sezioni stratigrafiche analizzate (linea rossa) le trincee aperte (rettangolo blu) ed i punti di campionamento micromorfologico non associati a sezioni stratigrafiche (punto verde). Legenda: **1)** S1DS; **2)** S2DE; **3)** S4DN; **4)** S7DW; **5)** D417 (NFS_D417); **6)** Sez. Geo3; **7)** Sez. Geo1; **8)** Sez. Geo5; **9)** Sez. Geo2; **10)** punto campionamento CSN_SET3H7.

IV.2.2. ANALISI MICROMORFOLOGICA

IV.2.2.1. Campionatura

Lo studio micromorfologico ha riguardato in totale 26 sezioni sottili (Tab. IV.1), provenienti da aree e contesti archeologici differenti con lo scopo di fornire indicazioni utili e rispondere alle questioni principali della ricerca archeologica. Il campionamento quindi ha seguito un criterio selettivo (Goldberg & Macphail, 2003), in base anche alla disponibilità di sezioni stratigrafiche adatte e alle caratteristiche del sedimento, cercando di ottenere in particolar modo una visione il più possibile continuativa del record sedimentario. Di seguito si riportano le aree di campionamento (Fig. IV.3):

- **Edificio Centrale:** da quest'area sono stati raccolti 2 campioni (CSN_EC01, CSN_EC02) dalla sezione aperta sul lato periferico Ovest dell'edificio centrale (Sez. Geo3, vedi #IV.3.1 e Figg. IV.3, IV.5) con lo scopo di fornire indicazioni utili alla principale questione

archeologica di delineare le superfici d'uso ed i piani di calpestio, data l'assenza a livello macroscopico di chiare evidenze di strutture pavimentali.

- **Edificio Centrale – Fossato Interno:** da quest'area sono stati raccolti 5 campioni. I campioni CSN_ECFI01, CSN_ECFI02 sono stati raccolti nel settore Est, da una sezione esposta durante la campagna di scavo 2016 (Sez.Geo1, v. #IV.3.2. e Fig. IV.7). Sempre da quest'area sono stati prelevati dalla trincea D817 dall'estremità Ovest (Sez.Geo2¹⁸) i campioni CSN_D81701, CSN_D81702 riferibili a livelli tagliati dal fossato interno (Fig. IV.3).
- **Fossato Interno:** i campioni riferibili alle facies di riempimento del fossato interno sono state prelevati dalla sezione NFS_D417 riferibile alla trincea D417 (Fig. IV.3). Il campionamento si è concentrato al tetto del riempimento, corrispondente alle ultime fasi di vita del fossato, per rispondere alle domande archeologiche di modalità di riempimento ed abbandono di questo. In totale sono stati raccolti 7 campioni (Fig. IV.8).
- **Fossato Interno – Fossato intermedio:** da quest'area sono stati raccolti 5 campioni. Dal settore Est, è stata eseguita la campionatura in sequenza di una sezione esposta (Sez.Geo5, v. #IV.3.4. e Figg. IV.3, IV.9) adiacente l'area cimiteriale (campioni CSN_D81704, CSN_D81705, CSN_D81706, CSN_D81707). Il campione CSN_SET3H7, invece è stato prelevato dall'area Sud del sito archeologico, archeologicamente sterile, da sedimenti impostati direttamente sul conoide alluvionale pleistocenico e troncato al tetto dall'attività agricola moderna (Fig. IV.3).
- **Fossato Intermedio:** dalle facies di riempimento delle 4 sezioni indagate (Fig. IV.3) sono stati estratti in totale 7 campioni (Figg. IV.13, IV.15, IV.17, IV.18). La campionatura ha interessato solamente le facies granulometricamente fini. Non è stato possibile invece campionare le facies grossolane a causa della granulometria stessa del sedimento. Ciononostante, il dato di terreno ha fornito informazioni sufficientemente esaustive per la determinazione della genesi di tali facies.
- **Esterno:** è stato raccolto un campione (CSN_S4DN_Bt) dalla trincea S4DN (Figg. IV.3, IV.17), riferibile ad un orizzonte argilloso impostato al tetto del conoide alluvionale tardopleistocenico e tagliato dal fossato intermedio.

¹⁸ L'immagine relativa a alla Sezione Geo2 è andata perduta e non è stato possibile inserirla all'interno del presente lavoro.

AREA	TS_ID	LOCALIZZAZIONE		TS			CONTESTO ARCHEOLOGICO
		Settore	Posizione	Anno	Form. (mm)	Cop.	
EC	CSN_EC01	Centrale	Sez.Geo3	2016	55X95	Si	Occupazione antropica, piano pavimentale
	CSN_EC02	Centrale	Sez.Geo3	2017	55X95	No	Occupazione antropica, piano pavimentale
EC-FI	CSN_ECFI01	Est	Sez.Geo1, sopra CSN_ECFI02	2016	55X95	Si	Occupazione antropica
	CSN_ECFI02	Est	Sez.Geo1, sotto CSN_ECFI01	2016	55X95	Si	Contatto sterile pre-insediamento e occupazione antropica
	CSN_D81701	Est	Sez.Geo2 trincea D817, sotto CSN_D81702	2017	55X95	No	Sterile pre-insediamento
	CSN_D81702	Est	Sez.Geo2 trincea D817, sopra CSN_D81701	2017	55X95	No	Contatto sterile pre-insediamento e occupazione antropica
FI	CSN_D41701	Est	Trincea D417	2016	55X95	Si	Riempimento (Facies 11, 10, 8)
	CSN_D41702	Est	Trincea D417	2016	55X95	Si	Riempimento (Facies 11, 10, 8)
	CSN_D41703	Est	Trincea D417	2016	55X95	Si	Riempimento (Facies 8)
	CSN_D41705	Est	Trincea D417	2016	55X95	Si	Riempimento (Facies 6)
	CSN_D41706	Est	Trincea D417	2016	55X95	Si	Riempimento (Facies 8)
	CSN_D41707	Est	Trincea D417	2016	55X95	Si	Riempimento (Facies 11, 10, 8)
	CSN_D41708	Est	Trincea D417	2016	55X95	Si	Riempimento (Facies 11, 10, 8)
	CSN_SET3H7	Sud	//	2017	55X95	No	Sterile pre-insediamento
FI-FINT	CSN_D81704	Est	Sez.Geo5 trincea D817, sotto CSN_D81706	2017	55X95	No	Occupazione antropica, area cimiteriale
	CSN_D81705	Est	Sez.Geo5 trincea D817, sopra CSN_D81707	2017	55X95	No	Occupazione antropica, area cimiteriale
	CSN_D81706	Est	Sez.Geo5 trincea D817, sopra CSN_D81704	2017	55X95	No	Contatto sterile pre-insediamento e occupazione antropica
	CSN_D81707	Est	Sez.Geo5 trincea D817, sotto CSN_D81705	2017	55X95	No	Sterile pre-insediamento
	CSN_SET3H7	Sud	//	2017	55X95	No	Sterile pre-insediamento
FINT	CSN_S1DS2b	Sud	Trincea S1DS	2018	55X95	No	Riempimento (Facies 2b)
	CSN_S1DS3b	Sud	Trincea S1DS	2018	55X95	No	Riempimento (Facies 3b)
	CSN_S2DE5b	Est	Trincea S2DE	2018	55X95	No	Riempimento (Facies 5b)
	CSN_S2DE7	Est	Trincea S2DE	2018	55X95	No	Riempimento (Facies 7)
	CSN_S4DN5	Nord	Trincea S4DN	2018	55X95	No	Riempimento (Facies 5)
	CSN_S7DW3a	Ovest	Trincea S7DW	2018	55X95	No	Riempimento (Facies 3a)
	CSN_S7DW6	Ovest	Trincea S7DW	2018	55X95	No	Riempimento (Facies 6)
EXT	CSN_S4DN_Bt	Nord	Trincea S4DN	2018	55X95	No	Sterile pre-insediamento

Tabella IV.1 – Elenco dei campioni micromorfologici raccolti a Vetricella. Abbreviazioni: **EC** – Edificio Centrale; **FI** – Fossato Interno; **FINT** – Fossato Intermedio; **EXT** – Esterno; **TS** – Sezione Sottile; **Form** – Formato sezione sottile; **Cop** – Utilizzo del vetrino coprioggetto

La raccolta dei campioni indisturbati ha previsto l'utilizzo di scatole di Kubiena di dimensioni standard oppure, nei casi in cui il sedimento lo permettesse, con estrazione semplice di monoliti. I campioni raccolti sono stati confezionati con nastro adesivo di carta e siglati per indicarne la provenienza, l'orientazione e la polarità (alto/basso). Ogni campione è stato posizionato spazialmente all'interno dell'area di scavo, documentato fotograficamente e la sezione stratigrafica di provenienza, dove possibile, descritta.

La preparazione dei campioni è stata svolta presso il laboratorio "Servizi per la Geologia" (Piombino, LI) del dott. Massimo Sbrana, seguendo le linee guida di preparazione (essiccamento; impregnazione con miscela di resina, stirene ed indurente; indurimento; taglio; preparazione finale con politura fino ad uno spessore di 25-30 μm ; cfr. Allman & Lawrence 1972; Murphy, 1986).

IV.2.2.2. Microscopio petrografico e parametri descrittivi

Le sezioni sottili sono state analizzate tramite un microscopio petrografico modello ZEISS AXIO Scope A.1 MAT (Fig. IV.4), in dotazione al laboratorio di Geoarcheologia del Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente (DSFTA) dell'Università di Siena, con revolver personalizzato a 6 obiettivi (1,25X¹⁹; 2,5X; 5X; 10X; 20X; 40X, pur tenendo conto dell'ulteriore ingrandimento dato dagli oculari), utilizzando sia luce piana polarizzata (PPL) sia luce polarizzata a nichol incrociati (XPL). In aggiunta, il microscopio è equipaggiato con una fonte di luce riflessa (RL) per l'analisi delle masse opache (Angelini *et al.*, 2017; Ligouis, 2017)²⁰. La documentazione fotografica è stata acquisita tramite una tele-fotocamera digitale a colori ad alta risoluzione AxioCam 105 color, in dotazione al microscopio, ed elaborata con il software ZEN 2.3 lite associato che permette la regolazione dei parametri espositivi ed una gamma di analisi elementari e specifiche sulle immagini acquisite.

In aggiunta all'osservazione al microscopio, le sezioni sottili sono state scannerizzate in luce trasmessa con risoluzione a 600 dpi (v. Tavv. da AIV.1 a AIV.8), per l'osservazione mesoscopica e controllare la posizione e le caratteristiche d'insieme delle microfacies osservate al microscopio (De Keyser, 1999; Arpin *et al.*, 2002; Haaland *et al.*, 2018). L'elaborazione grafica di queste immagini è stata effettuata tramite il software di editor grafica Adobe CorelDRAW Graphic Suite©.

¹⁹ L'obiettivo è aplanatico ad ampio campo, che può quindi sfalsare parzialmente i colori ed avere una perdita di messa a fuoco nelle porzioni laterali dell'immagine.

²⁰ Il microscopio petrografico utilizzato non è equipaggiato per l'osservazione in autofluorescenza.

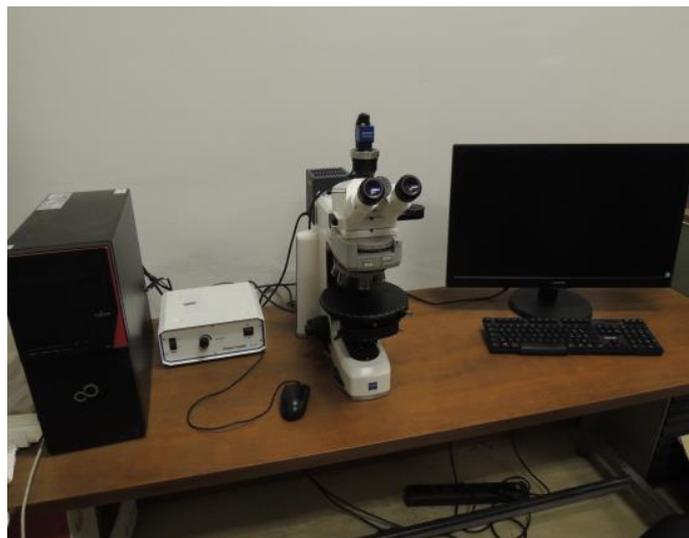


Figura IV.4 – Microscopio Zeiss AXIO Scope A.1 MAT utilizzato in questa per l'analisi micromorfologica

La descrizione micromorfologica delle sezioni sottili ha seguito i principali manuali proposti da Bullock *et al.* (1985), Stoops (2003) e Stoops *et al.* (2010), mentre per la terminologia in italiano è stata utilizzata la traduzione di Stoops (2003) in lingua italiana fornita da Nicosia *et al.* (2010).

L'interpretazione dei dati acquisiti è associata principalmente ai lavori proposti da Stoops *et al.* (2010) e Nicosia & Stoops (2017) ed i vari autori presenti in letteratura su specifici temi dedicati.

La determinazione granulometrica dei costituenti si è basata su misurazioni micrometriche sia sull'oculare, quando evidente, sia con appositi strumenti di misurazione in dotazione al *software* di cattura grafica. A livello metodologico il limite granulometrico convenzionale grossolano/fine è stato posto a 64 μm (limite sabbia/silt). In aggiunta, la selezione molto scarsa della frazione grossolana minerale ha determinato la scelta di porre un ulteriore limite arbitrario a 500 μm (limite granulometrico sabbia media/grossolana) identificando dunque due sottofrazioni grossolane nominate CFg e CFgg (cfr. Tab. IV.2), riferibili a tutte le componenti minerali riconosciute. Ciò ha permesso di evidenziare meglio l'organizzazione dei componenti in relazione alla loro distribuzione ed orientazione e ottenere parametri quantitativi in riferimento alla proporzione relativa tra le due sottofrazioni (rapporto CFg/CFgg).

Dimensione			Classe granulometrica	Frazione	Sottofrazione
phi	mm	µm			
-1	2	~	Ghiaia	Frazione grossolana (CF)	CF _{gg}
			Sabbia grossolana		
1	1/2	500	Sabbia media		CF _g
2	1/4	250	Sabbia fine		
4	1/16	62,5	Limo	Frazione fine (f)	
8	1/256	4	Argilla		

Tabella IV.2 – Classi granulometriche

Data la complessità stratigrafica, l'analisi micromorfologica è stata condotta applicando il concetto di microfacies (Courty, 2001), che ha permesso di semplificare la scomposizione delle stratigrafie in unità elementari. La distinzione tra microfacies è stata fatta sulla base della presenza di componenti, delle loro caratteristiche e della loro organizzazione spaziale, parametri indicativi dei processi deposizionali e della presenza di attività antropica. L'analisi delle associazioni delle microfacies ha permesso quindi di ricostruire diacronicamente e spazialmente le variazioni dei processi naturali e delle attività antropiche sia a livello temporale (diacronia) sia spaziale (variazioni laterali) (Mallol, 2006; Villagran *et al.*, 2011; Miller *et al.*, 2013).

Considerando che la descrizione micromorfologica è un elaborato sovente di difficile comprensione (Goldberg & Aldeias, 2018), si è ritenuto opportuno presentare i risultati in forme tabellari analitiche, allegate in Annesso IV (Tabb. AIV.1, AIV.2 e AIV.3), e limitare la parte di testo alle sole osservazioni delle caratteristiche dominanti delle singole microfacies.

Nelle tabelle analitiche i parametri descrittivi sono stati espressi tramite simbologie, riportate in Tab. IV.3. I parametri quantitativi sono espressi in percentuale e sono raggruppati in 5 classi di frequenza (rappresentati dal simbolo "*") da "raro" (*; <5%), "scarso" (**; 5-15%), "comune" (***; 15-40%), "frequente" (****; 40-60%) ed "abbondante" (*****; >60%). Per la porosità è stata valutata la percentuale sia totale (espressa con la simbologia convenzionale)

sia la percentuale relativa di ogni tipologia (rappresentata dal simbolo "◇"); le classi di frequenza sono rimaste invariate. I parametri qualitativi sono invece valutati in termini di grado di sviluppo o di espressione con 4 variabili (espressi in tabella dal simbolo "+") da "debole/molto debole"(+), "scarso" (++) , "discreto" (+++) , "buono" (++++). Infine, per tutte le tabelle descrittive i campi lasciati vuoti rappresentano parametri assenti, ovvero non osservati o indeterminabili.

<i>classe</i>	<i>sviluppo, espressione</i>	<i>classe</i>		<i>percentuale</i>	<i>frequenza, abbondanza</i>
	indeterminabile			0%	non osservato, assente
+	debole/molto debole	◇	*	<5%	raro/occasionale
++	scarso	◇◇	**	5-15%	molto scarso/scarso
+++	discreto	◇◇◇	***	15-40%	comune
++++	buono	◇◇◇◇	****	40/60%	frequente
microstruttura <i>fabric</i>		◇◇◇◇◇	*****	>60%	abbondante/dominante
		Tipologia porosità	Porosità totale Frazione grossolana Frazione fine Pedofigure		

Tabella IV.3 – Proprietà dei parametri descrittivi micromorfologici

CAPITOLO IV.3 - DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

Di seguito si fornisce la descrizione stratigrafica delle sezioni esposte durante le fasi di scavo, partendo dall'edificio centrale, fino al fossato intermedio.

IV.3.1. EDIFICIO CENTRALE

L'apertura della sezione Geo3 ha permesso di esporre la sequenza stratigrafica sottostante l'edificio centrale (Fig. IV.5). La sezione è localizzata nell'area periferica Ovest del suddetto edificio (Fig. IV.3). La sequenza si imposta sopra i sedimenti del conoide alluvionale tardopleistocenico (UPV-Co) ed al tetto è disturbata e troncata dai lavori agricoli moderni, come testimoniano i solchi di aratura che interessano l'intera superficie dell'edificio centrale (Fig. IV.6). La sezione è stata inoltre campionata per l'analisi micromorfologica; il campione CSN_EC01 è riferibile alla facies 2EC, mentre il campione CSN_EC02 è stato raccolto al contatto tra 2EC e 3EC. I punti di campionamento sono riportati in Fig. IV.5. La descrizione della sequenza stratigrafica è riportata di seguito in forma tabellare (Tab. IV.4). Si noti che l'orizzonte agricolo non è presente in figura, a seguito della sua asportazione durante le operazioni di apertura dello scavo. Per coerenza, si riporta comunque la sua descrizione in tabella.

Edificio Centrale – Sezione Geo3		
Facies	Spessore	Descrizione
UPV-Co		Ghiaie eterometriche molto addensate da subarrotondate a subangolose, massive, immerse in matrice argillosa. Le superfici dei clasti presentano patine bruno-rossastre di ossidi di Fe-Mn
1EC	0-25 cm	Ghiaie eterometriche addensate, da fini a molto grossolane, da subarrotondate a subangolose, occasionalmente angolose, massive, con abbondante frazione sabbiosa. Matrice siltosa scarsa, di colore 10YR 5/6 (<i>yellowish brown</i>). Il limite superiore è distinto
2EC	25-40 cm	Sedimento sabbioso medio fine poco siltoso, massivo, moderatamente addensato, di colore 10YR 5/6 (<i>yellowish brown</i>). Scheletro comune con ghiaie medio-fini da subarrotondate a subangolose. Limite superiore sfumato
3EC	40-50 cm	Sedimento sabbioso-siltoso, massivo, moderatamente addensato, con sabbie da fini a medie, di colore 10YR 5/2 (<i>grayish brown</i>). Scheletro scarso con ghiaie da fini a medie da subarrotondate a subangolose. Limite superiore troncato e disturbato dai lavori agricoli moderni
Ap	60-80 cm	Orizzonte agricolo troncato al tetto. Ghiaie da medie a grossolane, comuni pietre, massivo scarsamente addensato, con comuni apparati radicali fini. Comune matrice siltosa sabbiosa, di colore 10YR 5/3 (<i>brown</i> , colore preso in condizioni di umidità)

Tabella IV.4 – Edificio Centrale, Sezione Geo3. Descrizione delle facies sedimentarie

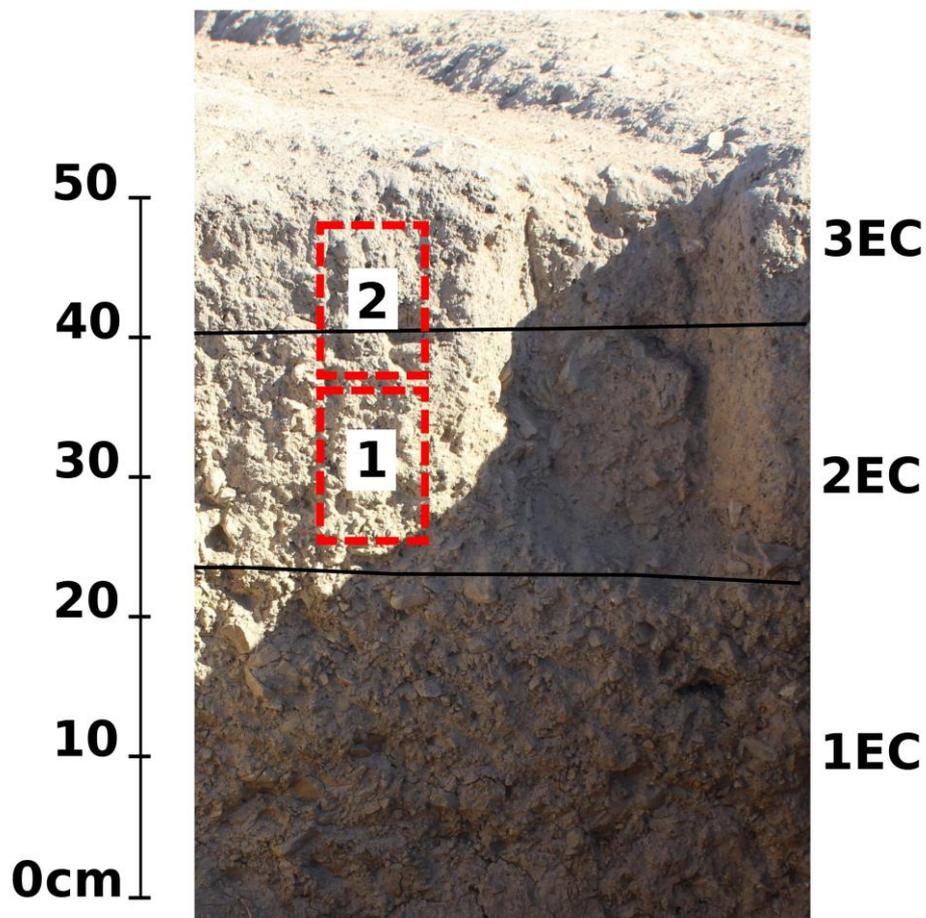


Figura IV.5 – Edificio Centrale, Sezione Geo3. Stratigrafia con riportati i punti di campionamento micromorfologico. 1) CSN_EC01; 2) CSN_EC02. Il passaggio sole/ombra maschera i colori originali



Figura IV.6 – Visuale aerea dell'Edificio Centrale. Si notino i solchi d'aratura, e la posizione della Sezione Geo.3 nel lato inferiore destro dell'immagine

IV.3.2. EDIFICIO CENTRALE – FOSSATO INTERNO

L'analisi stratigrafica è stata condotta sulla Sezione Geo1 (Fig. IV.7), localizzata nel Settore Est da un testimone stratigrafico. La sequenza si imposta sopra i sedimenti del conoide alluvionale tardopleistocenico (UPV-Co) ed è tagliata da una grande buca di palo riferibile all'allestimento della palizzata a difesa dell'edificio centrale durante il periodo d'occupazione centrale. La sezione è stata campionata per l'analisi micromorfologica; il campione CSN_ECFI01 è riferibile alla facies 2ECFI, mentre il campione CSN_ECFI02 alla facies 1ECFI. I punti di campionamento sono riportati in Fig. IV.7. La descrizione della sequenza stratigrafica è riportata di seguito in forma tabellare (Tab. IV.5). Si noti che l'orizzonte agricolo non è presente in figura, a seguito della sua asportazione durante le operazioni di apertura dello scavo. Per coerenza, si riporta comunque la sua descrizione in tabella.

Edificio Centrale – Fossato Interno – Sezione Geo1		
Facies	Spessore	Descrizione
UPV-Co		Ghiaie eterometriche molto addensate da subarrotondate a subangolose, massive, immerse in matrice argillosa. Le superfici dei clasti presentano patine bruno-rossastre di ossidi di Fe-Mn
1ECFI	0-30 cm	Silts con argilla, struttura poliedrica sub-angolosa fine, poco affermata, di colore 10YR 6/6 (<i>brownish yellow</i>). Scheletro scarso con ghiaie medie-fini da subarrotondate a subangolose. Limite superiore distinto e troncato dalla buca di palo
2ECFI	30-50 cm	Sedimento sabbioso-siltoso, massivo, con sabbie medio-fini di colore 10YR 5/2 (<i>grayish brown</i>). Scheletro scarso con ghiaie medio-fini da subarrotondate a subangolose. Limite superiore netto, forse erosivo, e lateralmente tagliato dalla buca di palo
3ECFI	50-60 cm	Ghiaie eterometriche non selezionate con pietre, addensate, da angolose a subangolose, in riempimento alla buca di palo. Comune matrice sabbiosa-siltosa, massiva, di colore 10YR 5/8 (<i>yellowish brown</i>). Limite superiore troncato
Ap	60-80 cm	Orizzonte agricolo troncato al tetto. Ghiaie da medie a grossolane, comuni pietre, massivo scarsamente addensato, con comuni apparati radicali fini. Comune matrice siltosa sabbiosa, di colore 10YR 5/3 (<i>brown</i> , colore preso in condizioni di umidità)

Tabella IV.5 – Edificio Centrale – Fossato Interno, Sezione Geo1. Descrizione delle facies sedimentarie

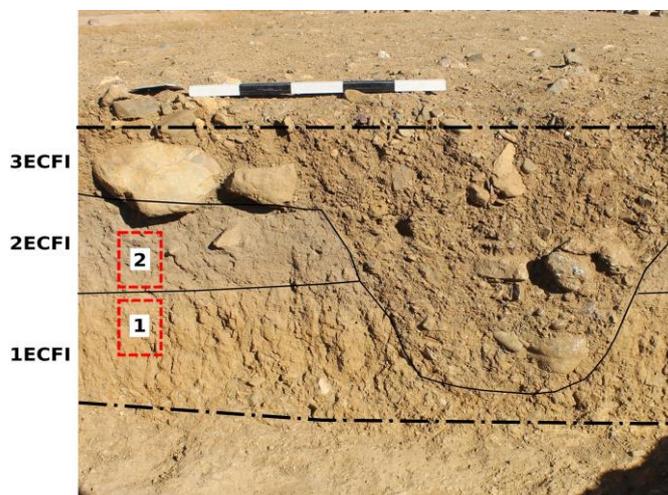


Figura IV.7 – Edificio Centrale – Fossato Interno, Sezione Geo1. Stratigrafia con riportati i punti di campionamento micromorfologico. 1) CSN_ECFI02, 2) CSN_ECFI01

IV.3.3. FOSSATO INTERNO

IV.3.3.1. Caratteristiche generali

Il fossato interno ha un diametro di ca. 39 m, per una circonferenza di ca. 122,5 m. Nella trincea D417 il fossato ha una larghezza di ca. 4 m e una profondità di ca. 2 m., sebbene non si possa escludere una profondità maggiore, dato che la sommità del riempimento è troncata dall'orizzonte agricolo moderno. Assumendo che le dimensioni del fossato siano relativamente costanti per tutta la circonferenza, il volume di materiale scavato per la sua costruzione ammonta a ca. 641 m³.

La parte più profonda del fossato è scavata all'interno delle ghiaie che costituiscono il corpo del conoide alluvionale tardopleistocenico, mentre solo la parte sommitale, ca. 30 cm di spessore, è scavata a spese dei depositi archeologici più antichi. La geometria della sezione del fossato risulta simmetrica sia nella sponda interna che in quella esterna.

IV.3.3.2. NFS_D417

La sezione (Fig. IV.8) è stata realizzata nella campagna di scavo 2016 ed è ubicata nella trincea D417 nell'area NE rispetto all'edificio centrale (Fig. IV.3). La descrizione delle facies riconosciute è riportata in Tab. IV.6. Nel complesso, il riempimento è sciolto e poco addensato, costituito prevalentemente da ghiaie e blocchi non selezionati con clasti da subarrotondati a subangolosi con scarsa matrice siltosa di colore variabile da bruno scuro a bruno chiaro, con alcune eccezioni (cfr. Facies 5 e Facies 10). Gli strati mostrano geometrie lenticolari concordanti con la geometria del fossato evidenziando apporti sedimentari sia dall'interno che dall'esterno; inoltre si riconoscono due buche di palo riempite (facies 7, 9a/9b) che tagliano la stratigrafia.

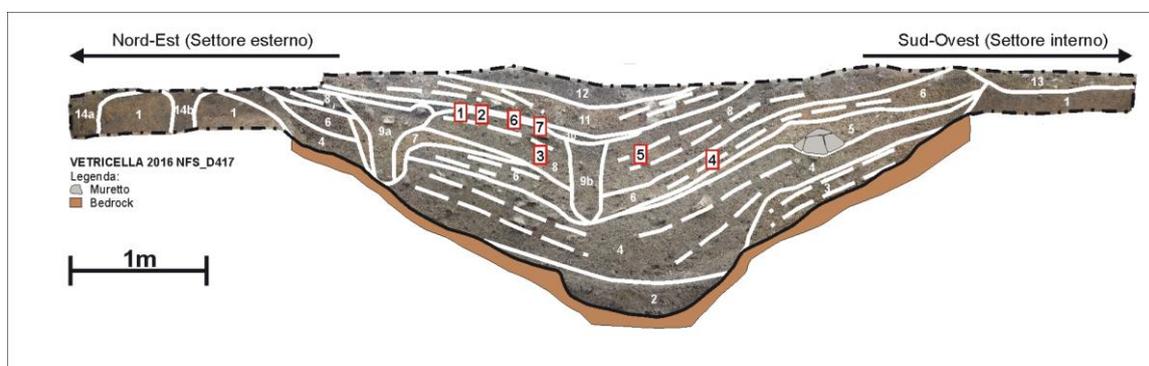


Figura IV.8 – Fossato interno, Trincea D417. Ortofoto sezione NFS_D417 con rappresentate le facies geoarcheologiche e i punti di campionamento micromorfologico. 1) CSN_D41701; 2) CNS_D41702; 3) CSN_D41703; 4) CSN_D41705; 5) CSN_D41706; 6) CSN_D41707; 7) CSN_D41708

NFS_D417	
Facies	Descrizione
1	Successione archeologica del piano del sito di Vetricella tagliata dal fossato, si osserva sia nel settore esterno che interno; limite inferiore non raggiunto e limite superiore troncato dall'orizzonte agricolo; nel settore interno il limite superiore con 13 è erosivo. Ghiaie eterometriche, da fini a grossolane, da subarrotondate ad angolose, scarsamente addensate e sabbie grossolane. Comune matrice siltosa-sabbiosa massiva, da bruno scuro a bruno chiaro. Comuni frustoli carboniosi e rari frammenti di ceramica
2	Si imposta alla base del fossato a contatto con il substrato, limite superiore erosivo con 4. Ghiaie da fini a grossolane da subarrotondate a subangolose scarsamente addensate, con occasionali pietre subangolose pluricentriche. Comune matrice siltosa-sabbiosa, colore bruno scuro, massiva
3	Si osserva nella porzione interna a contatto con il substrato, limite superiore erosivo con 4. Ghiaie poco selezionate da fini a grossolane, comuni pietre pluricentriche, da subangolose ad angolose debolmente orientate e stratificate con stratificazione incrociata planare. Comune matrice siltosa-sabbiosa, massiva di colore 7.5YR 5/2 (<i>brown</i>)
4	Spessore massimo nella porzione interna, si assottiglia nella porzione esterna ed interna. Copre 2 e 3 mentre nella porzione esterna si appoggia direttamente al substrato; limite superiore erosivo con 5 e 6, troncata al tetto dall'orizzonte agricolo e tagliata dal riempimento della buca di palo 7. Ghiaie eterometriche poco selezionate da fini a grossolane e sabbie grossolane, debolmente orientate e stratificate, poco addensate, comuni pietre pluridecetriche da subangolose ad angolose, con stratificazione incrociata planare. Le pietre formano delle <i>stone-lines</i> . Scarsa matrice siltosa-sabbiosa massiva, di colore 7.5YR 5/2 (<i>brown</i>). Scarsa presenza di elementi archeologici ceramici e frustoli carboniosi
5	Lente localizzata nella porzione interna del fossato si approfondisce verso il centro, assottigliandosi. Copre 4, limite superiore erosivo con 6. Ghiaie poco selezionate da fini a medie da angolose a subangolose, poco addensate con matrice siltoso-sabbiosa molto scarsa. Abbondanti frammenti di malta e calce di colore grigio-biancastro, comuni frammenti di carbone di piccole-medie dimensioni, occasionalmente di grosse dimensioni e scarsi frammenti di ceramica. Alla base della facies si osserva un cumulo di pietre angolose pluridecetriche identificate archeologicamente come la base di un muretto
6	Spessore maggiore nella porzione interna, si assottiglia leggermente nella porzione interna ed esterna. Copre 4 e 5, limite superiore erosivo con 8 e troncato dall'orizzonte agricolo e da 13, tagliato da 7 e 9b. Ghiaie eterometriche debolmente orientate e stratificate da fini a medie, da subangolose ad angolose con debole stratificazione incrociata planare, localmente piano-parallela. Nella porzione centrale del fossato si accumulano pietre subangolose pluridecetriche. Comune matrice siltosa-sabbiosa con scarsa argilla massiva, di colore 7.5YR 5/3 (<i>brown</i>). Scarsi frustoli carboniosi di piccole-medie dimensioni
7	Costituisce il primo riempimento di buca di palo, si localizza della porzione esterna e si assottiglia verso la porzione centrale, taglia 6 e 4, è tagliato da 9a e coperto da 8. Ghiaie da fini a medie da subarrotondate a subangolose e sabbie grossolane con scarsa matrice siltosa-sabbiosa, massiva, di colore 7.5YR 5/ (<i>brown</i>)
8	Spessore massimo nella porzione centrale, si assottiglia leggermente sui versanti. Copre 6 e 7, limite superiore erosivo con 10 e parzialmente con 11, il tetto è troncato dall'orizzonte agricolo ed è tagliato da 9a e 9b. Ghiaie poco selezionate da fini a grossolane debolmente orientate e stratificate poco addensate, con comuni pietre pluridecetriche da subangolose ad angolose e sabbia grossolana, con stratificazione incrociata planare. Le pietre formano delle <i>stone-lines</i> . Scarsa matrice siltosa-sabbiosa massiva, di colore 7.5YR 5/3 (<i>brown</i>). Scarsa presenza di elementi archeologici ceramici e frustoli carboniosi
9a/9b	Riempimenti delle buche di palo, sedimento analogo a 7. In 9a al tetto si osservano delle pietre da subarrotondate a subangolose, pluricentriche che sigillano la buca di palo
10	Lente localizzata nella porzione esterna, si assottiglia verso il centro. Copre 8, 9a e 9b, limite superiore erosivo con 11. Facies organica fibrosa, sciolta, con elevata porosità; sottile alternanza di lenti di colore bruno scuro-nerastro costituite da materia organica e comuni frammenti carboniosi di piccole medie dimensioni e comuni frammenti di ossi animali combusti
11	Geometria simile a 6 e 8, copre 8 e 10, troncato al tetto dall'orizzonte agricolo, limite superiore erosivo con 12. Ghiaie eterometriche poco selezionate da fini a grossolane poco addensate, con comuni pietre pluridecetriche da subangolose ad angolose con comune sabbia grossolana, e stratificazione incrociata

	planare. Scarsa matrice siltosa-sabbiosa massiva, di colore 7.5YR 5/3 (<i>brown</i>). Scarsa presenza di elementi archeologici ceramici e frustoli carboniosi
12	Si osserva nella porzione centrale, copre 11 e tetto troncato dall'orizzonte agricolo. Sedimento simile a 11 ma colore 7.5YR 5/1 (<i>gray</i>), caratterizzato dalla presenza di sottili lamine e livelli di cenere e frustoli carboniosi
13	Si osserva nel settore interno della sezione esternamente al riempimento del fossato, copre 1 e taglia 6, il tetto è troncato dall'orizzonte agricolo. Ghiaie eterometriche da fini a molto grossolane pluricentriche da subarrotondate a subangolose. Matrice siltosa-sabbiosa massiva, di colore bruno chiaro-giallastro
14a/14b	Riempimenti di buche di palo localizzati nel settore esterno al fossato. Tagliano 1 e il tetto è troncato dall'orizzonte agricolo. Ghiaie eterometriche poco addensate da fini a medie subarrotondate e subangolose. Comune matrice siltosa-sabbiosa massiva, di colore bruno scuro

Tabella IV.6 – (da pag. 174) Fossato interno, Trincea D417, Sezione NFS_D417. Descrizione delle facies sedimentarie

IV.3.4. FOSSATO INTERNO – FOSSATO INTERMEDIO

L'analisi stratigrafica è stata condotta sulla sezione Geo5 (Fig. IV.9) di 80 cm di spessore, localizzata all'estremità Est della trincea D817, adiacente l'area cimiteriale, Settore Est (Fig. IV.3). La sequenza si imposta sopra i sedimenti del conoide alluvionale tardopleistocenico (UPV-Co). La sezione è stata inoltre campionata per l'analisi micromorfologica. In totale sono stati raccolti in sequenza 4 campioni micromorfologici che coprono l'intera sequenza ed il contatto tra l'orizzonte Bt (v. descrizione in Tab. IV.7) e la facies 2FI-FINT. I punti di campionamento sono riportati in Fig. IV.9. La descrizione della sequenza stratigrafica è riportata di seguito in forma tabellare (Tab. IV.7).

Fossato Interno – Fossato Intermedio – Sezione Geo5		
Facies	Spessore	Descrizione
UPV-Co		Ghiaie eterometriche molto addensate da subarrotondate a subangolose, massive, immerse in matrice argillosa. Le superfici dei clasti presentano patine bruno-rossastre di ossidi di Fe-Mn
Bt	0-40 cm	Sedimento siltoso-argilloso, con struttura poliedrica subangolosa fine, poco affermata di colore 7.5YR 5/6 (<i>strong brown</i> , colore preso in condizioni umide). Scheletro scarso con ghiaia da fine a media da subangolosa a subarrotondata, aumenta al tetto. Limite superiore erosivo
1FI-FINT	30-40 cm	Ghiaie da fini a medie con sabbia disorganizzate, addensate e massive, con comune matrice fine siltosa-argillosa, colore 7.5YR 5/8 (<i>strong brown</i> , colore preso in condizioni umide). Limite superiore ondulato
2FI-FINT	40-60 cm	Sedimento sabbioso-siltoso, massivo, di colore 10YR 4/1 (<i>dark gray</i> , colore preso in condizioni umide). Scheletro scarso, con ghiaie da fini a medie da subarrotondate a subangolose. Limite superiore troncato
Ap	60-80 cm	Orizzonte agricolo troncato al tetto. Ghiaie da medie a grossolane, comuni pietre, massivo scarsamente addensato, con comuni apparati radicali fini. Comune matrice siltosa sabbiosa, di colore 10YR 5/3 (<i>brown</i> , colore preso in condizioni di umidità)

Tabella IV.7 – Fossato Interno – Fossato Intermedio, Trincea D817, Sezione Geo5. Descrizione delle facies sedimentarie

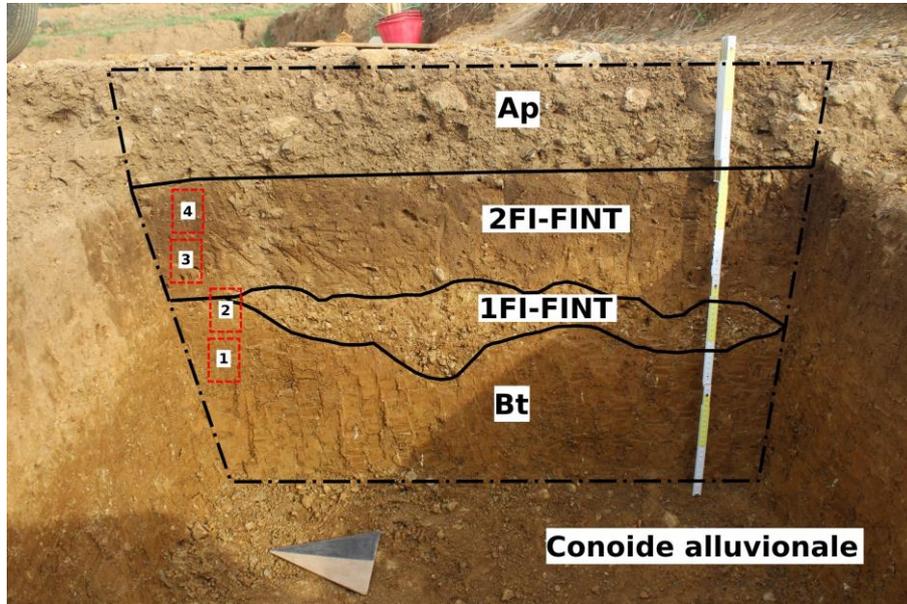


Figura IV.9 – Fossato Interno – Fossato Intermedio, Trincea D817, Sezione Geo5, con riportati i punti di campionamento micromorfologico, 1) CSN_D81707, 2) CSN_D81706, 3) CSN_D81705, 4) CSN_D81704.

IV.3.5. FOSSATO INTERMEDIO

IV.3.5.1. Caratteristiche generali

Il fossato intermedio ha un diametro stimato di 77 m per una circonferenza di 241 m. Le trincee hanno rivelato una larghezza media del fossato di 8 metri, ed una profondità di ca. 2 metri, sebbene non si possa escludere una profondità maggiore dato che il rilievo topografico ha subito profonde modifiche a causa delle lavorazioni agricole moderne. La base del fossato, misurata con rilievo topografico in tutte e quattro le trincee, è costante a quota 11,7 m s.l.m. evidenziando l'assenza di pendenze tra i settori indagati (Fig. IV.10).

Anche in questo caso, il fossato è stato scavato all'interno dei sedimenti del conoide alluvionale tardopleistocenico. Approssimando una sezione costante del fossato, determinata attraverso l'analisi geometrica e dimensionale, è possibile stimare che il volume complessivo di sedimenti ghiaiosi estratti per lo scavo del fossato sia di 2477 m³.

La geometria della sezione del fossato presenta caratteristiche omogenee; in particolare nella porzione interna è presente un gradino di 1 m di altezza e 1,5 m di larghezza che individua in

questo modo la porzione più profonda del fossato nel settore centrale ed esterno (Fig. IV.11 e Tab. IV.8).

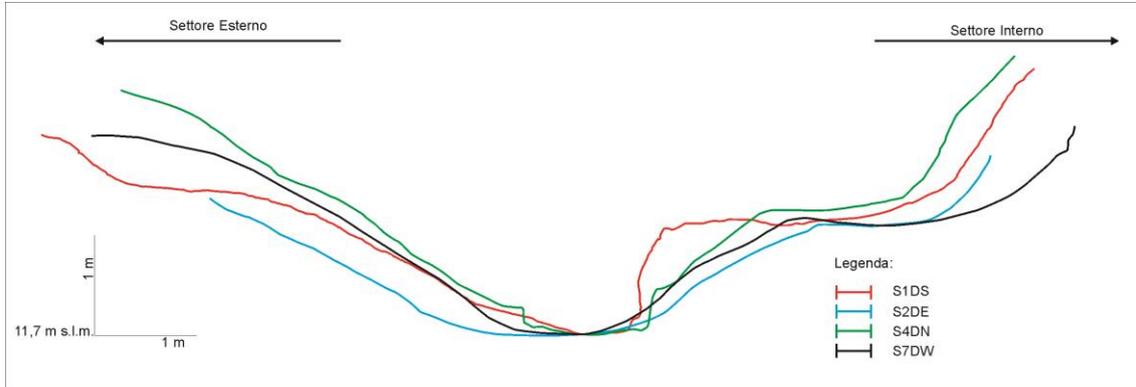


Figura IV.10 – Geometria del fossato intermedio ricavata dai profili delle trincee scavate

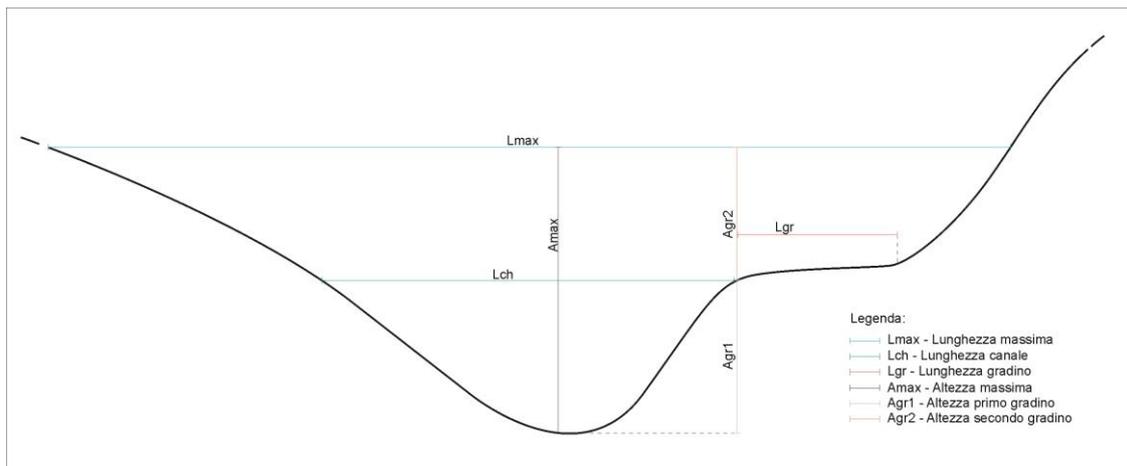


Figura IV.11 – Parametri utilizzati per il calcolo delle geometrie e dei volumi del fossato intermedio (si veda Tab. IV.4 associata). Legenda: **Lmax** – Lunghezza massima del fossato; **Lch** – Lunghezza canale profondo; **Lgr** – Lunghezza gradino; **Amax** – Altezza massima del fossato intermedio; **Agr** – Altezza gradino.

Trincea	Lmax (m)	Lch (m)	Lgr (m)	Amax (m)	Agr1 (m)	Agr2 (m)	Vol. (m ³)
S1DS	8,9	3,1	1,8	2,2	1	1,2	695,8
S2DE	7,4	5	1,1	1,7	0,9	0,8	483,2
S4DN	8,2	3,8	1,5	2,1	1,1	1	576,8
S7DW	8,6	4	1,5	2	1	1	721,2
Volume totale (m³)							2477

Tabella IV.8 – Misure principali del fossato intermedio ricavate dai parametri riportati in Fig. IV.11, con legenda associata.

IV.3.5.2. Cronologia

Nella fase attuale della ricerca archeologica, sono state ottenute tre datazioni radiocarboniche, rispettivamente 2 dalla sezione S4DN e 1 dalla sezione S7DW, riportate in Tab. IV.9. Le datazioni, effettuate sia su microcarboni sia su un legno carbonizzato individuato alla base della facies 5 in S4DN, riguardano solamente le facies di riempimento fini. Le cronologie ha disposizione inquadrano cronologicamente le fasi centrali di riempimento del fossato intermedio tra ca. VIII-IX sec. AD.

Trincea	ID	Materiale	Cod. Lab	Facies	Età (BP)	Età cal. (BC/AD)
S7DW	CSN18_S7DW_CH3	Carboni	Fi-4045	Base facies 3	1243±47 BP	686-778 cal AD
S4DN	CSN18_CCH_BULK	Legno carbonizzato	Fi-4038	Base facies 5	1161±45 BP	800-899 cal AD
	CSN18_S4DN_CH5	Carboni	Fi-4037	Tetto facies 5	1103±48 BP	891-991 cal AD

Tabella IV.9 – Elenco delle datazioni radiocarboniche (BP) ed età calibrate (BC/AD) del Fossato Intermedio

IV.3.5.3. Descrizione delle sezioni stratigrafiche

Di seguito vengono riportate le caratteristiche principali delle trincee scavate nel fossato intermedio. Le descrizioni delle facies sono riportate in forma tabellare. Attualmente non esiste una corrispondenza stratigrafica e numerale tra le 4 sezioni descritte del fossato intermedio, data l'impossibilità di effettuare una correlazione stratigrafica a causa della distanza tra le trincee e la scarsità di dati geocronologici a supporto.

S1DS

La trincea è stata scavata nel settore Sud del sito archeologico (Fig. IV.3). Durante le fasi di scavo è stato rinvenuto, sul lato interno del fossato, un muretto formato da pietre, prevalentemente calcaree, di dimensioni variabili da pluricentriche a pluridecimetriche, immerse nella matrice argilloso-siltosa della facies 2b (Fig. IV.12). Non è stata osservata la presenza di leganti. Il muretto si appoggia sul gradino di ca. 1 m scavato nella parte interna. La presenza di questo muretto non ha permesso l'esposizione diretta della sezione stratigrafica nella parte interna ad esso. La successione tuttavia è stata ricostruita sulla base delle evidenze desumibili da piccoli saggi manuali effettuati durante la descrizione. La descrizione delle facies riconosciute nella sezione esposta (Fig. IV.13) è riportata in Tab. IV.10.

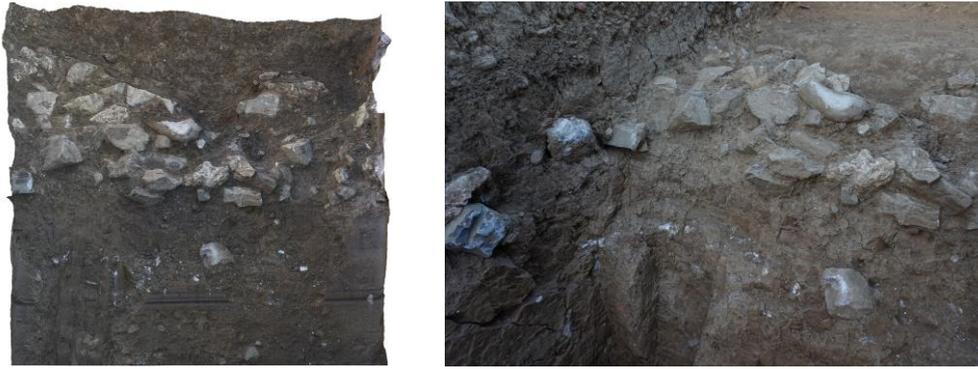


Figura IV.12 – S1DS. Muretto di pietre. Si noti al di sotto del muretto, in entrambe le immagini, il livello di bivalvi Umea in posizione di vita. **A sinistra:** visione frontale. **A destra:** vista laterale del muretto, in appoggio al gradino.

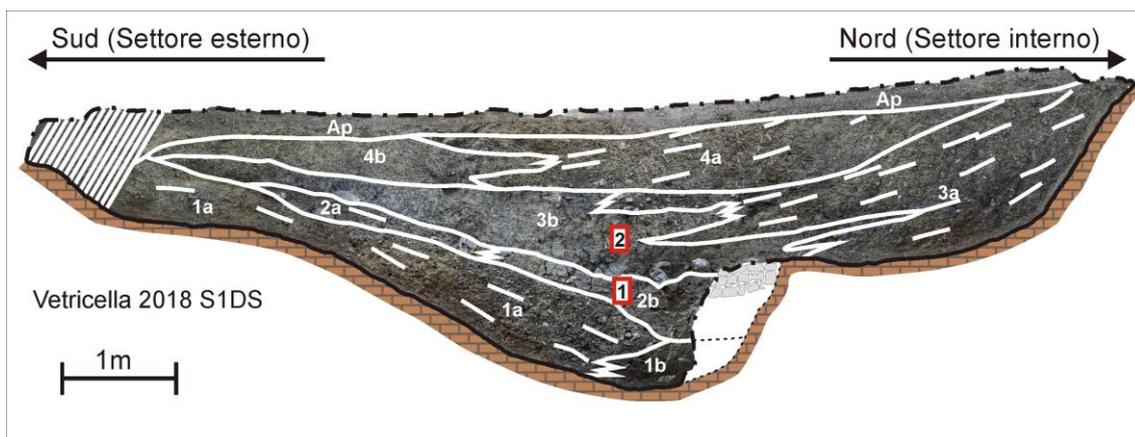


Figura IV.13 – Fossato Intermedio. Ortofoto sezione S1DS con rappresentate le facies sedimentarie e la localizzazione dei punti di campionamento micromorfologico. 1) CSN_S1DS2b, 2) CSN_S1DS3b

S1DS	
Facies	Descrizione
1a	Si osserva alla base del fossato nella porzione interna con passaggio laterale a 1b; limite superiore con 2a paraconforme, erosivo con 2b. Ghiaie fini a medie, da arrotondate a subarrotondate debolmente orientate e stratificate, scarsamente selezionate con matrice sabbiosa grossolana, mediamente addensate con porosità da scarsa a media. Stratificazione sottile da piano-parallela a incrociata planare a basso angolo. Comuni screziature rossastre, colore 7.5YR 6/8 (<i>reddish yellow</i>). Scarsi costituenti antropici, prevalentemente frammenti di ceramica, rari ossi animali. Le ghiaie provengono dal corpo della conoide al cui interno è scavato il fossato
1b	Si imposta alla base del fossato nella porzione centrale, passaggio laterale a 1a, erosivo a 2b. L'estensione del livello e i limiti nella porzione interna al muretto (non scavata) sono stati ricostruiti. Argille siltose e silts argillosi, massive o debolmente stratificate, con porosità scarsa, colore 10YR 4/2 (<i>dark grayish brown</i>). Screziature rossastre comuni, colore 7.5YR 6/8 (<i>reddish yellow</i>). Presenza di scarsi frustoli carboniosi. Ghiaie fini e medie scarse immerse nella matrice
2a	Localizzato nella porzione esterna, passa lateralmente a 2b. Limite superiore erosivo con 3b. Ghiaie eterometriche medie e fini da sub-angolose ad angolose, addensate, debolmente orientate e stratificate, con matrice sabbioso-siltosa di colore 10YR 6/2 (<i>light brownish gray</i>) e porosità media. Rare pietre di dimensioni decimetriche. Le ghiaie provengono dal corpo del conoide al cui interno è scavato il fossato. Presenza di materiali antropici costituiti da comuni frustoli carboniosi e scarsi ossi animali combusti
2b	Passaggio laterale alla porzione basale di 3a nella porzione interna al muretto, limite superiore erosivo. Argille siltose e silts argillosi con sabbie, massive o debolmente stratificate, porosità scarsa, di colore 10YR 4/2 (<i>dark grayish brown</i>). Debole struttura poliedrica sub-angolosa. Screziature rossastre comuni, colore 7.5YR 6/8 (<i>reddish yellow</i>). Occasionali frammenti ceramici e scarse ghiaie fini e medie immerse nella matrice. Al tetto si osserva un livello di bivalvi lamellibranchi di colore bianco, probabilmente Unio, fam. <i>Unionidae</i> , in posizione di vita
3a	Localizzato nella porzione interna con passaggio laterale a 3b nella porzione centrale. Limite superiore erosivo con 4a, il livello è troncato dall'orizzonte agricolo Ap nella porzione più interna. Ghiaie eterometriche medie e fini da sub-angolose ad angolose, addensate, debolmente stratificate con stratificazione piano-parallela o incrociata a basso angolo, con matrice sabbioso-limosa di colore 10YR 6/2 (<i>light brownish gray</i>) e con porosità da scarsa a media. Lateralmente verso la porzione centrale sono presenti accumuli di clasti angolosi più grossolani. Le ghiaie provengono dal corpo del conoide al cui interno è scavato il fossato
3b	Passaggio laterale ed erosivo a 3a, limite superiore erosivo. Argille siltose e silts argillosi con sabbie, massive o debolmente stratificate, con porosità scarsa, di colore 10YR 4/2 (<i>dark grayish brown</i>). Struttura poliedrica subangolosa da fine a media debolmente sviluppata. Screziature rossastre comuni, colore 7.5YR 6/8 (<i>reddish yellow</i>). Rari frammenti ceramici e scarse ghiaie fini e medie immerse nella matrice e rari clasti subangolosi pluricentimetrici alla base del livello disposti parallelamente alla superficie
4a	Localizzato nella porzione interna, troncato al tetto dall'orizzonte agricolo. Passaggio laterale a 4a. Ghiaie medie e fini, scarsamente selezionate, con abbondante matrice sabbiosa con deboli screziature rossastre 7.5YR 6/8 (<i>reddish yellow</i>), debolmente stratificato con stratificazione incrociata planare a basso angolo. Scarsi clasti pluricentimetrici più abbondanti alla base dei sets, debolmente orientati e stratificati. Le ghiaie provengono dal corpo del conoide al cui interno è scavato il fossato
4b	Localizzato nella porzione esterna con passaggio laterale a 4a, limite superiore troncato dall'orizzonte agricolo. Facies identica a 4a ma massiva e non stratificata
Ap	Orizzonte agricolo

Tabella IV.10 – Fossato intermedio, S1DS. Descrizione delle facies sedimentarie riconosciute

S2DE

Trincea realizzata nel Settore Est (Fig. IV.3). La base del riempimento si differenzia dalle altre sezioni per la presenza di sedimenti contenenti abbondante materiale archeologico (Fig. IV.14) (principalmente ceramiche, comuni carboni anche di grosse dimensioni, scarsi ossi animali combusti, occasionalmente calcinati e rari elementi ferrosi) che costituisce circa il 70% della facies 2. La descrizione delle facies riconosciute nella sezione esposta (Fig. IV.15) è riportata in Tab. IV.11.



Figura IV.14 – S2DE. Particolare di facies 2, con abbondanti frammenti di carboni (freccia verde), frammenti ceramici (freccia bianca) e ossi animali combusti (freccia rossa)



Figura IV.15 – Fossato Intermedio. Ortofoto sezione S2DE con rappresentate le facies sedimentarie e la localizzazione dei punti di campionamento micromorfologico. 1) CSN_S2DE5b, 2) CSN_S2DE7

S2DE	
Facies	Descrizione
1	Strato che riveste la base del fossato con spessori maggiori nella porzione esterna, si assottiglia verso il centro e la porzione interna. Limite superiore con 2 e 4 erosivo. Ghiaie da medie a fini, da angolose a subarrotondate, poco selezionate, addensate, debolmente orientate e stratificate con stratificazione piano parallela e abbondante matrice siltoso-sabbiosa e subordinata argillosa. Rara presenza di lenti sabbiose grossolane
2	Seppellisce parzialmente 1 nella porzione esterna ed interna. Limite superiore con 3b e 3a erosivo. Ghiaie da fini a medie, da angolose a subarrotondate, scarsamente addensate, debolmente stratificate con stratificazione piano parallela e abbondante matrice siltoso-sabbiosa. Le ghiaie provengono dal corpo del conoide alluvionale all'interno del quale è scavato il fossato. Frammisti alle ghiaie abbondanti materiali archeologici quali ceramica, scarse scorie di fusione, scarsi ossi animali combusti e comuni frammenti di carbone di grosse dimensioni
3a	Si osserva nella porzione centrale con passaggio laterale a 3b. Limite superiore con 4 e 5b erosivo. Silt argilloso-sabbiosi, massivi con ghiaie fine e medie subangolose immerse nella matrice. Abbondanti screziature rossastre, comuni frustoli carboniosi
3b	Localizzato nella porzione esterna. Limite superiore troncato dall'orizzonte agricolo ed erosivo con 5b. Ghiaie medie e fini, da subangolose ad angolose, con stratificazione piano parallela, poco addensate, sabbie eterometriche con aumento della frazione sabbiosa verso il tetto e abbondante matrice siltoso-sabbiosa. Le ghiaie provengono dal corpo del conoide alluvionale all'interno del quale è scavato il fossato
4	Sottile livello localizzato nella porzione interna, si assottiglia leggermente nella porzione centrale. Limite superiore con 5b e 5a erosivo. Ghiaie medie e sabbie grossolane, poco addensate, con scarsa matrice siltoso-sabbiosa. I clasti più grossolani sono debolmente orientati parallelamente alla stratificazione. Rara presenza di frustoli carboniosi e clasti con evidenza di termoalterazione
5a	Localizzato nella porzione interna in corrispondenza del gradino. Limite superiore con 8 erosivo. Ghiaie da fini a grossolane con evidenze di termoalterazione, immerse in matrice siltoso-sabbiosa, massiva con debole struttura poliedrica subangolosa
5b	Localizzato nella porzione centrale, si assottiglia lateralmente. Limite superiore con 6 erosivo. Silt argilloso massivi di colore 7.5YR 4/2 (<i>brown</i>) con struttura poliedrica subangolosa mediamente sviluppata, localmente prismatica, scarsa porosità e abbondanti screziature rossastre 7.5YR 6/8 (<i>reddish yellow</i>). Scheletro scarso, ciottoli subarrotondati, immersi nella matrice; alla base del livello si concentrano clasti grossolani subangolosi, alcuni dei quali termoalterati. Comuni frustoli carboniosi. Scarsa presenza alla base di molluschi bivalvi in posizione di vita (probabilmente Unio, fam. <i>Unionidae</i>)
6	Sottile strato localizzato nella porzione centrale. Limite superiore con 7 erosivo. Silts argillosi massivi con abbondanti clasti medio-fini termoalterati immersi nella matrice. Rari frustoli carboniosi.
7	Localizzato nella porzione centrale, è troncato al tetto dall'orizzonte agricolo. Silt argilloso di colore 7.5YR 5/3 (<i>brown</i>) massivi con struttura poliedrica subangolosa debolmente sviluppata e porosità scarsa. Comuni screziature rossastre 7.5YR 6/8 (<i>reddish yellow</i>) e noduli di Fe/Mn e scarsi clasti ghiaiosi subarrotondati medio-fini immersi in matrice. Rari frustoli carboniosi
8	Localizzato nella porzione interna con immersione verso la porzione centrale. Limite superiore con 9 paraconcordante. Ghiaie da fini a grossolane, da subarrotondate ad angolose e sabbie grossolane, debolmente orientate e stratificate con strati piano paralleli. Abbondante matrice siltoso-sabbiosa di colore 7.5YR 4/2 (<i>brown</i>)
9	Localizzato nella porzione interna con immersione verso la porzione centrale. È troncato al tetto dall'orizzonte agricolo. Caratteristiche simili a 8 ma con maggior selezione delle ghiaie
Ap	Orizzonte agricolo

Tabella IV.11 – Fossato intermedio, S2DE. Descrizione delle facies sedimentarie riconosciute

S4DN

Trincea realizzata a Nord del sito di Vetricella. Alla base dello scavo è stata osservata la risalita della falda che non ha consentito l'osservazione accurata dei limiti e delle caratteristiche del riempimento basale. Nel settore esterno del fossato è stato osservato l'orizzonte argillico del paleosuolo (Fig. IV.16) che altera la sommità del deposito del conoide alluvionale all'interno della quale è stato scavato il fossato e che costituisce l'orizzonte troncato profondo di ciò che rimane della superficie topografica originale, oggetto dell'occupazione altomedievale. L'Unità 5 ha restituito due livelli contenenti materiale adatto ad effettuare datazioni radiocarboniche (Tab. IV.9): alla base (800-899 AD) e al tetto (891-991 AD). La descrizione delle facies riconosciute nella sezione esposta (Fig. IV.17) è riportata in Tab. IV.12.



Figura IV.16 – S4DN. Orizzonte argillico profondo tagliato dal fossato intermedio e troncato al tetto dai lavori agricoli moderni. Si noti la struttura poliedrica ben affermata.

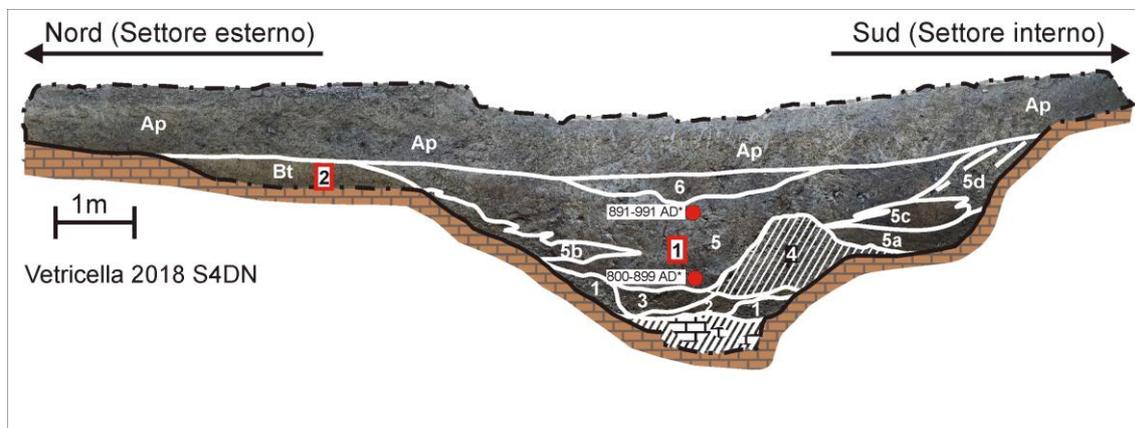


Figura IV.17 – Fossato Intermedio, Ortofoto sezione S4DN con rappresentate le facies sedimentarie e la localizzazione dei punti di campionamento 14C (punti rossi) e micromorfologico 1) CSN_S4DN5, 2) CSN_S4DN_Bt

S4DN	
Facies	Descrizione
Bt	Localizzato nel Settore esterno. Parte profonda dell'orizzonte di suolo Bt che altera il conoide alluvionale tardopleistocenico all'interno del quale è stato scavato il fossato, troncato al tetto dall'orizzonte agricolo. Siltoso-argilloso, struttura poliedrica da fine a media, sub angolosa, ben affermata, localmente prismatica fine, colore 10YR 5/6 (<i>yellowish brown</i>), scheletro scarso, ghiaioso fine, rivestimenti argillosi sugli aggregati piccoli.
F	Porzione basale centrale della successione disturbata dalla presenza della risalita della falda attuale, con abbondanti figure di precipitazione di carbonati.
1	Localizzato nella porzione centrale basale. Ghiaie massive da fini a grossolane, da sub arrotondate a sub angolose con quantità variabili di matrice siltoso-argillosa, con comuni screziature 7.5YR 6/8 (<i>reddish yellow</i>). Limiti superiori con 2 e 3 erosivi.
2	Localizzato nella porzione centrale basale. Silt argillosi massivi 7.5YR 4/2 (<i>brown</i>), addensati con scarsi pori piccoli e screziature 5YR 4/4 (<i>reddish brown</i>) e comuni noduli di Fe-Mn. Ghiaie fini scarse immerse nella matrice.
3	Localizzato nella porzione centrale basale. Argille siltose massive, di colore 7.5YR 4/2 (<i>brown</i>) con comuni screziature rossastre e noduli fini di Fe-Mn. Limite superiore erosivo. Ghiaie fini scarse immerse nella matrice, rari frustoli carboniosi.
4	Localizzato nella porzione centrale/interna, si appoggia e copre il gradino interno. Ghiaie da medie a fini con sabbie grossolane, massive e scarsa matrice siltoso-argillosa con rari frammenti ceramici. Il livello ha forma convessa verso l'alto.
5	Spessore massimo nella porzione centrale, si assottiglia verso la porzione interna ed esterna. Silt argillosi massivi di colore 7.5YR 4/2 (<i>brown</i>) con struttura poliedrica subangolosa debolmente sviluppata, massivo con comuni screziature rossastre e noduli di Fe-Mn. Comuni ghiaie medio-fini localmente allineate a formare deboli <i>stone-lines</i> . Scarsi frustoli carboniosi. Rari ossi bruciati e frammenti ceramici. Passaggio laterale a 5a, 5b, 5c e 5d. Limite superiore erosivo con 6. È localmente troncato al tetto dall'orizzonte agricolo.
5a	Si osserva nella porzione interna, all'interno della depressione individuata da 4. Limite superiore con 5c erosivo. Silt argilloso-sabbiosi massivi, 7.5YR 4/2 (<i>brown</i>), con abbondanti screziature rossastre, addensati con porosità scarsa. Ghiaie fini rare immerse nella matrice.
5b	Localizzato nella porzione esterna, in appoggio diretto sul substrato. Passaggio laterale a 5. Ghiaie massive da medie a fini, da subangolose a subarrotondate, localmente debolmente allineate e quantità variabili di matrice siltoso-sabbiosa.
5c	Localizzato nella porzione interna, in corrispondenza della depressione individuata da 4. Limite superiore con 5d erosivo. Sabbie medio-grossolane e silts argillosi massivi, scarsamente porosi, di colore 7.5YR 5/4 (<i>brown</i>), con abbondanti screziature rossastre. Ghiaie da medie a fini, subangolose e subarrotondate immerse nella matrice. Rari frustoli carboniosi da subarrotondati a subangolosi.
5d	Localizzato nella porzione interna, in appoggio diretto sul substrato, passaggio laterale a 5. Ghiaie eterometriche da medie a grossolane debolmente orientate e stratificate, da subangolose a subarrotondate, con sabbie grossolane con abbondante matrice siltoso-argillosa e rari frustoli carboniosi.
6	Localizzato nella porzione centrale al tetto. Sottile livello siltoso-argilloso massivo con abbondanti ghiaie da fini a medie immerse in matrice. Troncato al tetto dall'orizzonte agricolo.
Ap	Orizzonte agricolo

Tabella IV.12 – Fossato intermedio, S4DN. Descrizione delle facies sedimentarie riconosciute

S7DW

Trincea realizzata a Ovest del sito di Vetricella (Fig. IV.3). Alla base dell'unità 6 è stata ottenuta una datazione radiocarbonica (686-788 AD, Tab. IV.9). La descrizione delle facies riconosciute nella sezione esposta (Fig. IV.18) è riportata in Tab. IV.13.

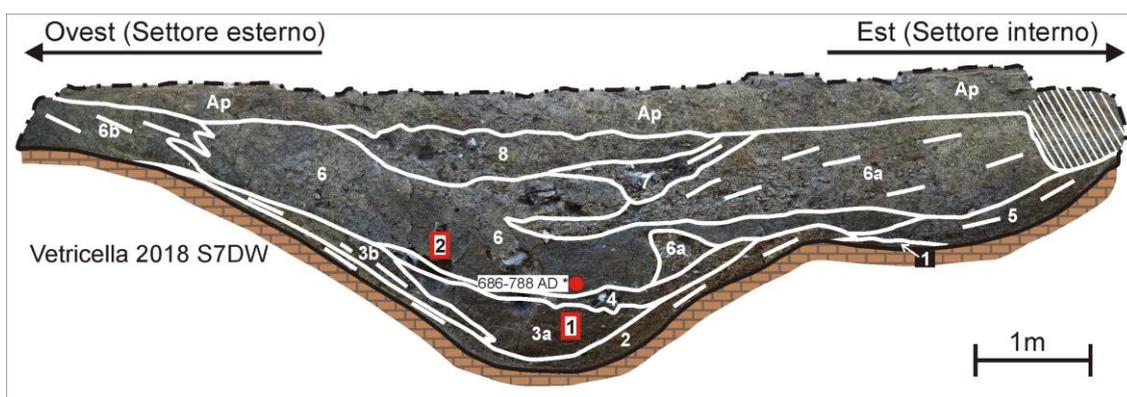


Figura IV.18 – Fossato Intermedio, Ortofoto sezione S7DW con rappresentate le facies sedimentarie e la localizzazione dei punti di campionamento 14C (stella rossa) e micromorfologico 1) CSN_S7DW3a, 2) CSN_S7DW6

S7DW	
Facies	Descrizione
1	Sottile livello localizzato nella porzione interna, sul gradino interno, in appoggio al substrato. Silt argillosi massivi, 7.5YR 4/2 (<i>brown</i>), con rari clasti ghiaiosi medio-fini subarrotondati immersi in matrice. Limite superiore con 2 e 5 erosivo.
2	Localizzato nella porzione centrale basale. Ghiaie da fini a grossolane da subarrotondate e angolose e sabbie grossolane, debolmente orientate e stratificate con stratificazioni piano parallele. Matrice siltoso argillosa scarsa e rari frustoli carboniosi.
3a	Localizzato nella porzione centrale basale con passaggio laterale a 3b e limite superiore con 4 erosivo. Silts argillosi massivi con struttura poliedrica subangolosa debolmente sviluppata di colore 10YR 4/2 (<i>dark greyish brown</i>) e abbondanti screziature 7,5YR 4/6 (<i>strong brown</i>). Scarse ghiaie da medie a grossolane da subarrotondate a subangolose immerse in matrice. Rari frustoli carboniosi.
3b	Localizzato nella porzione esterna, localmente in appoggio diretto sul substrato. Passaggio laterale a 3a e erosivo con 4, 6 e 6b. Ghiaie eterometriche da fini a grossolane da subarrotondate ad angolose e sabbie grossolane, debolmente orientate e stratificate con stratificazione piano parallela. Matrice siltoso-sabbiosa scarsa. Aumento della frazione sabbiosa verso la porzione centrale e i clasti sono più grossolani. Comuni screziature 7,5YR 4/6 (<i>strong brown</i>).
4	Sottile livello localizzato nella porzione centrale. Limite superiore con 6 e 6a erosivo. Silt argillosi massivi, addensati, con porosità scarsa, di colore 7,5YR 3/2 (<i>dark brown</i>), con comuni screziature 10YR 5/8 (<i>yellowish brown</i>). Locale presenza di pietre pluricentriche e ghiaie medio-fini immerse nella matrice. Rari frustoli carboniosi.
5	Localizzato nella porzione interna in appoggio diretto sul substrato e in contatto inferiore su 1 erosivo. Limite superiore con 6a erosivo e passaggio laterale a 6. Ghiaie eterometriche da fini a grossolane da subarrotondate ad angolose e sabbie grossolane debolmente stratificate con stratificazione incrociata planare. Matrice siltoso-sabbiosa scarsa. Comuni screziature 7,5YR 4/6 (<i>strong brown</i>).
6	Spessore massimo nella porzione centrale, si assottiglia verso le porzioni interna ed esterna. Passaggio laterale a 6a e 6b ed erosivo con 8. Silts argillosi massivi con struttura poliedrica subangolosa debolmente sviluppata, colore 10YR 4/2 (<i>dark greyish brown</i>) e abbondanti screziature 7,5YR 4/6 (<i>strong brown</i>). Scarse ghiaie da medie a grossolane da subarrotondate a subangolose immerse in matrice. Alla base sono presenti pietre angolose da pluricentriche a pluridecetriche immerse nella matrice. Scarsi frustoli carboniosi alla base del livello.
6a	Localizzato nella porzione interna, si assottiglia verso il centro. Limite superiore con 7 erosivo e troncato al tetto dall'orizzonte agricolo. Ghiaie eterometriche, da fini a grossolane, da subarrotondate ad angolose debolmente orientate, scarsamente addensate, con stratificazione incrociata planare. Alcuni clasti mostrano evidenze di termoalterazione. Quantità variabile di matrice siltoso-sabbiosa. Aumento della matrice siltoso-argillosa verso la porzione centrale, di colore 7.5YR 5/2 (<i>brown</i>). Scarsi frammenti ceramici e frustoli carboniosi.
6b	Localizzato nella porzione esterna, in appoggio sul substrato e su 3b. Il limite superiore è troncato dall'orizzonte agricolo. Ghiaie eterometriche, da fini a grossolane, da subarrotondate ad angolose, scarsamente addensate e sabbie grossolane, con debole stratificazione incrociata planare.
7	Localizzato nella porzione centrale, limite superiore con 8 erosivo e troncato dall'orizzonte agricolo. Lente formata da ghiaie eterometriche, da fini a grossolane, da subarrotondate ad angolose, scarsamente addensate e sabbie grossolane, con debole stratificazione incrociata planare e rare pietre di maggiori dimensioni.
8	Localizzato nella porzione centrale, è troncato al tetto dall'orizzonte agricolo. Ghiaie da fini a grossolane da subarrotondate ad angolose e sabbie grossolane massive con abbondante matrice siltoso-sabbiosa. Alcuni clasti mostrano evidenze di forte termoalterazione.
Ap	Orizzonte agricolo

Tabella IV.13 – Fossato intermedio, S7DW. Descrizione delle facies sedimentarie riconosciute

CAPITOLO IV.4 - ANALISI MICROMORFOLOGICA

Il dato analitico della descrizione micromorfologica è riportato nelle tabelle di Annesso IV (Tabb. AIV.1, AIV.2 e AIV.3). In questo capitolo vengono riportate le principali caratteristiche micromorfologiche riferibili alle microfacies riconosciute. In considerazione del fatto che i campioni analizzati provengono da diversi settori dove le caratteristiche delle stratigrafie sono strettamente dipendenti dalle attività antropiche, l'analisi delle microfacies è stata condotta raggruppando le sezioni sottili descritte sulla base dell'uso dei diversi settori, non seguendo quindi la nomenclatura archeologica delle unità stratigrafiche. In considerazione di ciò, si riconoscono le microfacies PI (Pre-Insediamento), OA (Occupazione Antropica), FI (Fossato Interno), FINT (Fossato Intermedio).

IV.4.1. MICROFACIES SEQUENZA ARCHEOLOGICA

IV.4.1.1. Microfacies PI (Pre-Insediamento)

Riferibile alle sezioni sottili CSN_D81701, CSN_D81707, CSN_SET3H7 e CSN_S4DN_Bt (Tav. AIV.1). La microfacies è caratterizzata da una microstruttura poliedrica subangolosa con vuoti planari discretamente accomodati (Fig. IV.19a). La porosità intrapedale è scarsa formata da biopori di piccole-medie dimensioni. La tessitura è siltosa-argillosa, massiva, di colore bruno con comuni screziature rossastre e *b-fabric* striata incrociata e granostriata concentrica attorno agli elementi più grossolani, occasionalmente porostriata (Fig. IV.19b). Lo scheletro è subordinato ma comune, alterato. Si osservano comuni elementi della sottofrazione CFg, costituita da comuni grani di quarzo e quarzite subordinata. La sottofrazione CFgg è subordinata e scarsa, con scarsi frammenti di arenaria quarzosa della taglia compresa tra sabbia grossolana e ghiaia fine. I costituenti di entrambe le sottofrazioni presentano comuni alterazioni, con argillificazione dei minerali e dissoluzione dei margini (Fig. IV.19d). Si osservano comuni aggregati argillosi subarrotondati della taglia della sabbia fine di colore bruno-rossastro interpretabili come frammenti rimaneggiati di rivestimenti di argilla, definiti in bibliografia come *papulae* (Brewer, 1976), e risultato della espansione e contrazione delle argille (Fig. IV.19e). Tra le pedofigure tessiturali sono frequenti i rivestimenti di argilla microlaminata impura e limpida di colore giallo in PPL e colore d'interferenza variabile da arancio-rosso di 1° ordine a verde di 2° ordine, occasionalmente deformati da processi vertici; localmente i rivestimenti passano a riempimenti densi completi (Fig. IV.19f-g). Localmente

(CSN_D81707) sono presenti figure di precipitazione di carbonati secondari quali rivestimenti micritici e sparitici (Figg. IV.19b-c). Sempre localmente (CSN_D81701) si osservano riempimenti densi completi di argilla impura con *fabric* di tipo *crescent*, con biopori interni di seconda generazione (Fig. IV.19h). Le pedofigure non tessiturali presentano comuni noduli ed impregnazioni di ossidi di Fe-Mn.

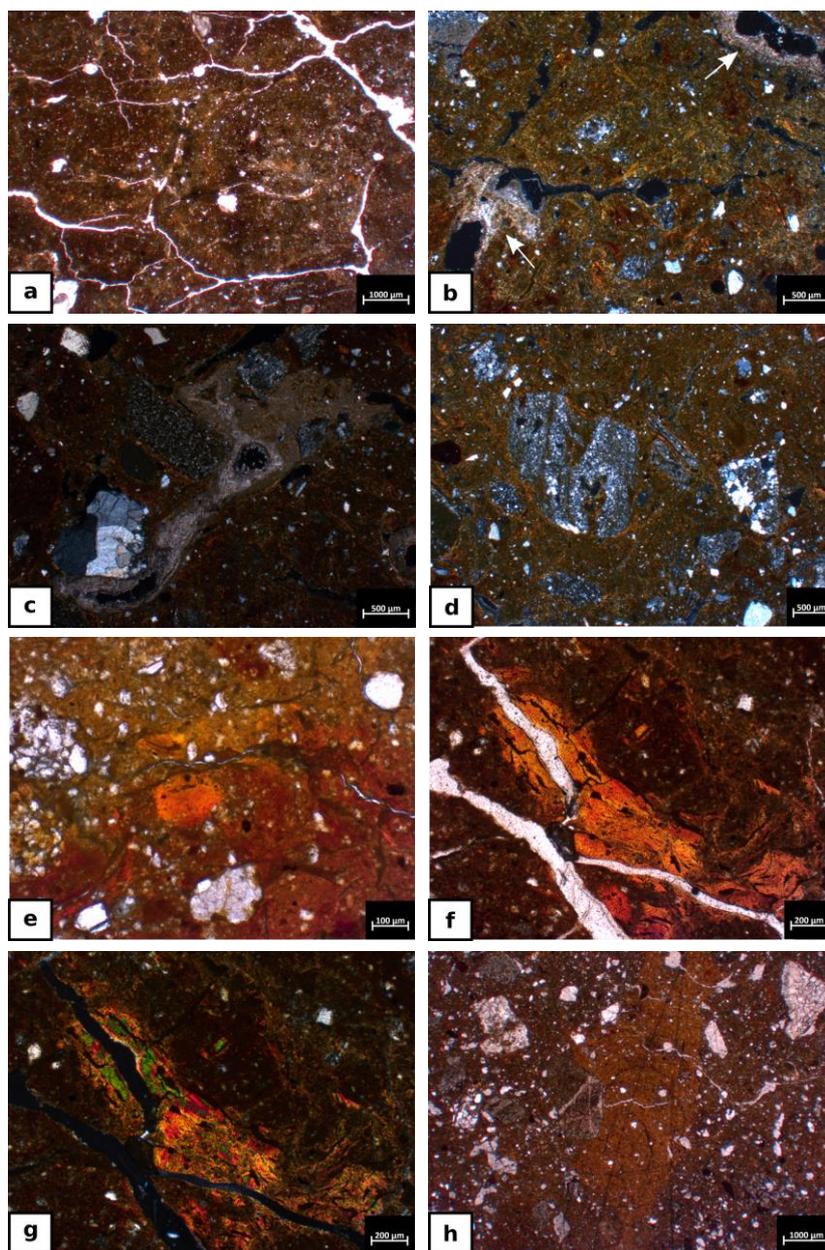


Figura IV.19 – Micrografie Microfacies Pl. **a)** microstruttura poliedrica subangolosa (CSN_S4DN_Bt, scala 1 mm, PPL); **b)** b-fabric granostriata. Si notino inoltre i rivestimenti microsparitici lungo i pori (frecche bianche) (CSN_D81707, scala 500 μm, XPL); **c)** riempimenti micritici e sparitici (CSN_D81707, scala 500 μm, XPL); **d)** sottofrazione CFgg con processi avanzati di argillificazione (CSN_D81701, scala 500 μm, XPL); **e)** papula (CSN_S4DN_Bt, scala 100 μm, PPL) **f)** rivestimento microlaminato di argilla limpida (arancione scuro) e argilla impura (giallo) con forte deformazione alla base (CSN_SET3H7, scala 200 μm, PPL); **g)** come e) ma in XPL. Si noti il colore d'interferenza; **h)** riempimento di argilla impura con fabric di tipo *crescent* (CSN_D81701, scala 1 mm, XPL).

IV.4.1.2. Microfacies OA (Occupazione Antropica)

Microfacies OA_1

Riferibile alle sezioni sottili CSN_D81702, CSN_D81706 e CSN_ECFI02. La microfacies è caratterizzata da abbondanti processi bioturbativi con canali di medie-grandi dimensioni (2-4 mm in media) comunemente riempiti da sedimento proveniente dalle microfacies sovrastanti, conferendo quindi una microstruttura a canali (Fig. IV.20c). Occasionalmente in questi riempimenti sono presenti residui di lavorazione metallurgica (Fig. IV.20a-b). L'assenza di porosità vescicolare al loro interno e le caratteristiche microstrutturali osservate in luce riflessa suggeriscono che non si tratti di scorie di lavorazione (Dungworth & Mephram, 2012; Angelini *et al.*, 2017) ma frammenti metallici raffinati.

Localmente sono presenti dei *peds* caratterizzati da una microstruttura poliedrica subangolosa, in cui si osservano le medesime caratteristiche riferibili alla microfacies PI. Nel complesso la tessitura è grossolana con scheletro poco selezionato, costituito principalmente da elementi della sottofrazione CFg con frequenti grani di quarzo subarrotondati, occasionalmente della sottofrazione CFgg, comuni lamelle di miche e scarsi frammenti di selce microcristallina. Nella sottofrazione CFgg si osservano comuni frammenti da subangolosi a subarrotondati di arenaria quarzosa. Gli elementi più grossolani mostrano evidenze di scarsi allineamenti secondo l'asse maggiore, localmente con *fabric* lineare poco espressa (Fig. IV.20d). Nel complesso, comuni elementi della sottofrazione CFgg mostrano uno scarso grado di alterazione, con patine di ossidi di Fe-Mn e parziale argillificazione dei minerali (Fig. IV.20e-f). Nella frazione organica, invece, si osservano dispersi nella massa di fondo frequenti microframmenti di materia vegetale parzialmente combusta e comuni frammenti di carbone (Fig. IV.20g). Tra le pedofigure, si osservano frequenti riempimenti densi completi, scarsi noduli di ossidi di Fe-Mn ed occasionali rivestimenti su biopori di materia organica amorfa (Fig. IV.20h-i) identificata in luce riflessa (Fig. IV.20j) e discriminata dagli ossidi di Fe-Mn dal colore bruno scuro-nero (Ligouis, 2017) Questi sottili *biofilm* sono probabilmente il risultato dei processi di decomposizione degli apparati radicali (Stolt & Lindbo, 2010). Al tetto CSN_D81702 si imposta una struttura di combustione caratterizzata da sedimento rubefatto e piccoli spargimenti di cenere micritica e fosfatizzata (vedi Tav. AIV.2).

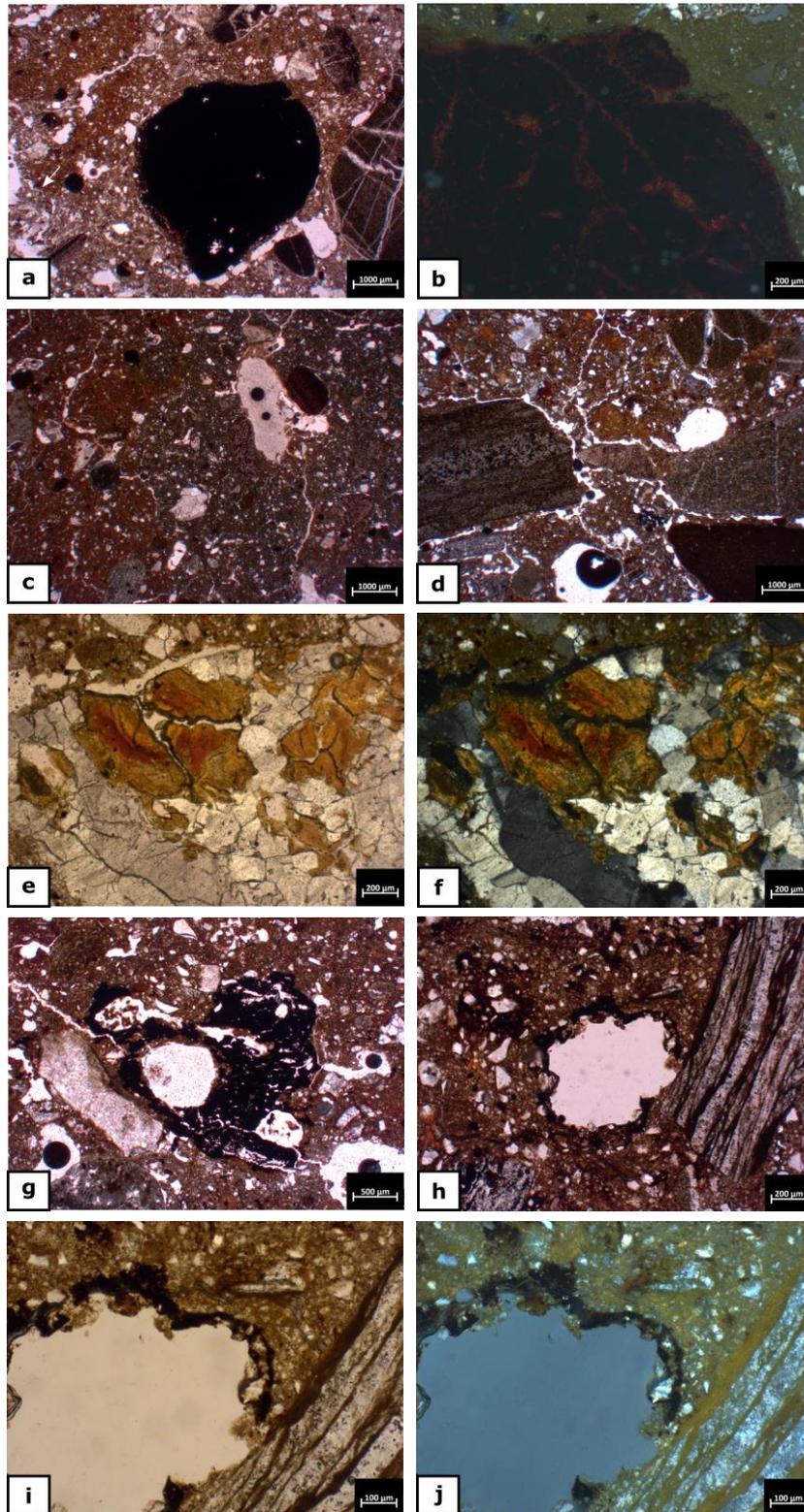


Figura IV.20 – (pagina precedente) Micrografie Microfacies OA_1. **a)** frammento di metallo raffinato all'interno del riempimento di un bioporo. La freccia bianca indica il limite (CSN_ECFI02, scala 1 mm, PPL); **b)** particolare di a) in luce riflessa (CSN:ECFI02, scala 200 μm , RL); **c)** microstruttura a canali. È possibile notare a sinistra un pedo originario della microfacies PI tagliato da un biocanale con riempimento denso completo (CSN_D81706, scala 1 mm, PPL); **d)** fabric lineare dei costituenti della sottofrazione CFgg (CSN_D81702, scala 1 mm, PPL); **e)** frammento di quarzite con avanzato processo di argillificazione dei minerali di quarzo (CSN_D81702, scala 200 μm , PPL); **f)** come e) ma in XPL; **g)** frammento di carbone attraversato da un bioporo (CSN_D81702, scala 500 μm , PPL); **h)** sottile rivestimento di materia organica amorfa su un bioporo (CSN_ECFI02, scala 200 μm , PPL); **i)** particolare di h) (CSN_ECFI02, scala 100 μm , PPL); **j)** come i) ma in luce riflessa. La materia organica amorfa è ben distinguibile dagli ossidi di Fe-Mn (CSN_ECFI02, scala 100 μm , RL).

Microfacies OA_2

Riferibile al campione CSN_ECFI01 raccolto al tetto del campione CSN_ECFI02 (microfacies OA_1). La microfacies è grossolana con frequenti canali biologici di piccole-medie dimensioni e rare camere di medie dimensioni che ne determinano la microstruttura a canali, localmente massiva. Predomina la sottofrazione CFg sabbiosa fine-media con frequenti grani di quarzo monocristallino subarrotondati, comuni lamelle di miche e scarsi frammenti di quarzite subarrotondata. Gli elementi della sottofrazione CFgg sono subordinati, benché frequenti, della taglia tra sabbia media e ghiaia fine, occasionalmente ghiaia media, da subangolosi a subarrotondati, e distribuiti caoticamente ma con debole orientamento planare-subplanare dell'asse maggiore. Questi sono composti da comune arenaria quarzosa, scarsa quarzite ed occasionali grani di quarzo policristallino e selce criptocristallina. Comuni elementi di questa sottofrazione possiedono un moderato grado di alterazione, manifestato da degrado e frammentazione dei margini, parziale argillificazione dei quarzi ed impregnazioni di ossidi di Fe-Mn. Occasionalmente alcuni elementi presentano dei rivestimenti microlaminati di ossidi di Fe-Mn (Figg. IV.21a-b-c-d-e).

La frazione organica è comune con comuni microframmenti carboniosi dispersi nella massa di fondo ed occasionali frammenti di carbone della taglia della sabbia fine. Sporadicamente si osservano microframmenti di ossi animali con principio di fosfatizzazione (Fig. IV.20f).

La frazione fine è scarsa, micritica con *b-fabric* cristallitica, con scarso apporto di materia organica umificata di colore bruno scuro (Fig. IV.20g). È presente un frammento rimaneggiato di sedimento di terreno scottato (Fig. IV.20h) (Röpke & Dietl, 2017).

Le pedofigure sono molto scarse composte noduli di ossidi di Fe-Mn e occasionali rivestimenti su biocanali di materia organica amorfa (Fig. IV.20i-j) e già osservati nella microfacies OA_1.

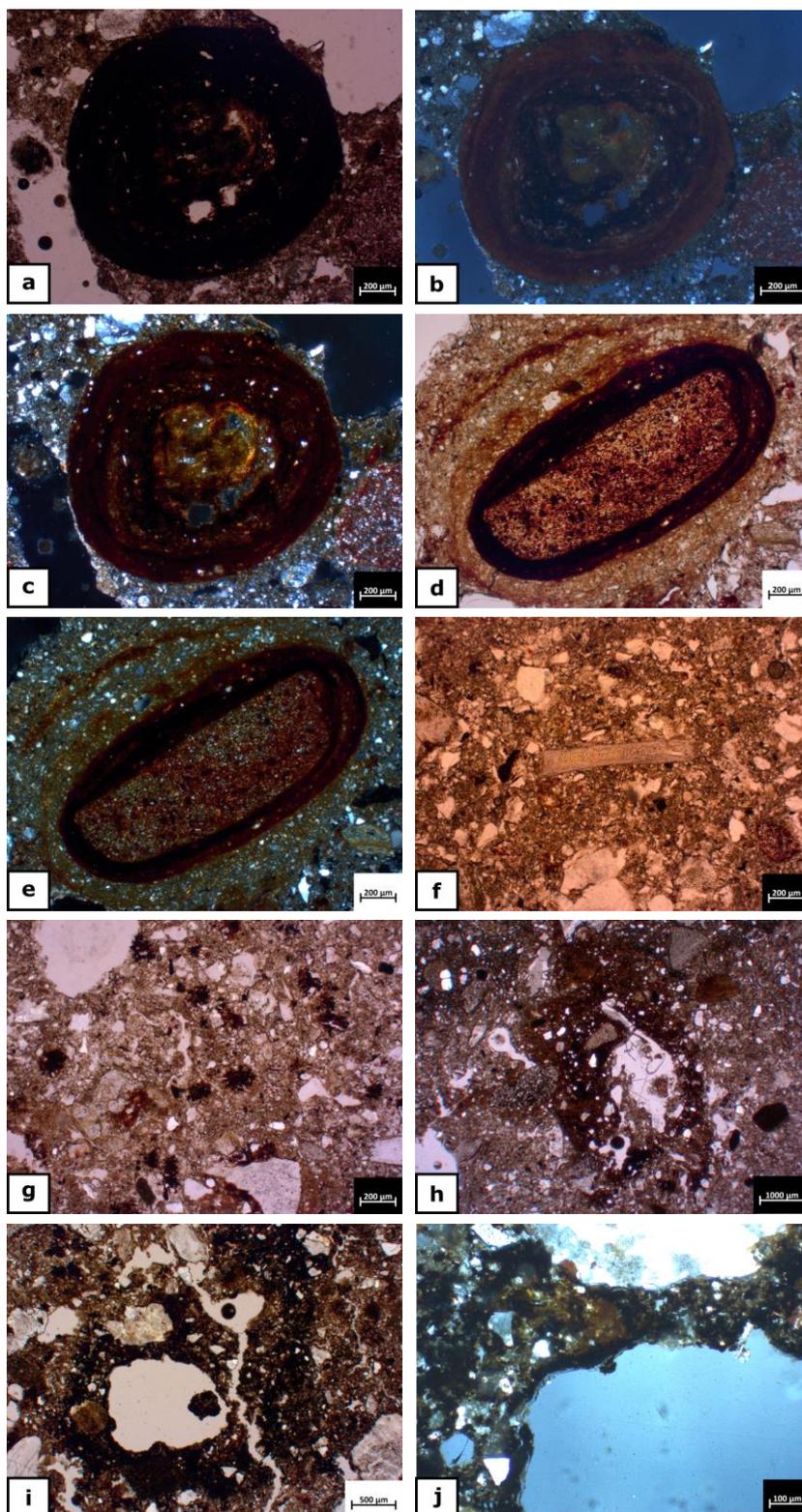


Figura IV.21 – Micrografie Microfacies OA_2. **a)** rivestimento di ossidi di Fe-Mn su minerale completamente alterato (CSN_ECFI01, scala 200 μm , PPL); **b)** come a) in RL. Si noti la microlaminazione del rivestimento; **c)** come a) ma in XPL; **d)** frammento subangoloso di arenaria quarzosa parzialmente alterato con rivestimento microlaminato di ossidi di Fe-Mn (CSN_ECFI01, scala 200 μm , PPL); **e)** come d) ma in XPL; **f)** microframmento osseo (CSN_ECFI01, scala 200 μm , PPL); **g)** arricchimento della massa di fondo di materia organica umificata (CSN_ECFI01, scala 200 μm , PPL); **h)** frammento rimaneggiato di terreno scottato (CSN_ECFI01, scala 1 mm, PPL); **i)** rivestimento su bioporo di materia organica amorfa (CSN_ECFI01, scala 500 μm , PPL); **j)** particolare di i) in luce riflessa (CSN_ECFI01, scala 100 μm , RL).

Microfacies OA_3

Riferibile alle sezioni sottili CSN_EC01 e CSN_EC02 (Sez.Geo3). La microfacies è suddivisa in due microunità (OA_3a e OA_3b), in base alle caratteristiche microstrutturali e tessiturali, nonché alla differenza di colore della massa di fondo in mesovisione (bruno chiaro in OA_3a e marrone-grigiastro in OA_3b (Fig. IV.22a):

- **Microunità OA_3a:** comprende tutto il campione CSN_EC01 e la metà basale di CSN_EC02. La microstruttura è massiva (Fig. IV.22b), con porosità scarsa, composta da biopori di piccole-medie dimensioni, in cui occasionalmente sono conservati resti di radici fresche (Ismail-Meyer, 2017). Domina la sottofrazione CFg sabbiosa da fine a media da subangolosa a subarrotondata, costituita da abbondanti grani di quarzo monocristallino, comuni lamelle di miche e scarsi frammenti di quarzite (Fig. IV.22c). La sottofrazione CFgg è subordinata, della taglia da sabbia grossolana a ghiaia centimetrica da subangolosa a subarrotondata, ma con un buon grado di arrotondamento, maggiore rispetto alle altre microfacies descritte (Fig. IV.22a). Gli elementi della sottofrazione CFgg evidenziano una *fabric* di tipo lineare sub-orizzontale debolmente-moderatamente espressa. I costituenti più comuni sono frammenti di arenaria quarzosa, con subordinati grani di quarzo e frammenti quarzite. Sporadicamente sono presenti elementi di edilizia costituiti da grani di malta calcarea (Fig. IV.22g, Stoops *et al.*, 2017). Scarsamente rappresentati sono i costituenti organici, con comuni microframmenti di carbone dispersi nella massa di fondo ed occasionali frammenti d'osso fosfatizzati. La frazione fine è scarsa, micritica, con *b-fabric* cristallitica. Le pedofigure sono scarse con scarsi rivestimenti sottili micritici sui pori.
- **Microunità OA_3b:** comprende la metà sommitale di CSN_EC02. La microstruttura è simile alla microunità OA_3a, massiva (Fig. IV.22d) ma aumenta localmente la porosità, con biopori di piccole dimensioni. I costituenti della frazione grossolana sono simili alla microunità OA_3° (Fig. IV.22e). Aumenta l'abbondanza della sottofrazione CFgg da sabbia grossolana a ghiaia plurimillimetrica da subangolosa a subarrotondata, ma con minore grado di arrotondamento. I costituenti di questa sottofrazione mostrano una *fabric* di tipo lineare moderatamente espressa (Fig. IV.22f). La frazione organica è scarsa con scarsi microframmenti carboniosi dispersi nella massa di fondo. Localmente si osservano spargimenti di cenere fosfatizzata, identificabile per assenza di birifrangenza nella visione in XPL (Fig. IV.22d-e, Canti & Brochier, 2017b), con leggero aumento al tetto della microunità. Le pedofigure sono scarse di tipo *passage features* con

riempimenti sciolti discontinui mammellonati coalescenti con caratteristiche tessiturali della massa di fondo. Localmente si osservano frammenti di terra battuta, massivi e molto compatti, con microstruttura laminare ben espressa formata alternanze di lamine sabbiose fini e silteose, al cui interno si riconoscono lenti di cenere fosfatizzata (Fig. IV.22h-i). Il frammento più grosso e meglio conservato (Fig. IV.22a) ha dimensioni di ca. 2 cm di lunghezza per 1,5 cm di spessore.

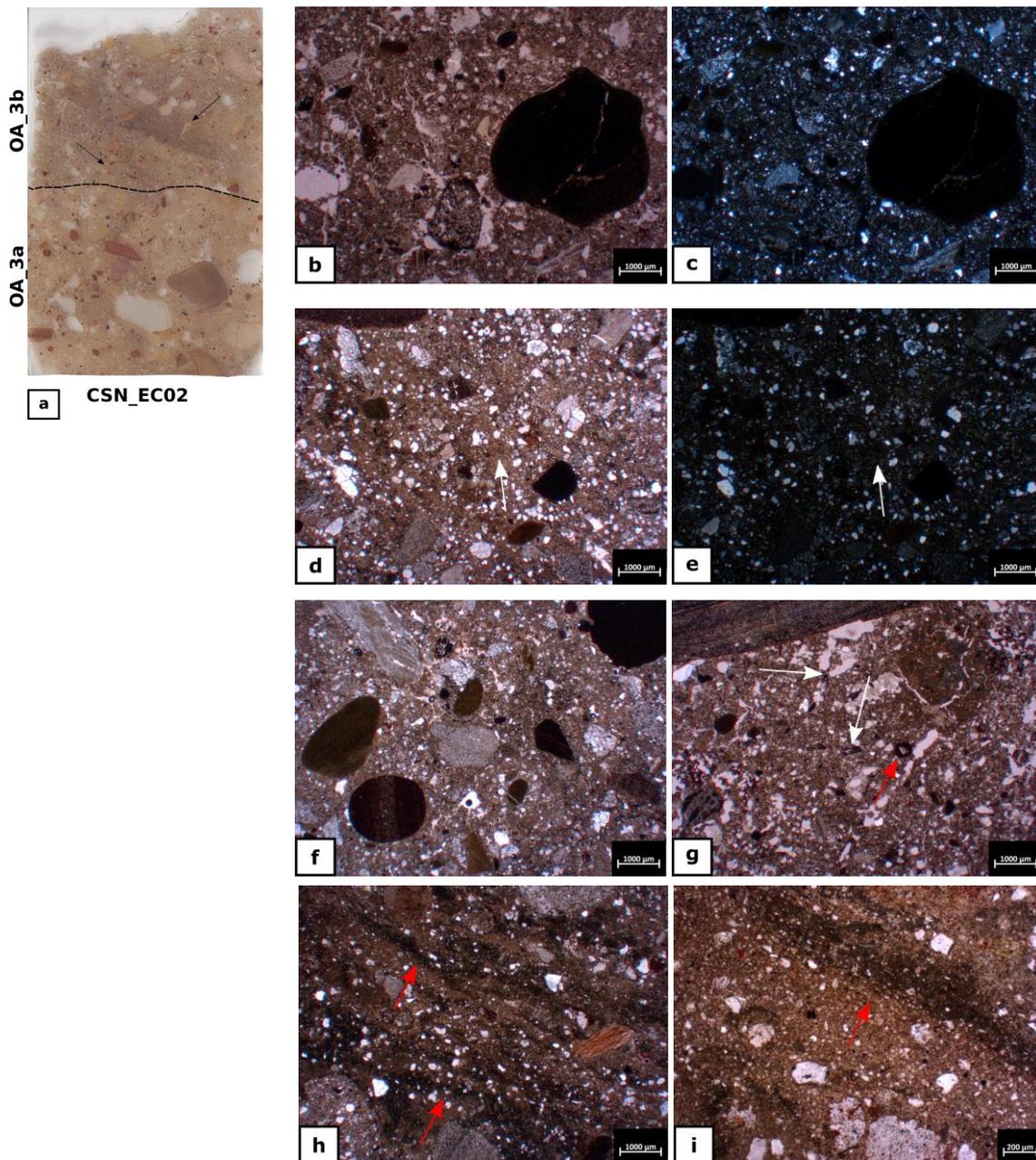


Figura IV.22 – Micrografie Microfacies OA_3. **a)** sezione sottile CSN_EC02 con evidenziate le microunità OA_3a, alla base, e OA_3b, al tetto. Si noti in OA_3a il grado di arrotondamento dei costituenti della sottofrazione CFgg e la loro organizzazione. Si noti in OA_3b i frammenti rimaneggiati di terra battuta (freccie nere); **b)** microunità OA_3a, microstruttura massiva (CSN_EC01, scala 1 mm, PPL); **c)** come b) ma in XPL. Si noti la b-fabric cristallitica e la sottofrazione CFg sabbiosa fine dominante; **d)** microunità OA_3b, microstruttura massiva. La frazione fine è caratterizzata da arricchimenti di cenere fosfatizzata (freccia bianca) (CSN_EC02, scala 1 mm, PPL); **e)** come di ma in XPL. Si noti la b-fabric cristallitica meno evidente e la matrice fine fosfatizzata; **f)** microunità OA_3a, allineamenti della sottofrazione CFgg. Si noti il buon grado di arrotondamento dei costituenti (CSN_EC01, scala 1 mm, PPL); **g)** microunità OA_3a, frammento rimaneggiato di malta (freccia rossa). Nella massa di fondo si possono notare inoltre scarsi frustoli carboniosi (freccia bianca) (CSN_EC01, scala 1 mm, PPL); **h)** microunità OA_3b, frammento compattato in terra battuta con microstruttura laminare ben evidenziata (freccie rosse) (CSN_EC02, scala 1 mm, PPL); **i)** particolare di h) (CSN_EC02, scala 200 µm, PPL).

Microfacies OA_4

Riferibile alle sezioni sottili CSN_D81704 e CSN_D81705 (Fig. IV.23a) raccolti in sequenza dalla Sezione Geo.5, nel settore Est tra fossato interno e fossato intermedio, adiacente l'area cimiteriale. La visione microscopica dei due campioni evidenzia l'alta omogeneità della microfacies, massiva, con porosità molto scarsa formata canali di piccole dimensioni (Fig. IV.32b). La frazione grossolana è prevalentemente della sottofrazione CFg da subangolosa a subarrotondata con grani di quarzo monocristallino e scarsi frammenti di quarzite e arenaria quarzosa. La sottofrazione CFgg è comune, da sabbia grossolana a ghiaia fine, con occasionali frammenti centimetrici, da subangolosa a subarrotondata. Tra i costituenti maggioritari si osservano comuni frammenti di arenaria quarzosa e scarsi di quarzite.

Quest'ultimi evidenziano una *fabric* di tipo lineare moderatamente espressa, in particolare al tetto della microfacies, con clasti orizzontalizzati lungo l'asse maggiore (Fig. IV.23c). La frazione organica è scarsa, con scarsi microframmenti carboniosi (Fig. IV.23d). La massa di fondo è comune, siltosa, di colore bruno chiaro, con *b-fabric* indifferenziata. Le pedofigure sono scarse, formate da occasionali rivestimenti sottili micritici ed occasionali riempimenti densi completi con *fabric* di tipo *crescent*.

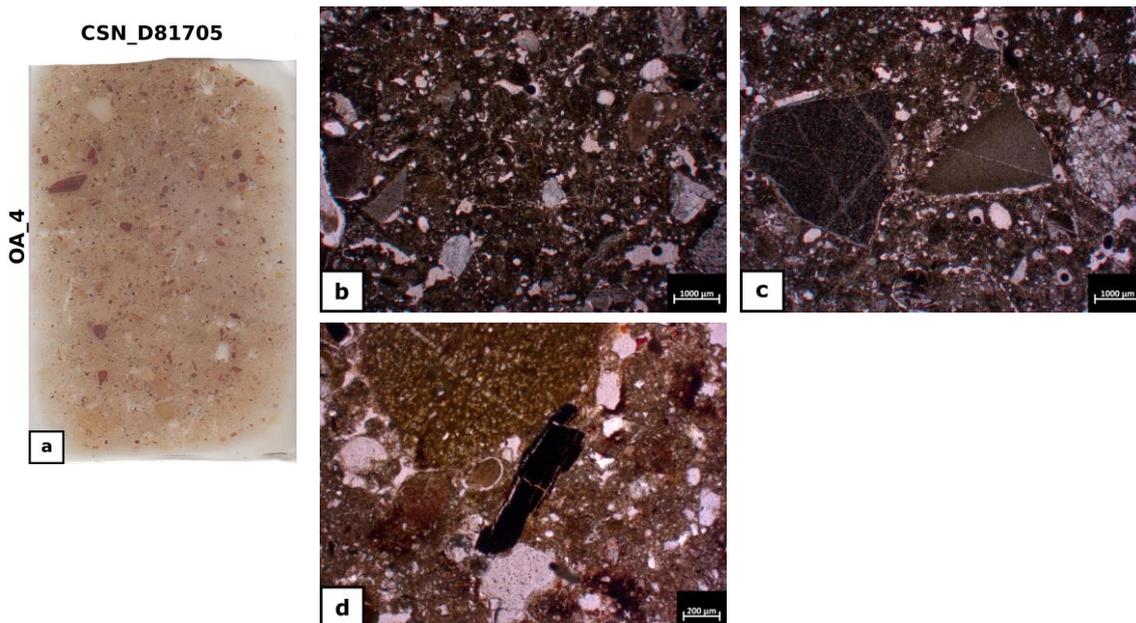


Figura IV.23 – Micrografie Microfacies OA_4. **a)** sezione sottile CSN_D81705; **b)** microstruttura massiva (CSN_D81705, scala 1mm, PPL); **c)** fabric lineare moderatamente espressa della sottofrazione CFgg (CSN_D81704; scala 1mm, PPL); **d)** micro frammento di carbone (CSN_D81705, scala 200 µm, PPL)

IV.4.2. MICROFACIES FOSSATO INTERNO

L'analisi micromorfologica delle sezioni sottili inerenti ai riempimenti del fossato interno ha permesso di distinguere due microfacies principali, FI_A e FI_B, sulla base delle modalità d'uso del fossato e dei costituenti principali.

IV.4.2.1. Microfacies FI_A

Microfacies FI_A1

Riferibile alle sezioni sottili CSN_D41701, CSN_D41702, CSN_D41706, CSN_D41707, D41708, la microfacies è molto rimaneggiata dall'azione della mesofauna edafica e dalla flora, con abbondanti biopori di dimensioni eterometriche, variabili da un minimo di 100 µm ad un massimo di 4-5 mm, che determinano una microstruttura a canali. L'elevata bioturbazione è evidenziata inoltre da resti di radici nei canali, occasionali gusci di gasteropodi e dalla comune presenza di noduli di calcite sparitica con margine esterno alterato, denominati in bibliografia con il termine "bionoduli" (Figg. IV.24a-b) ed associabili ad escrementi prodotti da vermi (Canti, 2003; Durand *et al.*, 2010). Sono altresì osservabili comuni riempimenti sciolti discontinui di *pellets* fecali. Localmente le bioturbazioni hanno comportato inoltre la traslazione verticale di materiali provenienti dai livelli sovrastanti. In CSN_D41708, ad esempio, si osservano, all'interno di riempimenti sciolti discontinui, frammenti organici fecali con croste

di vivianite e frammenti d'osso fosfatizzati provenienti dalla microfacies FI_B1 (Fig. IV24c). La microfacies è grossolana con clasti scarsamente selezionati, da sabbia fine a ghiaia grossolana plurimillimetrica, occasionalmente centimetrica, di morfologia da subangolosa a subarrotondata, con allineamenti debolmente osservabili. La sottofrazione CFg è costituita da frequenti grani di quarzo monocristallino, occasionalmente policristallino, con subordinati comuni frammenti di quarzite e scarse lamelle di mica. La sottofrazione CFgg è subordinata e si osservano comuni frammenti di arenaria quarzosa e quarzite, con subordinati scarsi grani di quarzo policristallino e selce microcristallina.

La frazione organica è moderatamente attestata da comuni frammenti di carbone (Fig. IV.24e), microframmenti carboniosi e scarsa materia organica amorfa dispersi nella massa di fondo. Sono altresì presenti scarsi frammenti ossei, in alcuni casi plurimillimetrici (Fig. IV.24d), occasionalmente combusti (Fig. IV24e).

Gli apporti antropici sono evidenziati dalla presenza di un frammento di lavorazione metallurgica, con caratteristiche simili a quelli osservati nella microfacies OA_1 (v. §IV.4.1.2.), presente in CSN_D41703, e da comuni frammenti rimaneggiati di malta/calce, con materia prima derivata dai tufi calcarei (Fig. IV.24e). La matrice fine è scarsa, siltosa-argillosa, con *b-fabric* indifferenziata. Le pedofigure sono comuni, con riempimenti sciolti discontinui (*pellets* fecali), e comuni rivestimenti di argilla polverosa sia su canali e pori sia su clasti (Fig. IV24f).

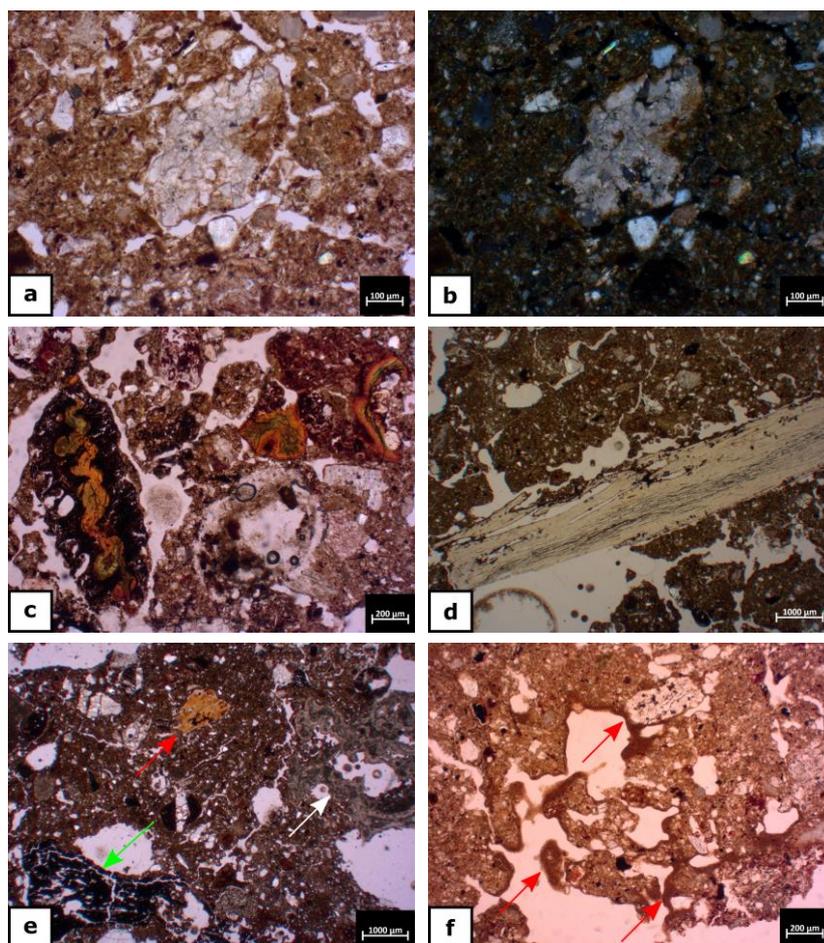


Figura IV.24 – Micrografie Microfacies FI_A1. **a)** bionodulo di calcite. Si notino i bordi alterati (CSN_D41701, scala, 100 μ m, PPL); **b)** come a) ma in XPL; **c)** biocanale con riempimento di materiale proveniente dalla microfacies sovrastante FI_B1. Si osserva un dente altamente fosfatizzato, frammenti fecali con aspetto fibroso e croste di vivianite (CSN_D41708, scala 200 μ m, PPL); **d)** frammento d'osso plurimillimetrico (CSN_D41701, scala 1 mm, PPL); **e)** frammento di malta/calce derivato dall'utilizzo di tufi calcarei (freccia bianca), in cui è ancora possibile riconoscere la struttura originale, frammento d'osso combusto (freccia rossa), frammento di carbone (freccia verde) (CSN_D41707, scala 1 mm, PPL); **f)** rivestimenti di argilla polverosa su canali (CSN_D41706, scala 200 μ m, PPL)

Microfacies FI_A2

Riferibile alla sezione sottile CSN_D41705. Anche in questo caso, la microfacies è molto disturbata dall'attività biologica che ne determina la microstruttura a canali (Figg. IV.25a-c). L'osservazione è valida anche per la composizione dei costituenti della frazione grossolana minerale, benché la tessitura mostri un grado di selezione leggermente migliore, con maggiore attestazione della sottofrazione CFg.

Diminuisce la frequenza della frazione organica, con scarsi microframmenti di carbone dispersi nella massa di fondo ed occasionali frammenti ossei. Occasionalmente si osservano frammenti di gusci (Fig. IV.25a-b), probabilmente di molluschi (Canti, 2017), e comparabili con quelli osservati nelle microfacies del fossato intermedio (v. microfacies FINT_A1, §IV.4.3.1.). Le

pedofigure sono molto scarse con occasionali rivestimenti sottili di argilla polverosa su canali. Si osservano comuni pedorelitti (Figg. IV.25c-e) con caratteristiche simili alla microfacies PI (cfr. §IV.4.1.1.), rimaneggiati di dimensioni plurimillimetriche, massivi con tessitura siltosa-argillosa di colore arancio-rossastro (Figg. IV.25e-g) con *b-fabric* striata incrociata e debolmente granostriata (Figg. IV.25f-h) e comune frazione grossolana silicoclastica. All'interno dei pori dei pedorelitti si osservano comuni riempimenti di argilla limpida (Figg. IV.25e-f).

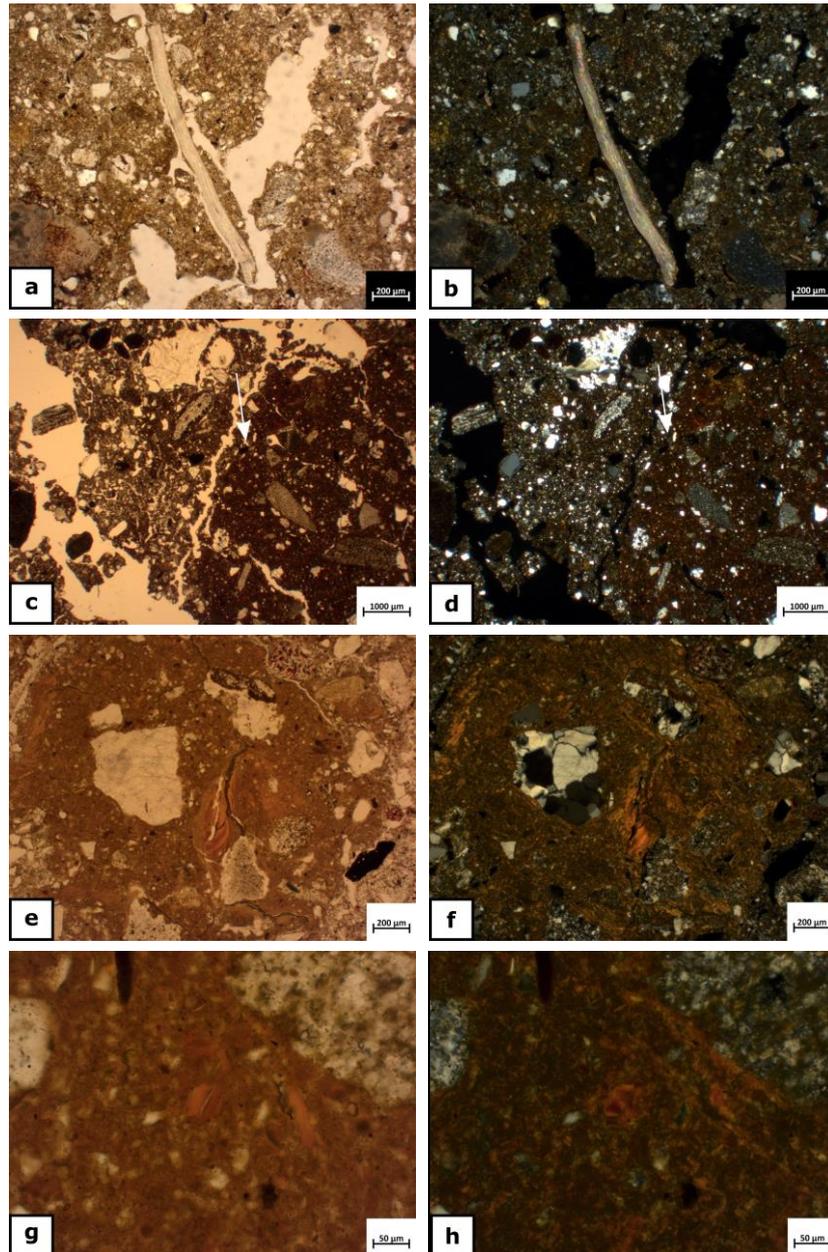


Figura IV.25 – (pagina precedente) Micrografie Microfacies FI_A2. **a)** frammento di guscio di mollusco (CSN_D41705, scala 200 μm , PPL); **b)** come a) ma in XPL; **c)** canale che attraversa la parte laterale sinistra della microfotografia, tipico della microstruttura a canali della microfacies. Si noti la presenza di un pedorelitto proveniente dalla distruzione ed asportazione dell'orizzonte argilloso profondo (microfacies PI). Si noti la differenza di colore con il materiale che compone la microfacies (freccia bianca) (CSN_D41705, scala 1 mm, PPL); **d)** come c) ma in XPL. Si noti la differenza nel rapporto frazione c/f tra il pedorelitto e il sedimento che compone la microfacies; **e)** riempiimenti microlaminati di argilla limpida all'interno di un pedorelitto (CSN_D41705, scala 200 μm , PPL); **f)** come e) ma in XPL. Si noti la b-fabric striata incrociata e debolmente grano-striata; **g)** particolare di e). Si noti la presenza di una papula (CSN_D41705, scala 50 μm , PPL); **h)** come g) ma in XPL. Si noti anche in questo caso la b-fabric striata incrociata.

IV.4.2.2. Microfacies FI_B

Microfacies FI_B1

Riferibile alle sezioni sottili CSN_D41701 e CSN_D41708 (le microfotografie relative, Fig. IV.26, si trovano a pag. 203). Lente discontinua con microstruttura fibrosa molto porosa e molto bioturbata, con abbondante materia organica di origine fecale sia nella massa di fondo sia in forma *pellets* di medie dimensioni (Figg. IV.26a-b-c), a cui si associano comuni frammenti di carbone eterometrici da fini a medi (Fig. IV.26f) e comuni frammenti d'osso con margini alterati e con un alto grado di fosfatizzazione (Figg. IV.26d-e). La cattiva conservazione dei resti fecali non ha permesso ad ora di determinarne la genesi, ossia escrementi di erbivori (Brönnimann *et al.*, 2017a) oppure di onnivori (es. maiali, Brönnimann *et al.*, 2017b).

La frazione grossolana minerale è scarsa, con scarsi clasti della sottofrazione CF_{gg} da sabbia media a ghiaia fine da subangolosi a subarrotondati, costituiti da frammenti di arenaria quarzosa. La sottofrazione CF_g è subordinata con occasionali grani di quarzo. Si osservano abbondanti pedofigure fosfatizzate di vivianite ossidata (Figg. IV.26g-h) in forma di noduli, croste ed impregnazioni. Ulteriori pedofigure osservate sono nettamente subordinate, con occasionali rivestimenti di argilla polverosa.

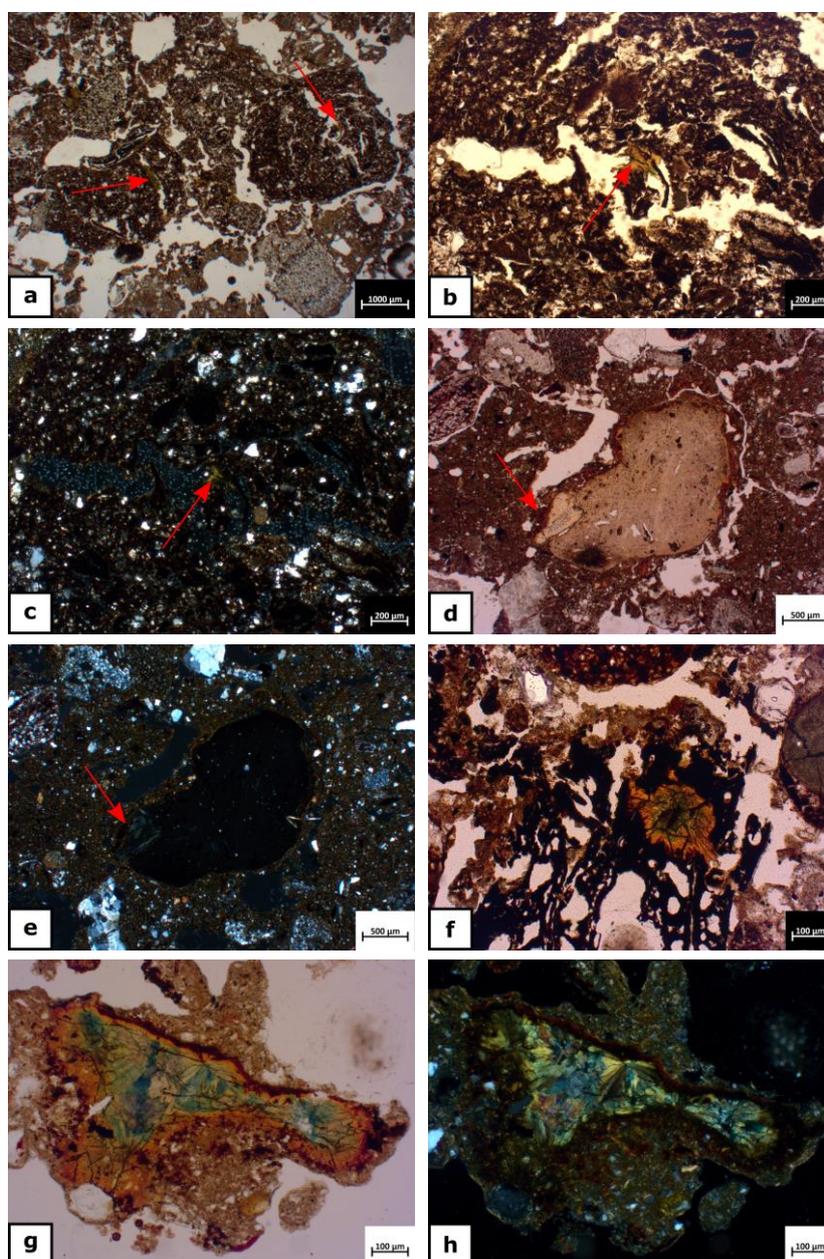


Figura IV.26 – Micrografie Microfacies FI_B1. **a)** resti fecali con abbondante materia organica di aspetto fibroso ed arricchimenti all'interno di fosfati di vivianite (freccie rosse) (CSN_D41701, scala 1 mm, PPL); **b)** particolare di a). Si noti la presenza di arricchimenti di fosfati di vivianite all'interno del frammento fecale (freccia rossa) (CSN_D41701, scala 200 μ m, PPL); **c)** come b) ma in XPL; **d)** frammento d'osso con margini arrotondati e quasi completamente fosfatizzato. La freccia rossa indica l'area con minor grado di fosfatizzazione, in cui sono ancora riconoscibili i canali haversiani (CSN_D41708, scala 500 μ m, PPL); **e)** come d) ma in XPL. Si noti la l'estinzione completa dell'area completamente fosfatizzata, mentre in quella con minore grado di fosfatizzazione è ancora riconoscibile la struttura ossea (osteoni); **f)** frammento di carbone all'interno della materia organica fecale. Si noti l'impregnazione di fosfati di vivianite all'interno (CSN_D41701, 500 μ m, PPL); **g)** frammento di crosta di vivianite (CSN_D41708, 100 μ m, PPL); **h)** come g) ma in XPL.

Microfacies FI_B2

Riferibile alle sezioni sottili CSN_D41702, CSN_D41707 e CSN_D41708 (le microfoto relative, Fig. IV.27, si trovano a pag. 204). Sequenza di strutture di combustione discontinue ed alterate dall'attività biologica, la cui espressione migliore si osserva in CNS_D41707. La sequenza è formata, dal basso verso l'alto, da una fascia di sedimento rubefatto bruno scuro con limiti sfumati, strato sottile di colore nerastro con carboni e strato siltoso di colore grigio-biancastro di cenere (Figg. IV.27a-b). Lo strato di carboni è composto da abbondanti frammenti vegetali combusti o parzialmente combusti con abbondante presenza di materia organica di aspetto fibroso associata ad una micromassa di cenere micritica. Si osservano comuni pedofigure fosfatiche di vivianite ossidata in forma di croste ed impregnazioni. Lo strato di cenere è stratificato e si riconoscono due livelli, ben riconoscibili (Figg. IV.27e-f). La base è costituita da abbondanti ossalati di calcio e la struttura anatomica dei resti vegetali è ancora parzialmente osservabile (Figg. IV.27c-d) Il livello al tetto, invece, è formato da una massa di fondo micritica di aspetto saccaroide, con abbondanti aggregati pseudomorfi di calcite e pori vescicolari (Figg. IV.27g-h).

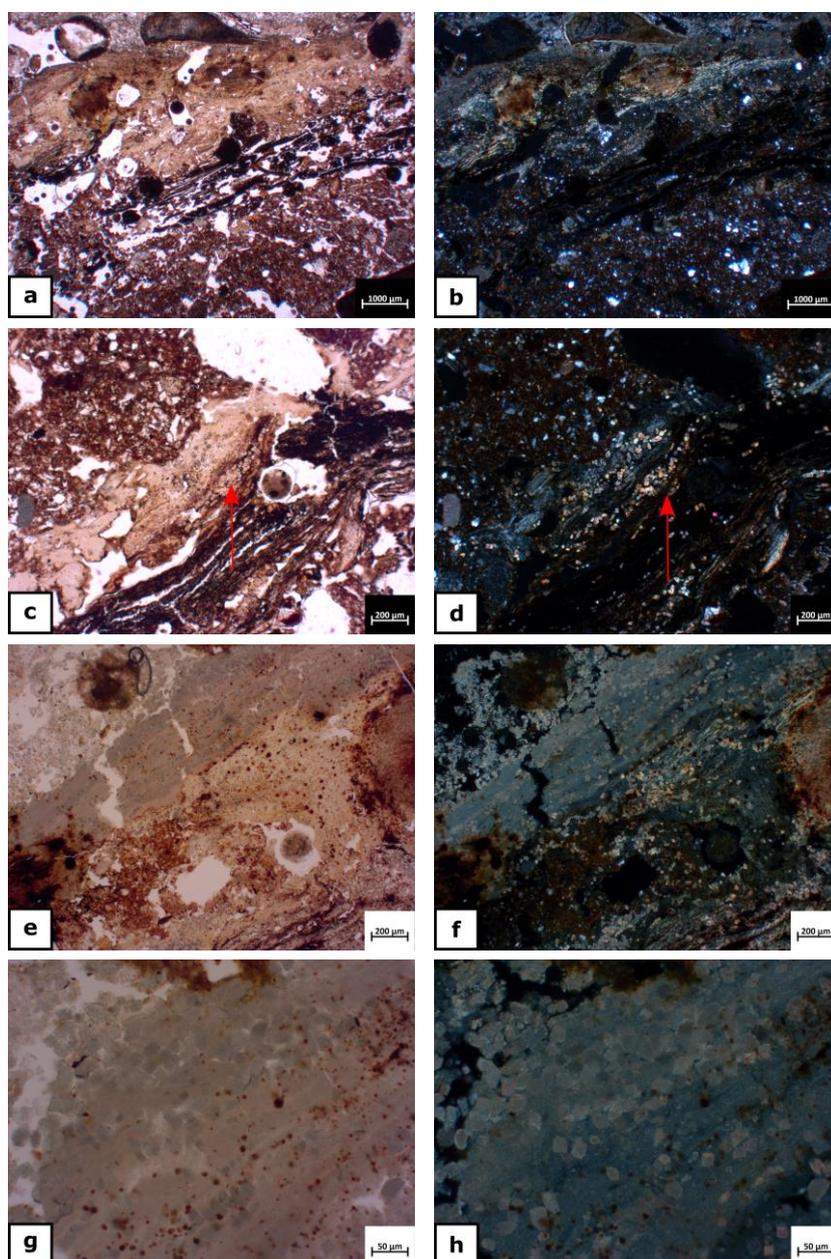


Figura IV.27 – Micrografie Microfacies FI_B2. **a)** Struttura di combustione con sequenza tipica di sedimento scottato rubefatto alla base, livello di carboni con comuni pedofigure fosfatice, al centro, e livello di cenere al tetto. Si noti la presenza di pori vescicolari (CSN_D41707, scala 1mm, PPL); **b)** come a) ma in XPL; **c)** particolare del livello di carboni alla base, con cenere al tetto. Si noti la presenza di abbondanti ossalati di calcio ancora in posizione originale (freccia rossa) (CSN_D41707, scala 200µm, PPL); **d)** come c) ma in XPL; **e)** particolare dei livelli di cenere stratificati. Si noti la differenza di colore, marrone-biancastro alla base, e grigio al tetto con aspetto micritico (CSN_D41707, scala 200 µm, PPL); **f)** come e) ma in XPL. Si noti nel livello basale l'abbondante presenza d'ossalati di calcio in una struttura fibrosa ancora riconoscibile, mentre il livello al tetto la struttura è appena percettibile e gli ossalati di calcio sono sostituiti da aggregati pseudomorfi; **g)** particolare di e) (CSN_D41707, scala 50 µm, PPL); **h)** come g) ma in XPL. Si noti la micromassa micritica e gli ossalati di calcio sono debolmente osservabili, con principio di trasformazione in aggregati pseudomorfi.

IV.4.3. MICROFACIES FOSSATO INTERMEDIO

IV.4.3.1. Microfacies FINT_A

Microfacies FINT_A1

Riferibile alle sezioni sottili CSN_S1DS2, CSN_S2DE5b, CSN_S2DE7, CSN_S4DN5, CSN_S7DW3a, CSN_S7DW6. La microfacies è prevalentemente massiva (Fig. IV.28b) ma si riconosce localmente la microstruttura laminare originale (Fig. IV.28a) relativa ai processi sedimentari e non pedogenetici. Le laminazioni sono piano-parallele a gradazione diretta *fining-upward* con alternanza di lamine sabbiose, localmente con evidenze di embricatura, lamine siltose e lamine fini al tetto. Localmente si osservano lamine frammentate sottili argillose, massive, di colore bruno-arancione. La porosità è comune formata prevalentemente da canali di piccole dimensioni (200-500 µm in media) occasionalmente di grandi dimensioni (3,5 mm), comunemente di morfologia schiacciata. Localmente si osservano vuoti planari fini e discontinui. Nel complesso la tessitura della microfacies è formata da una matrice siltosa-argillosa di colore variabile da grigio-bruno scuro a bruno-rossastro con *b-fabric* maculata, localmente porostriata e granostriata. La frazione grossolana è comune con selezione variabile da buona a media. Predomina la sottofrazione CFg sabbiosa fine subarrotondata, con frequenti grani di quarzo monocristallino e scarsi frammenti di quarzite. La sottofrazione CFgg è nettamente subordinata ed occasionale, della taglia della sabbia media (700 µm in media) localmente ghiaia medio-fine dispersa ed inglobata nella massa di fondo. Localmente si osservano frammenti rielaborati subarrotondati di argilla impura isorientata (*clay chips*, Fig. IV.28b). La frazione organica è comune, immersa nella massa di fondo, con comuni microframmenti carboniosi, punteggiature e frammenti vegetali, localmente con evidenze di umificazione (Fig. IV.28d-e). Occasionalmente si osservano vuoti da impronta (*moldic voids*). Sono altresì presenti comuni gusci di molluschi (probabilmente *Gastropoda*, Canti, 2017), sia frammentati sia occasionalmente integri di dimensioni di circa 5 mm (Fig. IV.28c), ed occasionali microframmenti d'ossi. Le pedofigure più rappresentate sono quelle amorfe, con figure da impregnazione e noduli di Fe-Mn, e comuni figure di deplezione, sia in domini svuotati del ferro con massa di fondo di colore grigio sia in iporivestimenti da impoverimento lungo i canali (Fig. IV.28g). Si osservano inoltre comuni figure di precipitazione di carbonato di calcio secondario, con rivestimenti e riempimenti densi continui micritici e sparitici (Fig. IV.28f). Si osservano, inoltre, comuni rivestimenti sottili di argilla impura (Fig. IV.28h), localmente polverosa. Localmente i rivestimenti argillosi impuri si impostano sopra rivestimenti micritici (Fig. IV.28f).

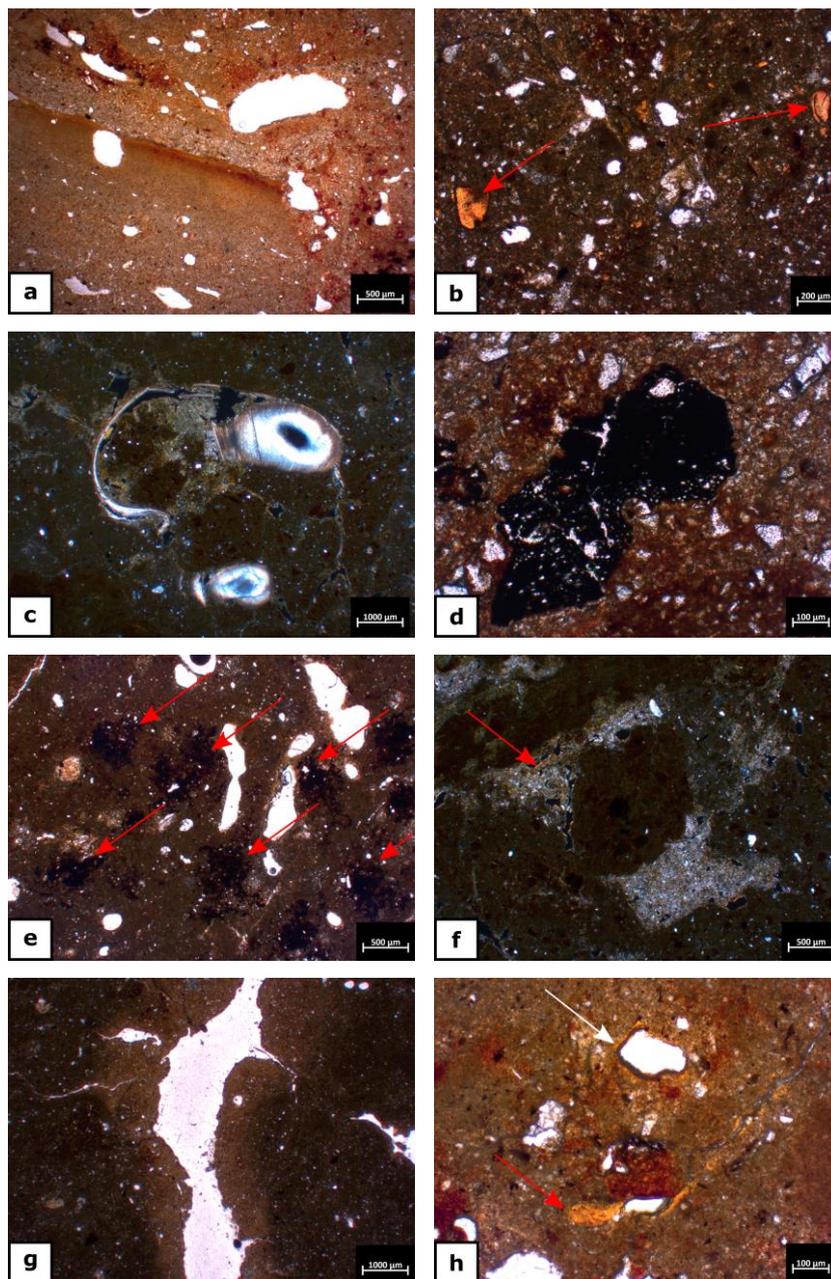


Figura IV.28 – Micrografie Microfacies FINT_A1. **a)** microstruttura laminare di tipo fining upward, dal basso verso l'alto, sabbia fine, silts, e argilla. Si noti che alcuni pori mostrano una morfologia schiacciata (CSN_S1DS2b, scala 500 μm , PPL); **b)** microstruttura massiva. Si noti la presenza di clay chips (freccie rosse) (CSN_S2DE7, scala 500 μm , PPL); **c)** gusci di gasteropodi (CSN_S4DN5, scala 1 mm, XPL); **d)** frammento di carbone (CSN_S2DE5b, scala 100 μm , PPL); **e)** materia organica umificata (freccie rosse) (CSN_S2DE5b, scala 500 μm , PPL); **f)** riempimenti densi completi ed incompleti micritici e sparitici. Si noti la presenza di sottili rivestimenti di argilla impura sopra i riempimenti densi incompleti (freccia rossa) (CSN_S7DW6, scala 500 μm , XPL); **g)** figure di deplezione con iporivestimento su canale (CSN_S7DW6, scala 1 mm, PPL); **h)** rivestimenti sottili (freccia bianca) e riempimenti densi incompleti (freccia rossa) di argilla impura su pori (CSN_S4DN5, scala 100 μm , PPL)

Microfacies FINT_A2

Riferibile alla sezione sottile CSN_S1DS3b, la microfacies si caratterizza per la forte attività biologica che ha omogeneizzato la microstruttura originale, benché localmente è possibile riconoscere la microstruttura laminare originale descritta per la microfacies FINT_A1 ma altamente disturbata (Figg. IV.29a-b). La porosità è comune con frequenti canali di piccole dimensioni (1 mm in media) che determinano una microstruttura a canali, localmente massiva. Domina la matrice fine siltosa-argillosa di colore bruno scuro con *b-fabric* maculata e locali arricchimenti di materia organica umificata (Fig. IV.29f). La frazione grossolana è nettamente subordinata, con buona selezione, composta esclusivamente dalla sottofrazione CFg sabbiosa da molto fine a fine, occasionalmente sabbia media, subarrotondata con comuni grani di quarzo monocristallino. La frazione organica è comune, con comuni microframmenti di carbone dispersi nella massa di fondo (Fig. IV.29e). Le pedofigure sono formate da comuni riempimenti sciolti discontinui mammellonati di materiale identico alla massa di fondo con alto grado di coalescenza, localmente riomogeneizzati all'interno della massa di fondo stessa (Figg. IV.29c-d) e comuni impregnazioni di ossidi di Fe-Mn. Si osservano, inoltre, occasionali rivestimenti sottili di argilla impura sui biopori (Figg. IV.29g-h).

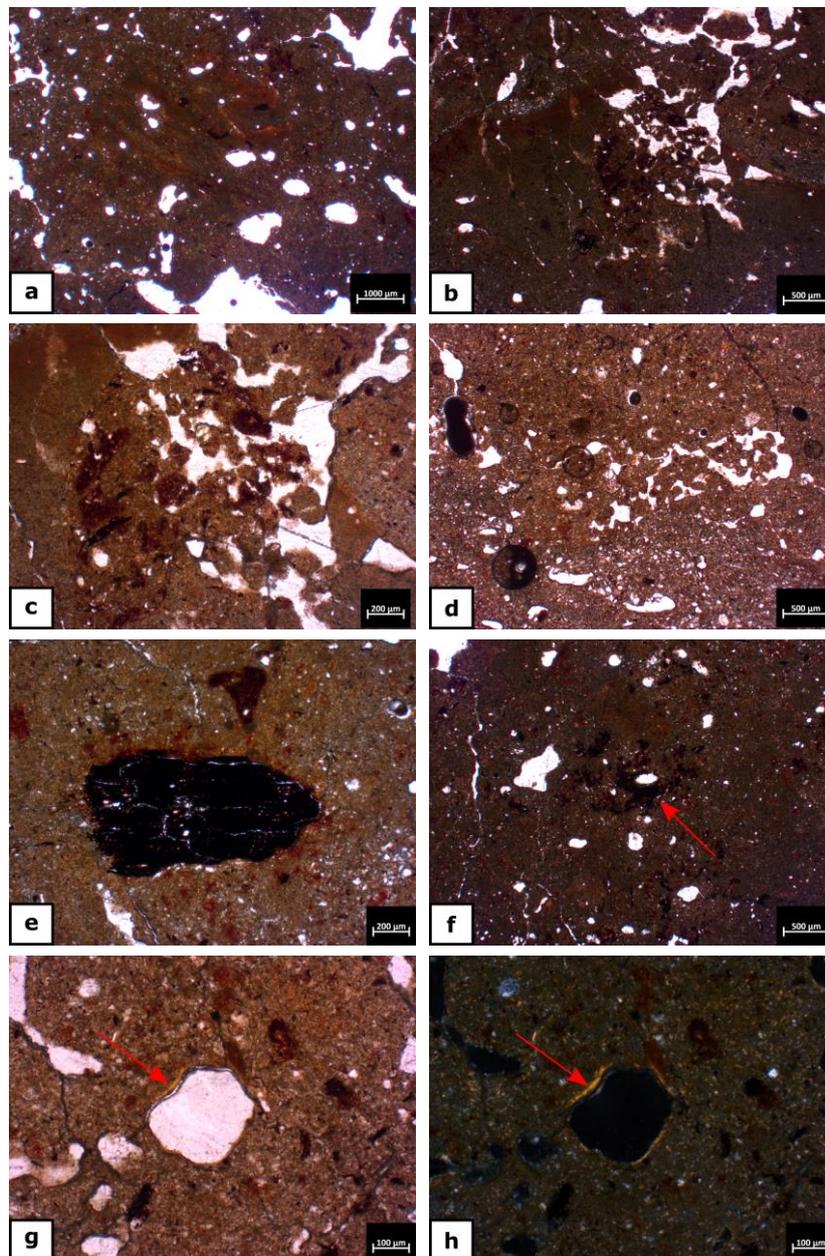


Figura IV.29 – Micrografie Microfacies FINT_A2. **a)** microstruttura laminare come FINT_A1 ma altamente disturbata (CSN_S1DS3b, scala 1 mm, PPL); **b)** biocanale con riempimento sciolto discontinuo che attraversa e deforma la microstruttura laminare originale (CSN_S1DS3b, scala 500 μm , PPL); **c)** particolare di **b)**. Si noti il riempimento sciolto discontinuo formato da pellets fecali (CSN_S1DS3b, scala 200 μm , PPL); **d)** riempimento sciolto discontinuo mammellonato di pellets fecali, con parziale riomogeneizzazione nella massa di fondo (CSN_S1DS3b, scala 500 μm , PPL); **e)** microframmento di carbone con iporivestimento di ossidi di Fe-Mn (CSN_S1DS3b, scala 500 μm , PPL); **f)** arricchimento nella massa di fondo di materia organica parzialmente umificata (frecche rosse) (CSN_S1DS3b, scala 500 μm , PPL); **g)** rivestimento sottile di argilla impura su bioporo (CSN_S1DS3b, scala 100 μm , PPL); **h)** come **g)** ma in XPL.

CAPITOLO IV.5 - DISCUSSIONE DEI DATI STRATIGRAFICI E MICROSTRATIGRAFICI

IV.5.1. DINAMICHE FORMATIVE DEL RECORD ARCHEOLOGICO

La ricostruzione delle facies geoarcheologiche di Vetricella è stata effettuata integrando i dati stratigrafici e micromorfologici ottenuti dalle geometrie dei depositi, dalla distribuzione e giustapposizione delle figure pedo-sedimentologiche delle microfacies sedimentarie riconosciute e dal contesto archeologico a cui esse sono riferite.

IV.5.1.1. Fase pre-insediamento

Paleosuolo (microfacies PI)

La base della sequenza è formata da un orizzonte argillico Bt relativo ad un profilo Alfisol (Nettleton *et al.*, 2000; USDA, 2014) con pedogenesi su materiale parentale costituito da ghiaie e sabbie silicoclastiche fortemente alterate ed attribuibili al conoide alluvionale tardopleistocenico. Lo stesso orizzonte è stato osservato all'interno della cassa d'espansione al tetto di US2 (cfr. Sez. II, §II.3.2.1. e §II.3.4.1.). Lo studio micromorfologico evidenzia con dettaglio maggiore come la pedogenesi principale legata allo sviluppo di questo orizzonte è costituita da processi di lisciviazione completa della frazione carbonatica e processi di forte illuviazione, con fasi giustapposte di rivestimenti di argilla impura e argilla più limpida con *fabric* microlaminata che in alcuni casi passa da riempimenti densi completi. La microstruttura di tipo poliedrico subangoloso con grado di sviluppo buono, a cui a livello macroscopico si associa localmente una struttura prismatica fine, è dovuta alla maggiore percentuale nel contenuto di argilla (Holliday, 2004). La *b-fabric* striata e granostriata è indicativa invece dell'attuazione di pressioni conseguenti all'espansione e contrazione delle argille (*shrinking-swelling*, Kühn *et al.*, 2010). Questo alto grado di sviluppo pedogenetico è supportato inoltre dalla presenza di frammenti subarrotondati bruno-rossastri argillosi (*papulae*, Brewer, 1976) e da processi di rubefazione moderatamente marcati (ben osservabile in CSN_S4DN_Bt), in cui l'idrolisi della frazione minerale con relativa liberazione degli ossidi di ferro forma noduli ed impregnazioni ferro-manganesifere.

Questo sviluppo, dunque, deve necessariamente avere avuto un tempo relativamente lungo, con condizioni climatiche caldo-umide ed interessate da forte contrasto stagionale con abbondanti precipitazioni e deficit idrico estivo. Dai dati climatici odierni, sia locali (Barazzuoli

et al., 1993; Rapetti & Vittorini, 2012) che nazionali (Costantini *et al.*, 2013), emerge che la disponibilità d'acqua durante la stagione invernale non sembra essere sufficiente (in media ca. 100 mm in eccesso di acqua disponibile) per permettere i processi di lisciviazione, come peraltro è stato anche riscontrato da Carnicelli *et al.* (2015) nello studio degli Ultisols dell'Ultimo Integrale in Toscana.

In questo caso, tenendo in considerazione che la deposizione del conoide è occorsa nelle fasi finali del Pleistocene superiore, è plausibile ipotizzare che i processi pedogenetici siano iniziati nelle prime fasi dell'Olocene inferiore e possibilmente nelle ultime fasi del Pleistocene superiore finale, in accordo con le condizioni climatiche che hanno caratterizzato l'ambiente mediterraneo negli interglaciali quaternari (Scarciglia *et al.*, 2008; Cremaschi & Nicosia, 2012; Cremaschi *et al.*, 2015). La totale elisione degli orizzonti eluviali sovrastanti l'orizzonte argillico, nonché la presenza di bioturbazione e di rivestimenti micritici e sparitici al tetto, suggeriscono invece una fase di degradazione delle condizioni di stabilità preesistenti nell'evoluzione del profilo pedogenetico, dovuto a fattori turbativi che hanno interrotto bruscamente la migrazione dell'argilla e riattivato la precipitazione di CaCO₃ secondario, favorendo inoltre l'attività della fauna edafica. Queste figure sono localizzate nei campioni raccolti nell'Area Est, all'interno del sito archeologico (CSN_D81701 e CSN_D81707) ed in concomitanza con le microfacies di disturbo sovrastanti (OA_1), mentre nelle Aree Sud (CSN_SET3H7) e Nord (CSN_S4DN_Bt), archeologicamente sterili, tali disturbi non sono stati osservati. In aggiunta, l'analisi di campo evidenzia chiaramente come l'orizzonte argillico sia stato completamente asportato in aree dell'insediamento dove l'attività antropica è a contatto diretto con il tetto del conoide alluvionale (cfr. ad es. Edificio Centrale, #IV.3.1.). Il processo di degradazione, quindi, potrebbe essere coevo con le prime fasi di occupazione, con opere di sbancamento per approntare l'area alla costruzione del nucleo insediativo.

IV.5.1.2. Fase d'occupazione (microfacies OA)

Formazione del sito e disturbo del suolo (microfacies OA_1)

La degradazione delle condizioni di stabilità precedentemente descritte è evidenziata dalla microfacies OA_1. I campioni, come detto, provengono dal livello immediatamente sovrastante l'orizzonte argillico, descrivendo, quindi, l'alterazione di quest'ultimo a seguito delle prime fasi d'insediamento. La microfacies, infatti, conserva ancora tratti tipici del dell'orizzonte originale, con *peds* con microstruttura poliedrica subangolosa, ma si arricchisce della frazione grossolana minerale primaria non alterata del conoide alluvionale

tardopleistocenico. Tale arricchimento, in associazione con le *fabric* lineari della frazione grossolana, è coerente con le opere di livellamento/rialzo per la creazione di superfici d'uso. Compaiono inoltre elementi antropici, evidenziati dall'arricchimento della massa di fondo di frammenti di carboni e frustoli carboniosi e le prime attestazioni di attività antropica con strutture di focolari evidenziate dal livello rubefatto in CSN_D81705, con spargimenti di cenere fosfatizzata, impostato al tetto degli allineamenti.

L'attività biologica sia vegetale che animale inizia inoltre ad essere incipiente, concorrendo alla deformazione ed amalgamazione delle strutture sedimentarie originali, come dimostrato dai rivestimenti su canali di materia organica amorfa e dai riempimenti densi completi di sedimento proveniente dalle microfacies sovrastanti (OA_2), in cui occasionalmente si possono osservare anche manufatti antropici (es. frammenti di lavorazione metallurgica).

Superfici d'occupazione (microfacies OA_2, OA_4)

Le superfici d'occupazione sono il risultato di attività antropiche polifasiche protrattesi nei secoli, principalmente tramite opere di asporto, riporti/livellamenti, che hanno di fatto rimaneggiato costantemente la stratigrafia, modificando e/o asportando completamente le stratigrafie precedenti. Al microscopio tali caratteristiche si traducono in microstrutture massive con porosità medio-scarso, scarsa matrice fine micritica e scheletro poligenico silicoclastico poco selezionato, da sabbia fine a ghiaia grossolana, derivato dal rimaneggiamento del conoide alluvionale tardopleistocenico. L'ulteriore presenza di materiali residuali come noduli di Fe-Mn rimaneggiati, pedorelitti e frammenti di quarzo con processi di alterazione avanzati (argillificazione), sono coerenti con le azioni di rimaneggiamento antropico, con asportazione e rideposizione della coltre pedogenetica preesistente. Gli input antropici sono relativamente scarsi a livello microscopico e principalmente legati ad apporti di frammenti carboniosi o parzialmente combustibili, sia in forma di frammenti grossolani sia di particelle fini disperse nella massa di fondo, nonché frammenti d'ossi animali fosfatizzati o combustibili. Elementi di tufi calcarei di medie-piccole dimensioni si osservano sporadicamente sparsi all'interno delle microfacies. La loro presenza è legata all'uso edilizio, sia come elemento murario, sia come materia prima per la produzione di malta.

Evidenze di calpestio sono invece state osservate nella microfacies OA_4, e riferibile al Settore Est del sito archeologico, limitrofo all'area cimiteriale. In questo caso, l'analisi micromorfologica evidenzia una microstruttura massiva con *fabric* lineare, localmente a bande, con orientazione dei costituenti della sottofrazione CFgg lungo l'asse maggiore. Queste

caratteristiche sono coerenti con i processi di compattazione e di calpestio a seguito della continua frequentazione dei vari piani d'uso (Rentzel *et al.*, 2017), e probabilmente legato alla presenza dell'area cimiteriale. A conferma di questo, inoltre, si osserva una netta diminuzione degli apporti antropici, riferibili a sporadici microframmenti carboniosi. Questa assenza è indicativa, probabilmente, che questo settore non era adibito ad attività domestiche e/o produttive.

Aree domestiche – Edificio centrale (microfacies OA_3)

Merita un discorso a parte lo studio delle stratigrafie che compongono il deposito circoscritto all'edificio centrale. L'analisi ha evidenziato la presenza di tre unità impostate direttamente sopra il conoide alluvionale tardopleistocenico. L'unità più profonda (1EC) è composta da sedimento grossolano sabbioso-ghiaioso con clasti da pluridecimetrici a pluricentrici che si estendono spazialmente su tutta la superficie dell'edificio. Questa unità risulta apparentemente archeologicamente sterile, ovvero non sembra ipotizzabile possa trattarsi di una superficie di frequentazione. L'ipotesi più probabile, dunque, è che rappresenti delle opere di rialzo e stabilizzazione della superficie topografica con asportazione della coltre pedogenetica.

Sopra questa unità si imposta una superficie costituita da materiale più fine, sabbioso-siltoso con scarsi elementi ghiaiosi (2EC). In visione microscopica (microunità OA_3a) la sottofrazione CFgg evidenzia una *fabric* di tipo lineare, benché poco espressa, ed una struttura massiva. Tali caratteristiche sono coerenti con azioni di compattazione del sedimento, con riorganizzazione e riorientazione della frazione grossolana. I costituenti osservati hanno genesi prettamente locale, ma è importante sottolineare per la sottofrazione CFgg il grado di arrotondamento più alto rispetto alle altre microfacies analizzate, e ad una maggiore selezione dei costituenti della sottofrazione CFg, in cui domina nettamente la sabbia silicoclastica; di contro, gli apporti antropici sono molto rari e limitati a scarsi elementi di edilizia in malta e frammenti e microframmenti di carbone. Sulla base di queste osservazioni, dunque, è ipotizzabile che questa superficie fosse un substrato, o basamento, in materiale inerte, con funzione di stabilizzante, su cui si impostarono le successive aree domestiche. Difatti il livello soprastante, OA_3b, è caratterizzato dalla presenza di frammenti alterati e rimaneggiati di probabili strutture pavimentali in terra battuta. In queste strutture le caratteristiche di omogeneità e scarsa, se non assente, porosità suggeriscono una preparazione dell'impasto siltoso-sabbioso con acqua (Peinetti, 2013, 2016). La totale assenza della componente vegetale escluderebbe

invece l'ipotesi che si possa trattare di frammenti di mattoni (Friesem *et al.*, 2017). Inoltre, la presenza di cenere suggerisce la possibilità che queste strutture abbiano subito dei processi di combustione volontaria da parte dell'uomo al fine di consolidare l'impasto ed aumentarne la resistenza (Peinetti, 2013). Tuttavia, il dato deve essere inteso come l'esistenza di piani di calpestio di cui non però è più possibile determinarne il rapporto con le fasi d'occupazione. La fabric lineare è infatti coerente con azioni di riporto già osservate nella microfacies OA_1 con funzionalità di creazione di superfici d'uso. In aggiunta, la frazione antropica è, anche in questo caso, molto scarsa. Non sono stati osservati i tipici costituenti associabili a superfici di calpestio o comunque relativi ad attività domestiche ("zona attiva", Gé *et al.*, 1993 e cfr. Cap.10 in Macphail & Goldberg, 2017). Allo stato attuale della ricerca non è possibile determinare con chiarezza se il materiale sia quindi conseguente ad azioni di rimaneggiamento *in loco*, ovvero rielaborazione delle stratigrafie all'interno dell'edificio stesso, oppure sia il prodotto di apporti esterni, provenienti da altri settori dell'abitato. È comunque plausibile che la stratigrafia investigata sia interpretabile come livelli più profondi del deposito, sottostanti i piani pavimentali ("zona passiva", Gé *et al.*, 1993 e cfr. Cap.10 in Macphail & Goldberg, 2017), perlomeno quelli più recenti, e che quest'ultimi e parte del sedimento sottostante essi siano stati asportati o distrutti in seguito alle azioni di spoglio, riferibili all'ultima fase d'occupazione di Vetricella (Periodo 6, cfr. §IV.1.1.3.) nonché alla lavorazione agricola moderna.

IV.5.2. FOSSATO INTERNO

IV.5.2.1. Facies sedimentarie

L'analisi stratigrafica e micromorfologica delle facies di riempimento del fossato interno hanno evidenziato l'esclusiva presenza di facies e microfacies di origine antropica e l'assenza di facies tipicamente alluvionali. I riempimenti sono infatti costituiti per la maggior parte da materiale grossolano, con ghiaie eterometriche e comuni pietre pluridecimetriche. La composizione della frazione grossolana è sempre costituita dalle ghiaie del conoide alluvionale sottostante frammentate ad abbondanti elementi antropici. Inoltre, a differenza del fossato intermedio, il fossato interno è scavato anche a spese di depositi archeologici più antichi (facies 1). In aggiunta, la presenza di abbondanti pedorelitti (microfacies FI_A2), provenienti dallo scavo del paleosuolo pre-insediamento (microfacies PI), suggerisce che il riempimento del fossato avveniva anche attraverso l'apporto di materiali provenienti da scavi effettuati in altri settori dell'insediamento che intaccavano direttamente la coltre pedogenetica.

IV.5.2.2. Funzione del fossato interno

Per il settore indagato, le caratteristiche di facies e le micromorfologie forniscono inoltre importanti informazioni circa le modalità di riempimento e le funzioni ipotizzate che il fossato interno svolgeva durante il periodo di vita del sito archeologico di Vetricella. Infatti, la presenza di stratificazioni piano-parallele e incrociata planare e i deboli allineamenti tipo *stone-line* della sottofrazione CFgg (microfacies FI_A1) suggeriscono che il riempimento sia avvenuto tramite azioni di colmata o “butti” sia dal settore interno che esterno al fossato. L’assenza di sedimenti legati alla presenza d’acqua, quindi, fa ipotizzare che il fossato interno non svolgesse la funzione di collettore d’acque.

Le fasi di riempimento superiori mostrano invece momenti di interruzione nelle azioni di colmata, che indicano come il fossato interno svolgeva in quell’area funzioni specifiche. Al microscopio queste fasi di stabilità è evidenziata dalla presenza di abbondanti figure di attività biologica sia vegetale che animale. L’assenza di sedimentazione è inoltre confermata dalla presenza di rivestimenti di argilla polverosa. Tali rivestimenti sono associabili a fenomeni di *slaking* (Jongorius, 1983; Le Bissonais *et al.*, 1990; Kühn *et al.*, 2010), cioè processi di frammentazione e diminuzione del grado di coesione degli aggregati in seguito all’impatto delle gocce di pioggia, con conseguente dilavamento e traslazione delle particelle liberate all’interno del suolo. Lo *slaking* avviene solamente se gli aggregati sono asciutti e subiscono un bagnamento rapido (es. forti piogge) e solamente nelle fasi iniziali di bagnatura del sedimento (Legout *et al.*, 2005; Darboux *et al.*, 2016).

In particolare, si riconoscono due funzioni principali.

Funzione difensiva

La funzione difensiva del fossato interno è stata riconosciuta dalla ricerca archeologica, durante le fasi di scavo, grazie ai resti della cinta muraria impostata direttamente sulla traccia del fossato interno e alle successive opere in palizzata lignea. Nella Trincea D417 i resti di questo antico muro sono riconoscibili nella facies 5, composta principalmente da elementi di malta e calce, che ricoprono un piccolo muretto in pietra. La stesura della malta si ipotizza fosse stata fatta per la preparazione di un piano d’appoggio per la cinta muraria. È possibile inoltre ipotizzare che la malta svolgesse la funzione secondaria di impermeabilizzante. Le opere di palizzata lignea sono invece riconoscibili dai riempimenti delle facies 7, 9a, 9b.

Funzione di discarica

La facies 10 è caratterizzata da alternanze di livelli sottili composti da abbondante materia organica fibrosa e piccole strutture di combustione. Al microscopio la materia organica è risultata essere formata principalmente da resti fecali (microfacies FI_B1) in associazione ad abbondanti frammenti carboniosi ed ossei in alcuni casi fosfatizzati. La presenza di abbondante materia organica all'interno della facies è testimoniata inoltre da abbondanti pedofigure fosfatiche in forma di noduli e croste di fosfati idrati di ferro (vivianite, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, Gaines *et al.*, 1997) con colorazione variabile da giallo, blu con sfumature di verde. Tale colorazione è imputabile alla progressiva ossidazione a contatto con l'aria, in cui il ferro bivalente Fe^{2+} viene isomorficamente sostituito da ferro trivalente Fe^{3+} (McGowan & Prangnell, 2006). Come già menzionato nella descrizione della microfacies (v. §4.2.2.) la cattiva conservazione dei resti fecali ha ostacolato il riconoscimento della loro provenienza, ovvero siano relativi ad animali erbivori oppure onnivori (es. maiali). L'assenza di sferuliti (Brochier, 1996; Canti & Brochier, 2017a), forti indicatori della presenza di animali erbivori ruminanti (bovini, ovini e capriovini) (Brochier, 1996; Canti, 1999), farebbe ipotizzare che i resti fecali siano di origine suina. Tuttavia, non è possibile escludere che l'assenza degli sferuliti sia il risultato della loro completa dissoluzione/distruzione. Infatti, la conservazione di questi corpuscoli è molto sensibile alle condizioni di pH del sedimento e all'esposizione delle condizioni meteorologiche (Brochier, 2002; Karkanias, 2010). Inoltre, gli sferuliti si distruggono quando sono esposti a temperature comprese tra 500-560°C (Brochier, 2002) e 650-750°C (Shahack-Gross, 2011). La continuazione delle analisi ed il confronto con i dati archeozoologici, ad ora in corso, permetteranno di comprendere la genesi di questi apporti e fornire importanti informazioni relative alle dinamiche sia di allevamento che socio-economiche del contesto archeologico.

Per quanto riguarda le strutture di combustione (microfacies FI_B2), l'analisi micromorfologica ha riconosciuto due tipologie distinte. La prima è formata da una fascia di sedimento dai limiti sfumati di colore arrossato dovuto a rubefazione (ben visibile in CSN_D41708 e molto frammentata in CSN_D41702). L'alterazione del colore appare evidente a temperature di almeno 200°C a seguito delle trasformazioni minerali che subiscono gli ossidi di ferro all'interno dei costituenti (Aldeias *et al.*, 2016). A titolo esemplificativo, la goethite ($\text{Fe} + 3\text{O}(\text{OH})$) si altera in ematite (Fe_2O_3) per disidratazione quando le temperature raggiungono i 240°C (Canti & Lindford, 2000). L'assenza di livelli di cenere e combustibile può essere associata ad azioni di pulizia/manutenzione dei focolari (Mallol *et al.*, 2017). La seconda tipologia (ben conservata in CSN_D41707) è invece coerente con le strutture di combustione

semplici (Mentzer, 2014). La base è formata da una tipica fascia di terreno rubefatta con limiti sfumati. Sopra di essa è presente sottile livello bruno scuro – nerastro formato da carboni di frammenti vegetali combusti o parzialmente combusti e che identifica la superficie su cui è stato acceso il fuoco. Il tetto è formato da uno strato di cenere di aspetto fine siltoso, biancastro, prodotto della combustione completa, in ambiente ossidante, del combustibile organico. Al microscopio la cenere è stratificata ed evidenzia chiaramente due processi di combustione a temperature diverse. Infatti, studi sperimentali indicano che l'ossalato di calcio si trasforma in carbonato di calcio a temperature comprese tra i 400-500°C (Canti & Brochier, 2017); se la temperatura raggiunge i 600°C ca. i cristalli pseudomorfi iniziano a degradarsi e ha perdere la loro struttura originaria fino alla loro completa fusione a 650°C ca (Shahack-Gross & Ayalon, 2013). Basandosi su questi dati, quindi, si evince che nel primo processo di combustione, alla base, le temperature raggiunte non superavano probabilmente i 500°, come suggeriscono la preservazione degli ossalati di calcio e la parziale conservazione della morfologia originale dei vegetali. Nella seconda fase di combustione, invece, gli aggregati di calcite pseudomorfe hanno sostituito gli ossalati di calcio vegetale a seguito della combustione di quest'ultimi a temperature superiori ai 500°C., mentre i processi di fusione e micritizzazione parziale degli pseudomorfi sono indicatori del probabile raggiungimento, per brevi periodi, di temperature sopra i 650°C.

IV.5.3. FOSSATO INTERMEDIO

Le sezioni mostrano una dinamica complessa e successione di eventi sedimentari di riempimento dei fossati in funzione dell'uso e delle relazioni con le fasi di occupazione del sito di Vetricella. Data la complessità dei riempimenti e il loro significato in termini di processi sedimentari non è possibile correlare accuratamente le diverse eventuali fasi di uso e manutenzione del fossato (es. dragaggi) per le quali è richiesto un maggiore dettaglio dal punto di vista geocronologico. Inoltre, la sommità dei fossati è troncata ubiquitariamente dall'orizzonte agricolo moderno per cui anche le dimensioni originali e gli spessori dei riempimenti potrebbero essere in qualche misura diversi da quelli osservati nelle trincee.

IV.5.3.1. Facies sedimentarie

Per quanto riguarda il fossato intermedio, l'analisi stratigrafica ha permesso di riconoscere due principali facies distinte sulla base dell'origine del processo sedimentario (Figg. da IV.30 a IV.33):

- **facies antropiche** (colore verde) – generalmente caratterizzate da sedimenti grossolani, ghiaiosi, poco selezionati a prevalente supporto clastico con scarsa matrice fine. La composizione di queste facies è caratterizzata dalla presenza più o meno abbondante di elementi antropici (ceramiche, ossi animali, carboni ecc.) la cui migliore espressione è apprezzabile nella Sezione S2DE. La caratteristica comune di queste facies è la loro ubicazione prevalente nelle porzioni esterne e interne del fossato con chiara provenienza dei sedimenti stessi dai medesimi settori. Infatti, la stratificazione piano-parallela e incrociata planare indica che si tratta di sedimenti intenzionalmente immessi nei fossati dalla superficie topografica circostante i fossati stessi, associabili ad operazioni di colmate o “butti” atti alla colmataura del fossato o ad interventi di sistemazione della geometria.
- **facies alluvionali** (colore rosso) – generalmente caratterizzate da sedimenti siltoso-argillosi, prevalentemente massivi, con occasionali apporti sabbiosi depositi in un ambiente caratterizzato da presenza di acque stagnanti o debolmente in movimento e quindi per prevalente decantazione in ambienti di bassa energia idraulica.

IV.5.3.2. Strutture sedimentarie

L'analisi micromorfologica mostra una buona correlazione con le osservazioni di campo. In sezione sottile le strutture sedimentarie delle facies alluvionali risultano molto frammentarie, alterate dalle azioni postdeposizionali che verranno discusse successivamente. Ciò nonostante le strutture preservatesi sono più apprezzabili al microscopio rispetto alla visione di campo e sono connesse al trasporto idrico trattivo di fondo ed al trasporto in sospensione e deposizione per decantazione, come dimostrano le sequenze formate da laminazioni piano-parallele a gradazione diretta *fining-upward*. Viste nel dettaglio, le laminazioni sono formate da alternanze di lamine grossolane sabbiose ben selezionate, da fine a molto fine con occasionali clasti embricati, e lamine fini siltose-argillose massive che, in associazione, formano un ciclo sedimentario completo. La progressiva perdita di energia idraulica è indicata da un sottile strato argilloso al tetto sedimentatosi per decantazione.

IV.5.3.3. Modificazioni postdeposizionali

Le alterazioni postdeposizionali sono state riconosciute sia nella descrizione di campo che nell'analisi micromorfologica e sono raggruppate in due gruppi principali: 1) figure connesse all'idromorfismo; 2) figure connesse all'esposizione superficiale.

Figure connesse all'idromorfismo

Le figure di idromorfismo sono legate alla mobilitazione degli ossidi e idrossidi di ferro-manganese e, in maniera minore, alla precipitazione di carbonato di calcio secondario, nonché a scorrimento idrico con traslocazione di argilla, relative alle fasi di saturazione e desaturazione d'acqua. Nell'evidenza di campo ciò si manifesta con screziature bruno-rossastre e patine nerastre. In sezione sottile, le figure idromorfiche si manifestano principalmente su pori non più attivi.

Nelle microfacies indagate sono inoltre state osservate scarse figure di tipo tessiturale formate da rivestimenti sottili di argilla impura su canali e pori. La traslocazione verticale della frazione fine è veicolata dalla presenza d'acqua e l'aspetto impuro e l'assenza di laminazioni suggeriscono dei fenomeni connessi alla percolazione d'acqua conseguente allo scorrimento superficiale o a fenomeni d'illuviazione rapida e di breve durata, coerenti con le fasi stagionali di riempimento d'acqua del fossato (Kühn *et al.*, 2010). Locali rivestimenti d'argilla impura, a copertura di rivestimenti micritici, suggeriscono invece fasi d'inondazione del fossato successive a fasi di secca con conseguente formazione di vegetazione sulla superficie.

Figure connesse all'esposizione superficiale

Sono figure connesse alla bioturbazione e principi di pedogenesi, diffuse in tutte le sequenze. Al microscopio l'attività biologica è evidenziata dalle microstrutture locali a canali e vermicolari, da resti di radici ed elementi vegetali e da riempimenti sciolti incompleti con aggregati mammellonati e con alto grado di coalescenza escrementi, quest'ultimi indicatori dell'attività della mesofauna edafica (Kooistra & Pulleman, 2010). La sostanza organica rilevata mostra in parte stadi iniziali di degrado ed umificazione, rendendo indistinguibile la struttura cellulare o determinando occasionalmente vuoti pseudoformi da impronta (*moldic voids*). L'osservazione di queste caratteristiche microscopiche in associazione con figure di essiccamento macroscopiche, evidenziate da strutture poliedriche subangolose indicano quindi fasi di stabilità delle superfici con assenza di sedimentazione e connessa essiccazione completa del fossato, favorendo perciò l'attività della flora e della fauna. Tale attività ha di fatto modificato l'assetto strutturale laminare originale, preservatasi frammentariamente nel deposito. È quindi plausibile ipotizzare che il riempimento da parte delle acque del fossato non sia stato continuo nel tempo ma che abbia subito oscillazioni importanti e prolungate ma non tali da attivare processi pedogenetici e di humificazione spinti, con ogni probabilità legate a oscillazioni stagionali.

IV.5.3.4. Dinamiche formative dei riempimenti

La discriminazione tra facies deposizionali naturali ed antropiche ha permesso di ricostruire le dinamiche formative di riempimento del fossato intermedio. Tuttavia, è necessario tenere presente che la mancanza di relazioni stratigrafiche tra le sezioni analizzate e la scarsità di dati geocronologici a supporto non permette ad ora di ricostruire le fasi di riempimento in un contesto unitario.

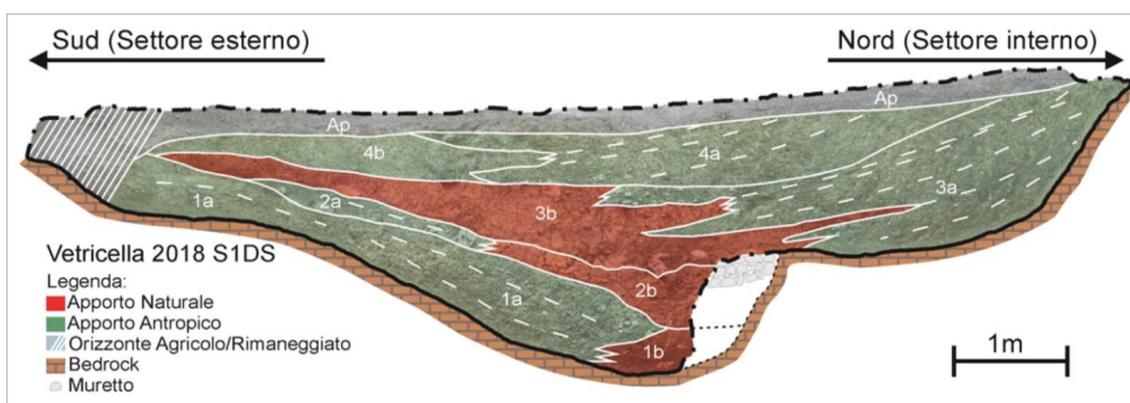


Figura IV.30 – Fossato intermedio, S1DS. Ricostruzione delle facies sedimentarie naturali alluvionali (in rosso) e le facies di riempimento antropico (in verde)

In S1DS (Fig. IV.30) le facies naturali si osservano alla base del fossato in appoggio diretto sul substrato ma con relazioni laterali con le facies antropiche provenienti dal settore esterno. L'uso del fossato come collettore o serbatoio di acqua inizia quindi sin dalle prime fasi della sua esistenza anche se contemporaneamente c'è un intenzionale riempimento dalle parti esterne di materiali di risulta dello scavo del fossato stesso frammisti a elementi di origine antropica. La presenza del gradino nella parte interna individua una porzione più profonda centrale in cui la presenza di sedimenti originatisi dalla decantazione in acque a debole energia prosegue per buona parte della storia del fossato. Il muretto sul gradino sembrerebbe costituire un'opera di regimazione volta a separare meglio il settore interno da quello centrale ed esterno. Il livello 3b indica invece che la quasi totalità dell'estensione del fossato era occupata da acque a bassa energia e che l'apporto di materiali antropici diventa prevalente dalla porzione interna (3a). Lo stesso livello 3a suggerisce che in questa fase perde significato e utilità il gradino interno in quanto viene a sua volta seppellito e riempito da materiali antropici. La fase finale dell'esistenza del fossato è infine caratterizzata dalla sua colmata definitiva avvenuta prevalentemente dal settore interno.

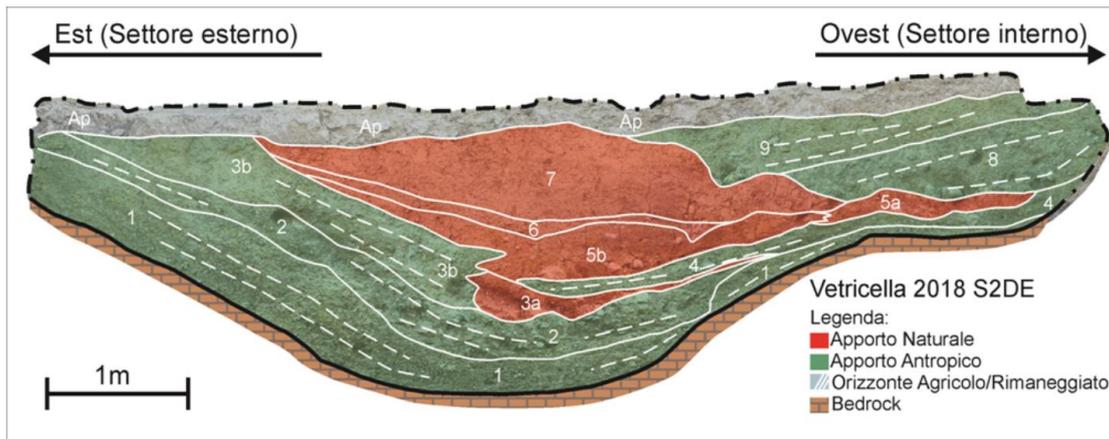


Figura IV.31 – Fossato intermedio, S2DE. Ricostruzione delle facies sedimentarie naturali alluvionali (in rosso) e le facies di riempimento antropico (in verde)

In S2DE (Fig. IV.31) il fossato mostra una geometria analoga a quella osservata nelle altre trincee con la presenza di un gradino e una rampa a bassa pendenza nella porzione interna. In questo caso le facies naturali compaiono in una posizione stratigrafica più elevata rispetto alle altre sezioni. I riempimenti basali del fossato risultano essere di natura antropica con provenienza dal settore esterno e con abbondanti materiali archeologici e faunistici che potrebbero suggerire la presenza di attività antropiche concentrate in questo settore i cui resti sono stati utilizzati per il riempimento basale del fossato. Non è possibile tuttavia escludere la presenza di acque anche che nelle fasi iniziali di vita del fossato e che i sedimenti relativi siano stati successivamente asportati. Le facies naturali, con le medesime caratteristiche in ognuna delle sezioni osservate in termini di ambiente sedimentario, si rinvengono inizialmente nella porzione centrale ma successivamente si estendono sia nel settore interno che in quello esterno ad indicare che la funzione del fossato come collettore di acque abbia interessato quasi la sua totale estensione, fin sopra il gradino e relativa rampa interna. Tuttavia, durante la deposizione delle facies naturali si osserva anche la continua sedimentazione dai settori interni ed esterni anche di sedimenti di origine antropica. La sedimentazione naturale sembra colmare definitivamente il fossato anche se il fatto che i sedimenti siano troncati dall'orizzonte agricolo non permette di escludere fasi di colmatatura finali oggi non più osservabili.

In S4DN (Fig. IV.32) le facies antropiche sono scarsamente rappresentate sia nelle fasi iniziali del riempimento sia in quelle finali. Vale tuttavia la considerazione già effettuata e cioè che la troncatura del riempimento ad opera dei lavori agricoli possa aver asportato parte del riempimento finale. Anche in questo caso le facies naturali sono concentrate nella porzione centrale del fossato nella parte bassa del riempimento, mentre si estendono per tutta la

sezione nella parte sommitale. In questo caso si osserva come sia stata realizzata una sistemazione sul gradino interno (livello 4) volto a separare meglio la porzione interna con la sua rampa da quella esterna più acclive. La presenza dell'orizzonte di suolo argillico (Bt) che altera i sedimenti della conoide alluvionale, all'interno della quale è stato scavato il fossato, fornisce indicazioni circa la presenza di tracce della superficie topografica originale. Le due datazioni disponibili, ottenute alla base e al tetto della facies 5 collocano questa fase di riempimento tra l'inizio del IX e la fine del X secolo. Tuttavia, la presenza di facies naturali sia al letto sia al tetto del livello datato suggerisce come lo scavo del fossato sia stato realizzato precedentemente a questa cronologia e come il suo riempimento sia continuato fino a periodi successivi. Datazioni sui livelli più antichi (2,3, 5a e 5c) e recenti (6) potrebbero aiutare in questo senso a raffinare l'interpretazione.

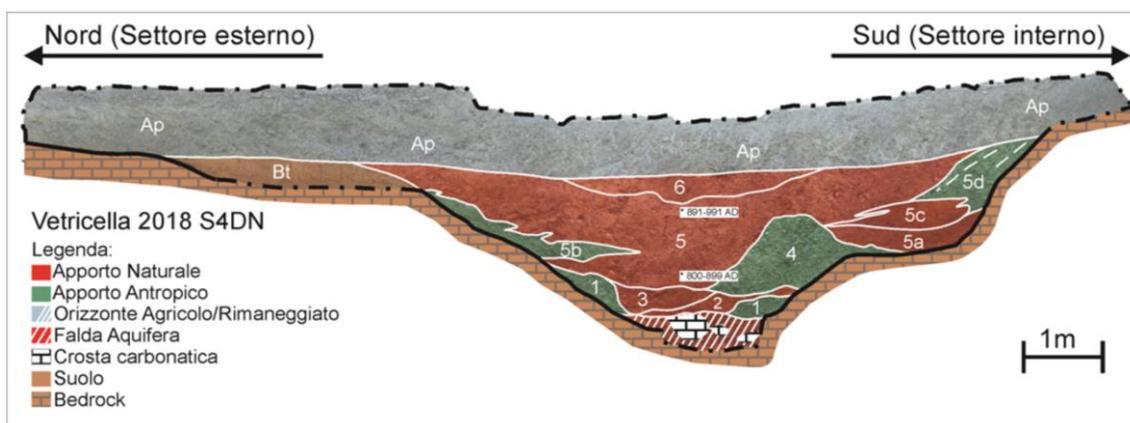


Figura IV.32 – Fossato intermedio, S4DN. Ricostruzione delle facies sedimentarie naturali alluvionali (in rosso) e le facies di riempimento antropico (in verde)

In S7DW (Fig. IV.33) le prime evidenze di riempimento sono ad opera di materiali antropici. Ancora una volta, tuttavia, non è possibile stabilire con certezza se si tratti effettivamente del primo riempimento successivo allo scavo del fossato o se eventuali riempimenti precedenti siano stati oggetto di scavo per sistemazione o dragaggio. Tuttavia, la presenza di acque all'interno del fossato è testimoniata dal livello 1 presente sul gradino nella porzione interna a diretto contatto con il substrato. La storia successiva del riempimento del fossato ci indica come la sua quasi totale estensione era occupata da acque (Livello 6) e che ripetuti apporti antropici, prevalentemente dalla parte interna, si siano succeduti fino quasi al completo colmamento. Tuttavia, il fatto che il livello 6 sia troncato nella parte esterna dal suolo agricolo suggerisce come la presenza di acqua sia stata consecutiva nel tempo. Per quanto riguarda la cronologia, la datazione alla base del livello 6 potrebbe anticipare la presenza del fossato alle

prime fasi di occupazione di Vetricella, anche se il dato storico e archeologico non sostiene questo modello. La datazione è stata effettuata su carboni presenti in un sottile livello osservato in entrambi i lati dello scavo, per cui la quantità di carboni non è trascurabile. Per l'affidabilità della datazione stessa sarebbe necessario un raffinamento della cronologia attraverso la datazione dei livelli sotto- e soprastanti.

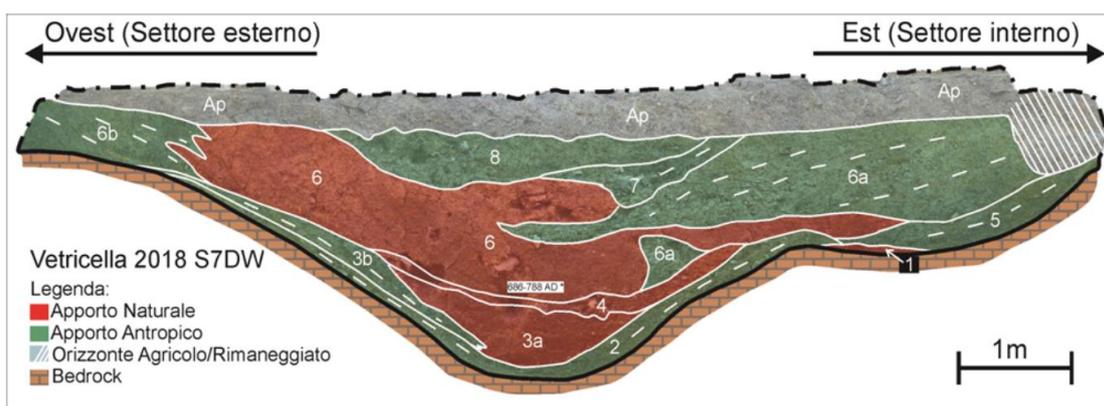


Figura IV.33 – Fossato intermedio, S7DW. Ricostruzione delle facies sedimentarie naturali alluvionali (in rosso) e delle facies di riempimento antropico (in verde)

IV.5.3.5. Geometria e funzione del fossato intermedio

La caratteristica principale del fossato intermedio è la sua asimmetria. Infatti, nella parte interna al sito è sempre presente un gradino che separa una parte più profonda, centrale, da una parte meno profonda. Inoltre, tale sistemazione consente di avere una rampa o un fianco meno acclive sulla parte interna rispetto a quella esterna. L'ipotesi principale che si può avanzare è che la rampa meno acclive e il gradino fossero funzionali ad agevolare l'accesso all'interno del fossato dalla parte interna, probabilmente per favorire lavori di manutenzione (ad es. ripulitura e dragaggio) e per l'approvvigionamento idrico. Infatti, il fossato presenta dei riempimenti sedimentari che indicano la costante presenza di acqua e di una bassa energia di scorrimento della stessa. È quindi evidente che la funzione principale del fossato fosse quella di serbatoio idrico. L'asimmetria della geometria del fossato permetteva quindi anche di accedere alla porzione centrale più profonda nei periodi di secca (periodi estivi?) durante i quali il livello dell'acqua doveva essere più basso (facendo un calcolo del possibile volume d'acqua presente in quest'area nei periodi di secca, si stima che il fossato potesse contenerne 581 m³), anche attraverso opere di sistemazione locali quali muretti o apporto di ghiaie dalla parte interna. L'ipotesi della stagionalità del livello dell'acqua è indicata anche dalla presenza di molluschi bivalvi della famiglia *Unionidae*. Si tratta di molluschi che si fissano su fondali

fangosi, possono sopravvivere a lunghi periodi di secca e sono commestibili. Tuttavia, per quanto riguarda quest'ultima funzione la quantità osservata non sembrerebbe congrua con il loro uso come cibo. Allo stato attuale non è possibile sapere se all'interno del fossato fossero presenti anche pesci e quale possa essere la loro provenienza. La loro presenza, infatti, comporterebbe un continuo riciclo di acqua. La presenza di riempimenti di origine antropica di provenienza sia dai settori interni che esterni del fossato indica come nel tempo lo stesso fossato sia stato utilizzato anche con funzione di "scarico" di materiali con ogni probabilità relazionabili con fasi di uso delle superfici prospicienti al fossato. Solo in un caso (S2DE) si osservano fasi di riempimento intenzionale "precoci" che interessano cioè la parte basale del fossato, mentre negli altri casi si tratta di riempimenti successivi che vanno ad interessare le porzioni laterali del fossato, probabilmente per diminuirne progressivamente la sezione e favorire l'accesso alla risorsa idrica presente nella parte centrale e più profonda del fossato stesso. Nel settore meridionale si osserva la completa tombatura del fossato ad opera di sedimenti antropici mentre negli altri casi il riempimento naturale suggerisce che la tombatura definitiva sia avvenuta, almeno nella porzione centrale, ad opera di processi naturali dovuti alla presenza di acqua.

I livelli naturali inoltre presentano spesso evidenze di debole pedogenesi e geometrie lenticolari erosive che indicano rispettivamente fasi di assenza di sedimentazione e quindi di probabile essiccazione completa del fossato e fasi di maggiore energia dovute a scorrimento idrico. È quindi plausibile ipotizzare che il riempimento da parte delle acque del fossato non sia stato continuo nel tempo ma che abbia subito oscillazioni importanti, con ogni probabilità legate a oscillazioni stagionali o a drenaggi intenzionali, anche se per quest'ultima ipotesi non sono state osservate direttamente le evidenze.

Per quanto riguarda l'apporto di acque al fossato le analisi effettuate (topografia di alto dettaglio, indagini geofisiche) non hanno evidenziato la presenza di canalizzazioni o collettori realizzati *ad hoc* che convogliassero le acque nel fossato. Il fiume Pecora durante i periodi di occupazione del sito archeologico era localizzato ad una quota più bassa (cfr. Sez. II Macroscala) e quindi la possibilità che esistesse un canale allacciante con il corso d'acqua non è verosimile. Tuttavia, l'analisi geomorfologica ha evidenziato come il sito di Vetricella sia ubicato all'interno di un sistema di piccole vallecole che solcano la superficie del conoide alluvionale del Pleistocene superiore e che ospitavano il paleodrenaggio superficiale (cfr. Sez. III, Mesoscala). Il sito di Vetricella si trova nella porzione leggermente rialzata posta tra due di queste vallecole e quindi aveva due linee di drenaggio "naturali" principali, una posta a Ovest e

una posta ad Est. Date le caratteristiche di facies del riempimento del fossato intermedio l'ipotesi più plausibile è che le acque di riempimento del fossato provenissero da questi sistemi di drenaggio superficiale che erano soggetti a stagionalità, la stessa stagionalità che si riconosce dall'analisi dei riempimenti. Tuttavia, non si può escludere che fossero presenti all'interno del fossato delle opere di sistemazione volte a regolare l'afflusso e il deflusso di acque anche se i loro effetti non sembrano rivelarsi dall'analisi geoarcheologica. Oggi si osserva che durante eventi piovosi anche di intensità non eccessiva le trincee realizzate si riempiono rapidamente di acqua mentre il deflusso è rallentato dalla presenza di matrice argillosa (impermeabilizzante) all'interno delle ghiaie al cui interno è stato scavato il fossato. È quindi plausibile che la quantità di acqua presente nel fossato fosse dipendente principalmente dalle variazioni stagionali e dagli eventi meteorici, sia come deflusso diretto (quantità di acqua piovana che finisce direttamente nel fossato) sia come deflusso superficiale (quantità di acqua piovana proveniente dal ruscellamento superficiale delle aree circostanti).

ANNESSO IV

MICROFACIES PI (PRE-INSEDIAMENTO)

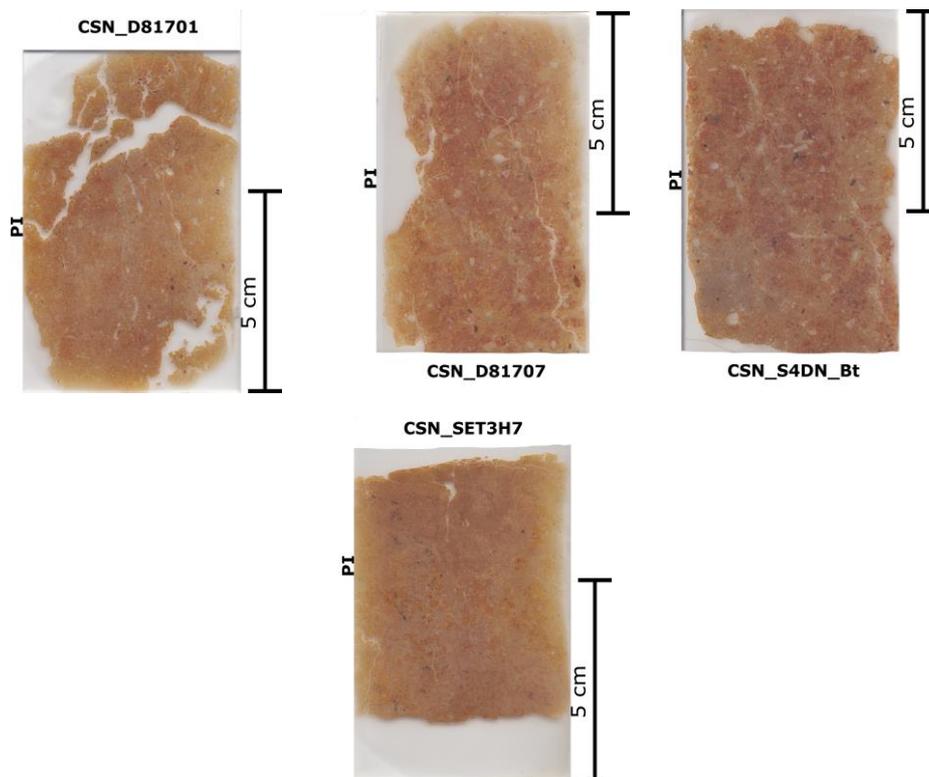


Tavola AIV.1 – Microfacies PI. Scansione delle sezioni sottili CSN_D81701, CSN_D81707, CSN_S4DN_Bt, CSN_SET3H7 (l'orientazione è data dalla sigla del campione)

MICROFACIES OA (OCCUPAZIONE ANTROPICA)

Microfacies OA_1

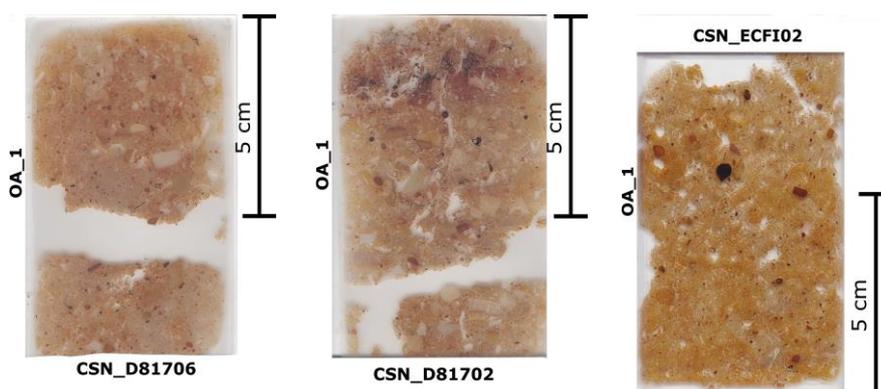


Tavola AIV.2 – Microfacies OA_1. Scansione delle sezioni sottili CSN_D81706, CSN_D81702, CSN_ECFI02 (l'orientazione è data dalla sigla del campione)

Microfacies OA_2

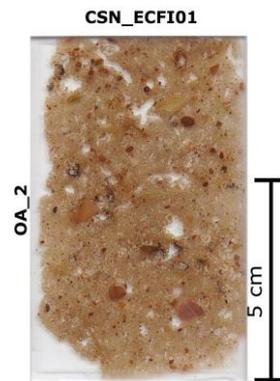


Tavola AIV.3 – Microfacies OA_2. Scansione della sezione sottile CSN_ECFI01 (l'orientazione è data dalla sigla del campione)

Microfacies OA_3

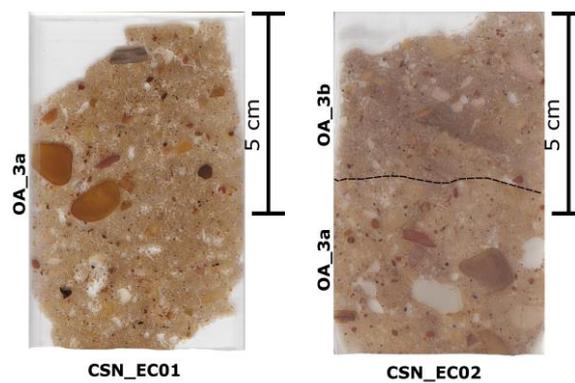


Tavola AIV.4 – Microfacies OA_3. Scansione delle sezioni sottili CSN_EC01 (microunità OA_3a), CSN_EC02 (microunità OA_3a, alla base e microunità OA_3b, al tetto. L'orientazione è data dalla sigla dei campioni)

Microfacies OA_4

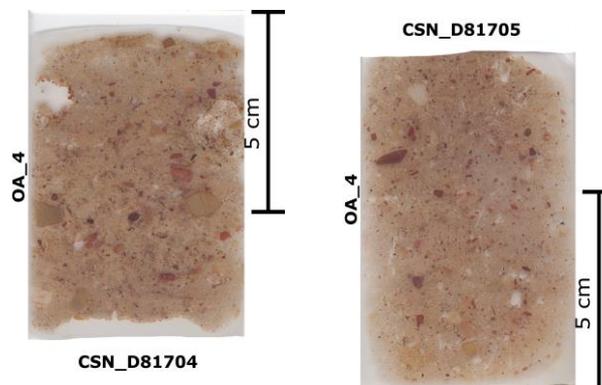


Tavola AIV.5 – Microfacies OA_4. Scansione delle sezioni sottili CSN_D81704, CSN_D81705 (l'orientazione è data dalla sigla dei campioni)

MICROFACIES FI (FOSSATO INTERNO)

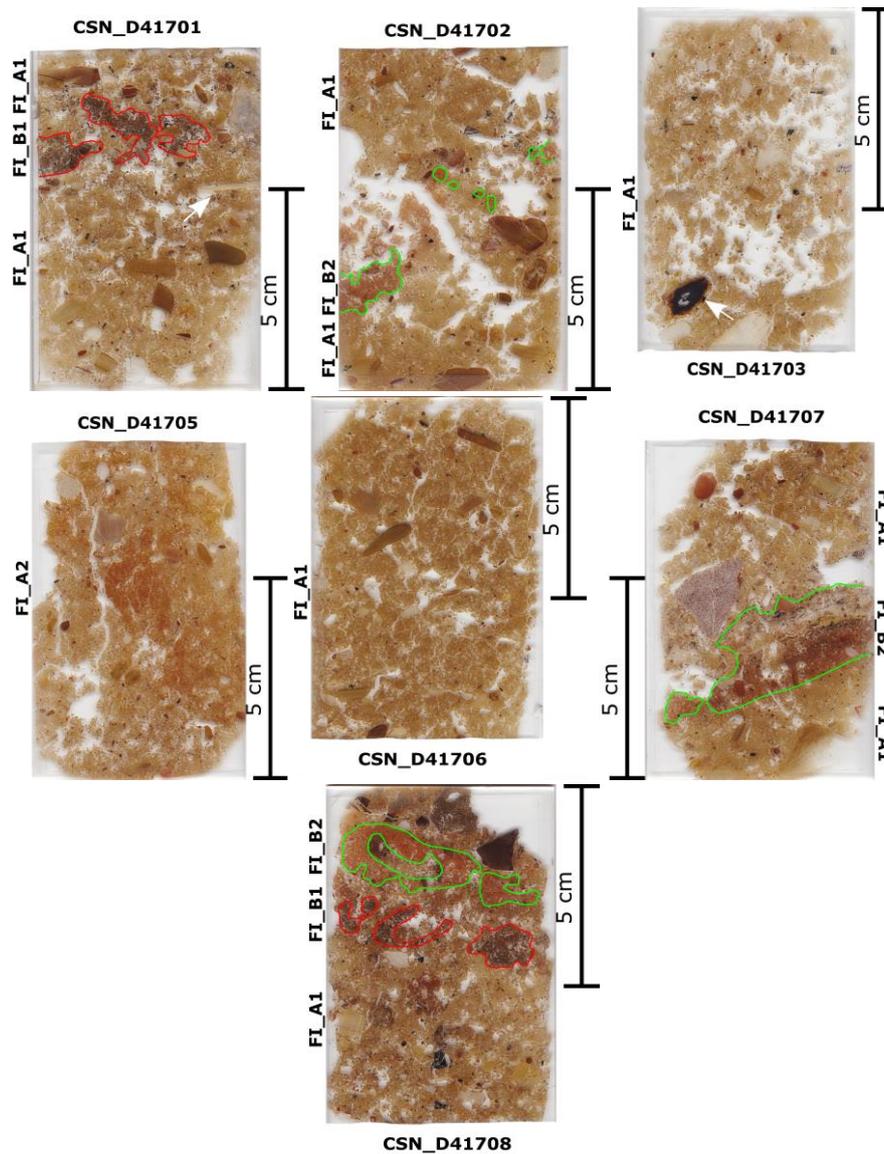


Tavola AIV.6 – Scansione sezioni sottili microfacies FI_A1 (CSN_D41701, CSN_D41702, CSN_D41703, CSN_D41706, CSN_D41707, CSN_D41708), FI_A2 (CSN_D41705), FI_B1 (in rosso, CSN_D41701, CSN_D41708) e FI_B2 (in verde, CSN_D41702, CSN_D41707, CSN_D41708) (l'orientazione è data dalla sigla dei campioni)

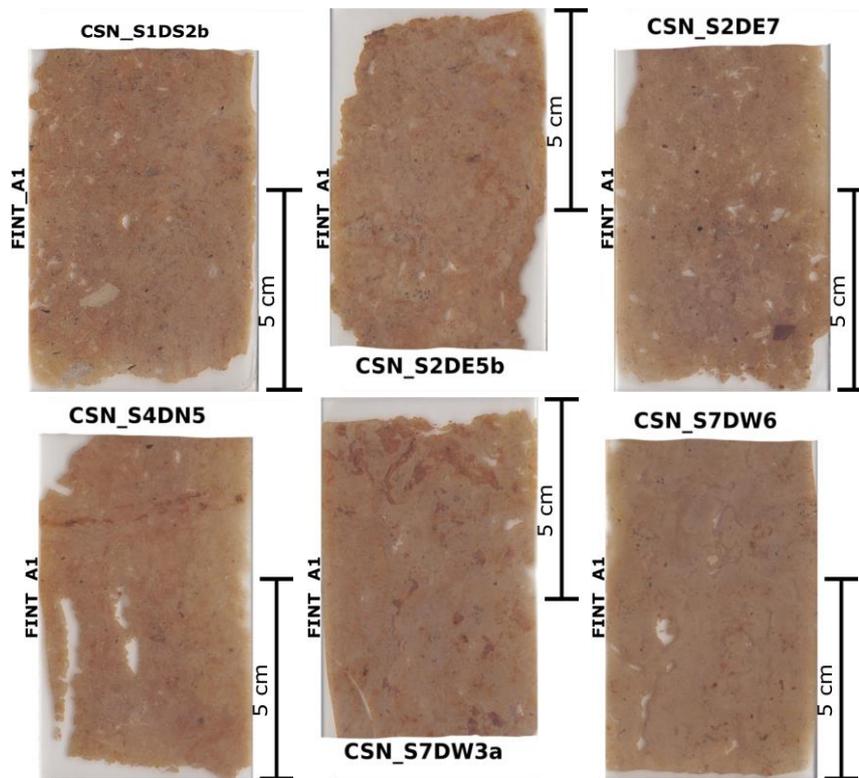
MICROFACIES FINT (FOSSATO INTERMEDIO)**Microfacies FINT_A1**

Tavola AIV.7 – Microfacies FINT_A1. Scansione delle sezioni sottili CSN_S1DS2b, CSN_S2DE5b, CSN_S2DE7, CSN_S4DN5, CSN_S7DW3a, CSN_S7DW6 (l'orientazione è data dalla sigla dei campioni)

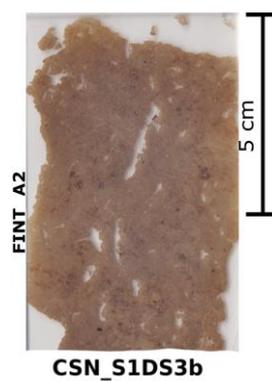
Microfacies FINT_A2

Tavola AIV.8 – Microfacies FINT_A2. Scansione sezione sottile CSN_S1DS3b (l'orientazione è data dalla sigla del campione)

SINTESI ANALITICHE ANALISI MICROMORFOLOGICA

Mf	Mu	TS	Microstruttura	Porosità					
				TOT	Tipologia pori				
			1°/2°		pl	cn	cm	vesc	vac
PI (PRE-INSEDIAMENTO)									
PI		CNS_D81701 CSN_D81707 CSN_SET3H7 CSN_S4DN_Bt	PSA	**	0000	00			
OA (OCCUPAZIONE ANTROPICA)									
OA_1		CSN_D81702 CSN_D81706 CSN_ECFI02	CAN	***	00	000			
OA_2		CSN_ECFI01	CAN	****	0000	0			
OA_3	OA_3a	CSN_EC01 CSN_EC02	MAS	**	00000				
	OA_3b	CSN_EC02	MAS/CAN	**	00000				
OA_4		CSN_D81704 CSN_D81705	MAS	*	00000				
FI_A (FOSSATO INTERNO)									
FI_A1		CSN_D41701 CSN_D41702 CSN_D41703 CSN_D41706 CSN_D41707 CSN_D41708	CAN	****	0	00000	00		0
FI_A2		CSN_D41705	CAN	***		00000			0
FI_B (FOSSATO INTERNO)									
FI_B1		CSN_D41701 CSN_D41702 CSN_D41708	FIB	***		00000			
FI_B2		CSN_D41702 CSN_D41707 CSN_D41708	LAM	**		000		00	
FINT_A (FOSSATO INTERMEDIO)									
FINT_A1		CSN_S1DS2b CSN_S2DE5b CSN_S2DE7 CSN_S4DN5 CSN_S7DW3a CSN_S7DW6	MAS/LAM	***	00	0000			
FINT_A2		CSN_S1DS3b	CAN/MAS	****	0	0000			

Tabella AIV.1 – Sintesi analitica delle microstrutture e porosità delle microfacies osservate. Legenda: **Mf** – Microfacies; **Mu** – Microunità; **TS** – Sezione Sottile; **1°/2°** – microstruttura dominante/microstruttura subordinata; **pl** – pori planari; **cn** – canali; **cm** – camere; **vesc** – vescicole; **vugh** – vacui; **PSA** – microstruttura poliedrica subangolosa; **MAS** – microstruttura massiva; **CAN** – microstruttura a canali; **FIB** – microstruttura fibrosa; **LAM** – microstruttura laminare. Frequenza: */0 – raro (<5%); **/00 – scarso (5-15%); ***/000 – comune (15-40%); ****/0000 – frequente (40-60%); *****/00000 – abbondante (60%). Espressione: + – debole/molto debole; ++ – scarso; +++ – discreto; ++++ – buono.

Mf	Mu	TS	Frazione Grossolana															Frazione Fine										
			Minerale												BIO			Minerale		BIO								
			CFg						CFgg						CH	Os	Gsi	Silt/Cl	CaCO ₃	MO	CH	Cen						
			Q	Qzt	Mic	AQ	S	Feld	Cal	CT	Mlt	Oth	Q	Qzt									AQ	S	Cal	CT	Mlt	Oth
PI (PRE-INSEDIAMENTO)																												
PI		CNS_D81701 CSN_D81707 CSN_SET3H7 CSN_S4DN_Bt	***	**	*																		****	**				
OA (OCCUPAZIONE ANTROPICA)																												
OA_1		CSN_D81702 CSN_D81706 CSN_ECFI02	****	*	***	**	*											*	Fe	**			**	***		***		
OA_2		CSN_ECFI01	****	**	***	*	*													*	**	*	*	**	**	***		
OA_3	OA_3a	CSN_EC01 CSN_EC02	*****	**	***	**	*											*	*	*	*			**		***		
	OA_3b	CSN_EC02	*****	**	****	*	*											*	*	*	*					**	**	
OA_4		CSN_D81704 CSN_D81705	*****	**	**	*	*													*	**	***	*			***	*	**
FI_A (FOSSATO INTERNO)																												
FI_A1		CSN_D41701 CSN_D41702 CSN_D41703 CSN_D41706 CSN_D41707 CSN_D41708	****	***	**	*	*											*	**	Fe	***	**	*	**	**	**	***	
	FI_A2	CSN_D41705	****	*	***	*	**													**	**	*			**	**	*	**

Mf	Mu	TS	Frazione Grossolana																Frazione Fine											
			Minerale												BIO				Minerale		BIO									
			CFg						CFgg						CH	Os	Gsi	Silt/Cl	CaCO ₃	MO	CH	Cen								
			Q	Qzt	Mic	AQ	S	Feld	Cal	CT	Mlt	Oth	Q	Qzt									AQ	S	Cal	CT	Mlt	Oth		
FI_B (FOSSATO INTERNO)																														
FI_B1	CSN_D41701 CSN_D41702 CSN_D41708		*	*	*																***	***		*	*	****	*			
F1_B2	CSN_D41702 CSN_D41707 CSN_D41708		***		*					*											*	*		****	**	**	***	***		
FINT_A (FOSSATO INTERMEDIO)																														
FINT_A1	CSN_S1DS2b CSN_S2DE5b CSN_S2DE7 CSN_S4DN5 CSN_S7DW3a CSN_S7DW6		****	**	*					*	*													*	*	***	****	**	**	***
FINT_A2	CSN_S1DS3b		***	*																			**	*	*	****	**	**	***	

Tabella AIV.2 – (Pagg. 230-231) Sintesi analitica dei costituenti delle microfacies osservate. Legenda: **Mf** – microfacies; **Mu** – microunità; **TS** – sezione sottile; **BIO** – frazione organica o di origine biologica; **CFg** – frazione grossolana; **CFgg** – frazione molto grossolana; **Q** – quarzo; **Qzt** – quarzite; **Mic** – miche; **AQ** – arenaria quarzosa; **S** – selce; **Feld** – feldspati; **Cal** – calcite; **CT** – tufi calcarei; **Mlt** – malta; **Oth** – altri componenti; **Fe** – Ferro; **fec** – pellets fecali; **CH** – carbone; **OS** – ossi; **Gsi** – gusci; **Silt/Cl** – frazione siltosa-argillosa; **CaCO₃** – carbonato di calcio; **MO** – materia organica; **Cen** – cenere. Frequenza: * – raro (<5%); ** – scarso (5-15%); *** – comune (15-40%); **** – frequente (40-60%); ***** – abbondante (60%)

Mf	Mu	TS	Ratio		RIDP		b-fabric	Fabric	Pedofigure								
			c/f	CFg/CFgg	c/f	CFg/CFgg			Text		BIO				Amorfe		Pedorelict
									Cl	CaCO ₃	Inf	MO	P	Fec	Fe-Mn	Depl	
PI (PRE-INSEDIAMENTO)																	
PI		CNS_D81701 CSN_D81707 CSN_SET3H7 CSN_S4DN_Bt	40:60	80:20	prf	prf aperta	str inc gr str con		**** limp imp	** mic spa	** dcom cre			***	***		
OA (OCCUPAZIONE ANTROPICA)																	
OA_1		CSN_D81702 CSN_D81706 CSN_ECFI02	70:30	70:30	prf	prf aperta	ind	++	** imp		*** dcomp	*		**	***		
OA_2		CSN_ECFI01	70:30	60:40	prf chiusa	prf aperta	cri	+		*		*		*	*		
OA_3	OA_3a	CSN_EC01 CSN_EC02	80:20	70:30	prf chiusa	prf aperta	cri	++		** mic			*	**			
	OA_3b	CSN_EC02	80:20	60:40	prf chiusa	prf aperta	cri	+++		* mic	** sc disc			**	*		
OA_4		CSN_D81704 CSN_D81705	70:30	60:40	prf chiusa	prf aperta	ind	+++		* mic	* dcomp cre			*			
FI_A (FOSSATO INTERNO)																	
FI_A1		CSN_D41701 CSN_D41702 CSN_D41703 CSN_D41706 CSN_D41707 CSN_D41708	70:30	60:40	prf chiusa	prf aperta	ind	++	*** pol		*** sc disc		*V	*			
FI_A2		CSN_D41705	70:30	70:30	prf	prf aperta	ind		* pol						***		

Mf	Mu	TS	Ratio		RIDP		b-fabric	Fabric	Pedofigure									
			c/f	CFg/CFgg	c/f	CFg/CFgg			Text		BIO				Amorfe		Pedorelict	
									Cl	CaCO ₃	Inf	MO	P	Fec	Fe-Mn	Depl		
FI_B (FOSSATO INTERNO)																		
FI_B1	CSN_D41701 CSN_D41702 CSN_D41708		70:30	70:30	enl	prf aperta	ind	+	*	pol			****	****	V	*	*	
FI_B2	CSN_D41702 CSN_D41707 CSN_D41708		50:50	40:60	prf aperta	prf aperta	ind	+++				**	****	V		**		
FINT_A (FOSSATO INTERMEDIO)																		
FINT_A1	CSN_S1DS2b CSN_S2DE5b CSN_S2DE7 CSN_S4DN5 CSN_S7DW3a CSN_S7DW6		30:70	90:10	prf	prf aperta	mac poro str gr str	++	***	imp pol	***	mic spa	*	sc disc		***	***	**
FINT_A2	CSN_S1DS3b		20:80	90:10	prf	prf aperta	mac	+	**	imp	*	mic	***	sc disc	***	**		

Tabella AIV.3 – (Pagg. 232-233) Sintesi analitica delle fabric e delle pedofigure nelle microfacies osservate. Legenda: **Mf** – microfacies; **Mu** – microunità; **TS** – sezione sottile; **Ratio c/f** – rapporto frazione grossolana/ fine (espressa in percentuale); **Ratio Cfg/CFgg** – rapporto sottofrazione grossolana/molto grossolana (espressa in percentuale); **RIDP c/f** – distribuzione relativa frazione grossolana/fine; **RIDP CFg/CFgg** – distribuzione relativa sottofrazione grossolana/molto grossolana; **str inc** – b-fabric striata incrociata; **poro str** – b-fabric porostriata; **gr str** – b-fabric granostriata **gr str con** – b-fabric granostriata concentrica; **ind** – b-fabric indifferenziata; **cri** – b-fabric cristallitica; **ind** – b-fabric indifferenziata; **mac** – b-fabric maculata; **Text** – pedofigure tessiturali; **BIO** – pedofigure Biogeniche; **Cl** – rivestimenti di argilla; **limp** – rivestimenti di argilla limpida; **imp** – rivestimenti di argilla impura; **pol** – rivestimenti di argilla polverosa; **CaCO₃** – rivestimenti di CaCO₃; **mic** – rivestimenti micritici; **spa** – rivestimenti sparitici; **Inf** – riempimenti; **dcomp** – riempimenti densi completi; **sc disc** – riempimenti sciolti discontinui; **cre** – crescent; **MO** – materia organica; **P** – pedofigure fosfatiche; **Fec** – pedofigure fecali; **Fe-Mn** – ossidi di ferro-manganese; **Depl** – figure da impoverimento; **Pedorelict** – pedorelitti; **prf** – porfirico; **enl** – enaulico; **A** – apatite; **V** – vivianite. Frequenza: * – raro (<5%); ** – scarso (5-15%); *** – comune (15-40%); **** – frequente (40-60%); ***** – abbondante (60%). Espressione: + – debole/molto debole; ++ – scarso; +++ – discreto; ++++ – buono.

CONSIDERAZIONI FINALI

Risultati

L'approccio geoarcheologico basato sulla Multiscala, ha consentito la raccolta di una consistente quantità di dati che ha permesso di ricostruire con alto dettaglio la cronologia dell'evoluzione del paesaggio fisico e le complesse interazioni con le attività antropiche durante l'Altomedioevo, tra il VII e il XIII sec AD.

Uno dei principali motivi di discussione riguarda la relativa importanza delle variazioni climatiche nel determinare le modificazioni del paesaggio storico. Infatti, dal punto di vista paleoclimatico, il periodo in considerazione ricade prevalentemente nella cosiddetta MCA ("*Medieval Climate Anomaly*") la cui definizione, tuttavia, presenta delle ambiguità sia a scala globale sia a scala regionale. L'osservazione di importanti variazioni dei *records* negli archivi fisici (geomorfologici, sedimentologici, stratigrafici) viene spesso associata alla risposta dell'ambiente alle variazioni del clima, partendo dall'assunto che l'impronta climatica sia sempre preponderante rispetto a quella intrinseca al sistema, costituita dalle comunità antropiche che vivono all'interno di esso. Nel contesto territoriale analizzato, i risultati ottenuti non contengono alcun tipo di segnale climatico, né dal punto di vista dei *proxies* fisici né biologici, suggerendo quindi che, alla scala dei singoli bacini idrografici e delle relative pianure costiere, l'evoluzione delle dinamiche di modellazione del paesaggio durante l'Altomedioevo non sia stata influenzata dalle variazioni climatiche, ma che sia stata veicolata dalle intense e profonde azioni antropiche che ne hanno profondamente influenzato le caratteristiche fisiche ed ecologiche, determinandone l'assetto odierno.

Infatti, per il bacino idrografico del fiume Pecora, nella cui porzione distale è ubicato il Sito di Vetricella, i risultati delle indagini geoarcheologiche indicano che tra il II Mill. BC e il XIII sec. AD il tratto mediano della valle era caratterizzato da ambienti di deposizione di tufi calcarei con alternanza di aree palustri pianeggianti e gradini costituiti da *barrages* e cascate, andando a formare una serie di terrazzi. La presenza di ambienti umidi legati ad un difficile drenaggio superficiale è inoltre evidenziato anche da alcuni toponimi (es. Piano del Padule, Padule di Moreta, La Cascata ecc.). Tuttavia, nel record fluviale a valle degli ambienti palustri, fino al VIII sec. BC, i sedimenti contengono solo rari clasti di tufi calcarei, suggerendo come la loro erosione ad opera di dinamiche fluviali fosse molto limitata. Le facies sedimentarie indicano inoltre che lo stile fluviale nella porzione distale della Valle del fiume Pecora era caratterizzato

da un andamento molto sinuoso, con l'alveo libero di divagare all'interno della pianura alluvionale. A partire dall'VIII sec. AD fino al XIII sec. AD, contemporaneamente all'insediamento del sito archeologico di Vetricella, le dinamiche del fiume Pecora cambiano radicalmente e le facies sedimentarie rivelano un brusco passaggio ad uno stile fluviale caratteristico di un corso d'acqua a canali intrecciati, i cui i sedimenti sono composti prevalentemente da clasti di tufi calcarei in associazione ad una eccezionale quantità di carboni derivanti da vasti incendi forestali. Questo cambio abrupto implica che gli ambienti palustri a monte vengono disattivati e drenati e prevale l'incisione lineare con l'approfondimento del corso d'acqua e conseguente erosione dei tufi calcarei. Il record sedimentario e la sua cronologia suggeriscono che il sistema fluviale reagisce rapidamente a questa brusca variazione delle dinamiche superficiali e nell'arco di 500 anni circa riacquisisce un suo equilibrio. Gli ambienti palustri scompaiono e iniziano ad instaurarsi dinamiche di pianura alluvionale a scarsa energia, fino alla definitiva sistemazione idraulica avvenuta a partire dal XVIII secolo e nel complesso tuttora esistente. Ad interrompere la deposizione dei tufi calcarei possono concorrere diversi fattori, alcuni con effetti a medio-lungo termine (ad es. variazioni climatiche e conseguenti variazioni della copertura vegetale ed erosione del suolo) altri con effetti a breve termine, quali ad esempio il drenaggio delle aree palustri o il *bypass* dei principali *barrages*. Per quanto riguarda i primi, il segnale climatico regionale e globale non mostra variazioni tali da incentivare l'interruzione della deposizione carbonatica in un brevissimo arco temporale. Sono invece presenti numerose evidenze di opere di drenaggio artificiale che, attraverso una serie complessa di canalizzazioni artificiali sospese, arginature e tagli artificiali dei *barrages*, caratterizzano tutt'oggi la valle del fiume Pecora. In questo momento scompaiono gli ambienti indicati dai numerosi toponimi dell'area riferiti ad ambienti umidi e a cascate, corrispondenti ai sistemi terrazzati di tufi calcarei. In una prima fase (VIII-XIX sec. AD) il record sedimentario rivela un tasso di sedimentazione relativamente basso e una minore quantità di clasti di tufi calcarei, suggerendo la fase embrionale di sistemazione del territorio e dell'idrografia superficiale. È interessante notare come la deposizione di tufi calcarei sia ancora attiva oggi dove se ne presentino le condizioni (es. turbolenza legata a piccoli gradini e ambienti di acque stagnanti vegetate immediatamente a valle) ed è quindi plausibile ipotizzare che le prime opere di regimazione necessitassero di continua manutenzione per renderle efficaci. L'aumento del tasso di sedimentazione e la presenza quasi monogenetica di clasti di tufi calcarei che si registra tra IX-XI sec. AD è indicativo di come le opere fossero nella fase più efficace, inclusa la realizzazione del taglio artificiale nel *barrage*

principale (loc. La Cascata) favorendo la completa disattivazione degli ambienti palustri a valle e l'approfondimento dell'alveo del corso d'acqua fino al substrato, a formare una forra profonda fino a circa 15-20 m. Nell'ultima fase, XII-XIII sec. AD, il tasso di sedimentazione diminuisce così come la quantità di clasti di tufi calcarei, testimoniando come le operazioni di bonifica erano ormai definite e l'assetto del paesaggio fisico era in fase di stabilizzazione. Questa successione di eventi si accompagna all'estremamente abbondante record antracologico che varia in fase con quanto osservato nel record sedimentario. Gli incendi interessano inizialmente la vegetazione igrofila e palustre, spostandosi progressivamente ai versanti bassi e infine alle porzioni più alte dei versanti. La selezione progressiva degli ambienti soggetti ad incendi indica come questa attività fosse in fase con l'individuazione di nuovi ambienti asciutti in pianura alluvionale e alla creazione di nuovi spazi per uso agricolo nel fondovalle e nei versanti attigui. Quindi, contemporaneamente all'insediamento di Vetricella, si osserva una precisa volontà da parte delle popolazioni del tempo di creare nuovi spazi lungo la Valle del fiume Pecora, utili sia allo sfruttamento delle risorse agricole che idrauliche. Infatti, in corrispondenza dei gradini della valle cominciano ad essere sfruttate per attività produttive, es. mulini e localmente per attività connesse alla metallurgia. Questi interventi dovevano derivare necessariamente da una notevole capacità pianificatoria, progettuale, gestionale e di manutenzione del territorio poiché per essere efficaci dovevano interessare l'intero bacino, a partire dalle aree umide a valle di Massa Marittima, inclusi gli interventi sulle risorgive carsiche che alimentavano il sistema (es. Le Venelle) che vengono catturate e deviate.

Nel tratto distale del bacino idrografico del fiume Pecora, corrispondente alla pianura costiera di Follonica/Scarlino, le indagini di sottosuolo indicano come ambienti schiettamente lagunari e quindi aperti al mare e con scambio di acque e organismi marini e salmastri erano presenti in posizioni molto interne rispetto alla linea di costa attuale sicuramente prima del dal IV Mill BC mentre già a partire dal IV Mill BC questo settore della pianura costiera era caratterizzato da ambienti palustri schiettamente continentali profondi o marginali e densamente vegetati. Con riferimento alle cronologie medievali, nel tratto di pianura più prossimo al sito di Vetricella le facies sedimentarie indicano la presenza di ambienti paludosi poco vegetati. Allo stesso periodo può essere associato il vasto conoide alluvionale che andava parzialmente a colmare gli ambienti palustri descritti, a partire dal paleoalveo individuato nel settore della cassa d'espansione. Questo processo ha condotto alla colmata del settore occidentale della vasta palude e la formazione di una ampia pianura alluvionale soggetta a periodici e frequenti

episodi di sommersione. Successivamente questa distribuzione dei paesaggi sembra essersi stabilizzata fino alla definitiva bonifica degli ambienti umidi a partire dal XIX sec.

Il sito archeologico di Vetricella si trova sulla superficie di un conoide alluvionale prevalentemente ghiaioso la cui deposizione è prevalentemente attribuibile alle fasi fredde del Pleistocene superiore. Tuttavia, l'analisi geoarcheologica alla Mesoscala indica che l'inizio della deposizione all'interno delle vallecicole sia attribuibile alla fine del Pleistocene superiore e prosegua in continuità attraverso l'Olocene inferiore e medio fino all'inizio dell'Olocene superiore attraverso meccanismi prevalenti di deposizione di massa e raramente flussi canalizzati. Dopo i IV-III Mill BC non si registrano episodi deposizionali importanti ad indicare come il paesaggio fosse completamente emerso e soggetto a sporadici episodi di ruscellamento superficiale. Inoltre, il conoide è reinciso sia dal fiume Pecora a Ovest sia dal paleoalveo del T. Ferriere ad Est e costituisce quindi un terrazzo alluvionale sospeso fino a 4 metri sulla pianura alluvionale principale. L'insediamento di Vetricella è ubicato sull'espluvio tra due vallecicole che confluiscono poco a valle del sito stesso e che costituivano, come oggi, le direzioni preferenziali dei flussi concentrati di ruscellamento superficiale. Le dinamiche del paesaggio erano stabili e adatte per l'occupazione seppure si potevano rendere necessarie opere di regimazione idraulica per difendersi dai rischi connessi alle dinamiche di ruscellamento.

L'analisi geoarcheologica alla Microscala è volta a caratterizzare i processi di insediamento, frequentazione ed abbandono del sito archeologico altomedievale di Vetricella. Le prime evidenze di occupazione indicano come l'insediamento si sia impostato originariamente su un paleosuolo relitto caratterizzato da un orizzonte argillico profondo (Bt) che altera le ghiaie del conoide pleistocenico. Questo paleosuolo, osservato anche nella cassa d'espansione, è caratterizzato da un profondo profilo di alterazione lisciviato, argillificato e rubefatto che suggerisce un lungo periodo di stabilità della superficie topografica, verosimilmente attribuibile all'Olocene inferiore e medio. È quindi verosimile che le prime fasi di insediamento andassero ad interessare un paesaggio stabile condizionato da debole erosione e scarsa deposizione all'interno di ampie vallecicole. La degradazione delle condizioni di stabilità del paleosuolo sono il risultato delle prime fasi occupazione atte ad approntare l'area per la costruzione del nucleo insediativo e le superfici d'uso. Infatti, quest'ultime sono il risultato di attività antropiche polifasiche, protrattesi nei secoli, sottoforma di operazioni di asporto, di riporto e opere di livellamento, che hanno di fatto rimaneggiato costantemente la stratigrafia, in alcuni casi alterando le superfici precedenti, in alcuni casi asportandole completamente.

L'edificazione dell'edificio centrale turriforme è avvenuta tramite la preparazione di un rialzo, o basamento, formato da materiale inerte, con funzione di stabilizzante, su cui si impostavano i piani pavimentali. Quest'ultimi sono stati completamente asportati durante le operazioni di spoglio coerenti con le ultime fasi di occupazione del sito archeologico, nonché alle attività agricole moderne.

I tre fossati concentrici realizzati intorno all'edificio centrale erano stati realizzati e concepiti per scopi diversi. Infatti, il più esterno, poco profondo, era probabilmente funzionale alla regimazione delle acque superficiali provenienti dal ruscellamento concentrato e diffuso. Le geometrie e i riempimenti dei fossati interno ed intermedio hanno invece permesso di comprendere i relativi processi di formazione, di funzionalità e di gestione nel tempo. Il fossato intermedio, il più profondo, mostra una tecnica realizzativa frutto di una precisa strategia funzionale per la cui realizzazione era necessaria una alta qualità progettuale e realizzativa (dimensioni medie e geometrie costanti) considerate anche le caratteristiche del substrato oggetto di scavo. Il volume scavato (circa 2900 m³) a spese dei depositi ghiaiosi del conoide alluvionale del Pleistocene superiore sono stati ridistribuiti e/o recuperati ed utilizzati al fine di sopraelevare la superficie topografica locale su cui si imposta il sito, con il fine di ridurre i rischi idraulici e, possibilmente, con aumentare la sua visibilità all'interno di un paesaggio pianeggiante e distante dalla linea di costa. Inoltre, il fossato intermedio era riempito di acqua anche se con episodi di breve essiccazione o di oscillazione della tavola d'acqua ed è stato realizzato con geometrie asimmetriche utili alla sua manutenzione e allo sfruttamento della risorsa idrica. È quindi verosimile che il fossato potesse avere la funzione di serbatoio idrico utile alle attività antropiche del sito (produttive e domestiche) mentre non si può escludere uno scopo difensivo anche se le dimensioni (profondità e larghezza) non erano certamente tali da costituire un ostacolo insormontabile, data anche l'assenza di evidenze di opere di dissuasione o di difesa associate. Il fossato più interno aveva dimensioni minori e geometrie simmetriche ed è stato scavato in parte a spese dei livelli di frequentazione più antichi e quindi successivamente alle prime fasi di insediamento e in parte all'interno dei depositi ghiaiosi del conoide alluvionale. Tuttavia, le dimensioni ridotte e, soprattutto, l'assenza nel riempimento di facies caratteristiche di deposizione in ambiente idrico ne esclude la funzione di collettore di acque. Infatti, il riempimento è formato esclusivamente di sedimenti di origine antropica provenienti dalla mobilitazione di materiali provenienti dai settori circostanti che rivelano diverse modalità di utilizzo in funzione delle varie fasi di frequentazione del sito archeologico. Il fossato è stato infatti utilizzato come discarica di materiali provenienti dai settori interno ed

esterno, sia di natura domestica (rifiuti, cibo ecc.) sia di natura produttiva (malte) e in alcune fasi del suo riempimento è stato anche utilizzato per posizionare strutture lignee o come luogo per attività di fuoco. È tuttavia verosimile che la realizzazione dei 3 fossati sia coeva e integrata in una precisa volontà progettuale finalizzata a gestire gli spazi, le risorse e le attività del sito ma anche a dare mostra di tale potenza realizzativa.

Per quanto riguarda il bacino idrografico del fiume Cornia, le analisi si sono concentrate solamente nel tratto della pianura costiera data l'assenza di record sedimentari o geomorfologici riconducibili all'alto medioevo. I dati stratigrafici e le cronologie ottenute suggeriscono come gli ambienti sedimentari fossero in stretto legame con la posizione e la presenza di paleoalvei del fiume Cornia, mentre gli ambienti schiettamente lagunari inizino la loro contrazione già a partire dall'epoca romana. Per contro, le cronologie medievali suggeriscono l'esistenza di ambienti lagunari o schiettamente palustri solamente in aree molto prossime a quelle già individuate come tali dalla cartografia storica, mentre nella pianura prospiciente erano già presenti ambienti di pianura alluvionale distale e di stagni o paludi legati alle variazioni spaziali delle dinamiche fluviali.

Validità della Multiscala

I risultati della presente ricerca forniscono un esempio della validità dell'applicazione di metodologie geoarcheologiche ad un approccio multiscalare, differenziando tra analisi alla Macroscala, Mesoscala e Microscala. Con questo approccio, infatti, è stato verificato che è possibile integrare i dati all'interno di sistemi geomorfologici per decifrare le interferenze delle attività antropiche e confrontarle con le eventuali evidenze di oscillazioni climatiche. Dall'altro lato, invece, le ricostruzioni paleoambientali forniscono nuove prospettive scientifiche per l'interpretazione dei record archeologici e degli eventi storici. L'approccio Multiscala, quindi, si dimostra essere un valido strumento che permette di definire, in una visione unitaria e con un alto grado di definizione, i rapporti coesistiti tra singole entità ed il territorio a loro connesso. La ricerca, inoltre, sottolinea come tale approccio esprime il massimo del suo potenziale scientifico all'interno di contesti geografici di medie-piccole dimensioni, in cui i sistemi fluviali reagiscono più velocemente alle variazioni delle dinamiche superficiali.

Prospettive future

Lo studio geoarcheologico ha fornito un importante contributo alla ricerca archeologica dell'Altomedioevo della Toscana ed allo studio dell'evoluzione geomorfologica e paleoambientale dell'Olocene superiore del Mediterraneo settentrionale.

In prospettiva futura sono necessari approfondimenti che riguardino i versanti dell'entroterra collinare dove sono note numerose evidenze archeologiche connesse con le risorse dell'economia altomedievale, ad es. le coltivazioni minerarie e le produzioni agroforestali (terrazzamenti e parcellizzazioni agricole). In tal senso, ampliare la ricerca geoarcheologica in questi settori potrebbe consentire di ottenere dati utili all'individuazione e alla comprensione delle variazioni dei paesaggi fisici ed archeologici, le variazioni dell'uso del suolo e le relazioni tra insediamenti e sfruttamento minerario.

Per il sito di Vetricella l'analisi geoarcheologica ha posto in evidenza le diverse funzionalità del sistema dei tre fossati concentrici e, in particolare, l'attenta fase di progettazione. L'ampliamento dello scavo di questi settori permetterà di ottenere una visione più chiara e lineare delle modalità di riempimento ed avere una migliore comprensione delle varie fasi di funzionalità dei fossati.

Infine, lo studio delle facies sedimentarie di sottosuolo delle pianure costiere ha fornito un quadro esaustivo dell'evoluzione degli ambienti lagunari per le cronologie oloceniche, ma permane ancora lacunosa per quelle pleistoceniche, analizzate solamente in via indiretta. Per questo motivo, è importante migliorare la risoluzione temporale, concentrando le analisi radiometriche nelle porzioni inferiori delle colonne stratigrafiche, per ottenere una visione più dettagliata dell'evoluzione paleoambientale di queste aree, e poterle correlare con i dati paleoclimatici e paleoambientali dell'area mediterranea.

BIBLIOGRAFIA

- Adger, N., Barnett, Brown, K., Marshall, N., O'Brien, K.,** 2013. Cultural dimensions of climate change impacts and adaptation. *Natural Climate Change*, 3(2): 112–117.
- Aldeias, V., Dibble, H.L., Sandgathe, D., Goldberg, P., Mcpherron, S.J.P.,** 2016. How heat alters underlying deposits and implications for archaeological fire features: a controlled experiment. *Journal of Archaeological Science*, 67: 64–79.
- Allard, J., Chaumillon, E., Féliès, H.,** 2009. A synthesis of morphological evolutions and Holocene stratigraphy of a wave-dominated estuary. The Arcachon lagoon, SW France. *Continental Shelf Research*, 29(8): 957–969.
- Allman, M., Lawrence, D.F.,** 1972. *Geological laboratory techniques*. Blandford Press, London. 335 pp.
- Amato, V., di Paola, G., Roskopf, C.M., Avagliano, G., Cipriani, M., Cinque, A., Pontrandolfo, A., Santoriello, A.,** 2009. Geomorphology and geoarchaeology of the Paestum area: modifications of the physical environment in historical times. *Mediterrané*, 112: 129–135.
- Amorosi, A., Antonioli, F., Bertini, A., Marabini, S., Mastronuzzi, G., Montagna, P., Negri, A., Rossi, V., Scarponi, D., Taviani, M., Angeletti, L., Piva, A., Vai, G.B.,** 2014. The Middle-Upper Pleistocene Fronte Section (Taranto, Italy): An exceptionally preserved marine record of the Last Interglacial. *Global and Planetary Change*, 119: 23–38.
- Amorosi, A., Bini, M., Giacomelli, S., Pappalardo, M., Ribecai, C., Rossi, V., Sammartino, I., Sarti, G.,** 2013a. Middle to late Holocene environmental evolution of the Pisa coastal plain (Tuscany, Italy) and early human settlements. *Quaternary International*, 303: 93–106.
- Amorosi, A., Centineo, M.C., Colalongo, M.L., Pasini, G., Sarti, G., Vaiani, S.C.,** 2003. Facies Architecture and Latest Pleistocene–Holocene Depositional History of the Po Delta (Comacchio Area), Italy. *The Journal of Geology*, 111: 39–56.
- Amorosi, A., Ricci Lucchi, M., Sarti, G., Vaiani, S.C., Prandin, S., Muti, A.,** 2004. Stratigraphic architecture of Late Quaternary deposits in Piombino coastal plain (Western Tuscany). *GeoActa*, 3(1): 18–30.
- Amorosi, A., Rossi, V., Sarti, G., Mattei, R.,** 2013b. Coalescent valley fills from the late Quaternary record of Tuscany (Italy). *Quaternary International*, 288: 129–138.
- Angelini, I., Artioli, G., Nicosia, C.,** 2017. Metals and Metalworking Residues. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *“Archaeological soil and sediment micromorphology”*. Wiley Blackwell, Oxford: 213–222.
- Angelucci, D.E.,** 2010. *Appunti di metodologie della ricerca archeologica II (Introduzione alla Geoarcheologia), Parte Terza*. Università degli Studi di Trento.
- Angelucci D.E., Anesin D.,** 2012. Sedimenti e suoli, natura e cultura. Considerazioni geoarcheologiche sulla genesi delle stratificazioni archeologiche in ambiente montano. In: Brogiolo, G.P., Angelucci, D.E., Colecchia, A., Remondino, F. (Eds.), *APSAT 1. Teoria e metodi della ricerca sui paesaggi d'altura*. SAP, Mantova: 11–25.

-
- Angelucci, D.E., Anesin, D., Bassetti, M., Bernardo, A., Neri, S., Dalmeri, G., 2011.** La successione esterna del Riparo Dalmeri (Trento, Italia). Prime informazioni geoarcheologiche. *Preistoria Alpina*, 45: 127–146.
- Angelucci, D.E., Anesin, D., Susini, D., Villaverde, V., Zapata, J., Zilhão, J., 2013.** Formation processes at a high resolution Middle Paleolithic site: Cueva Antòn (Murcia, Spain). *Quaternary International*, 315: 24–41.
- Angelucci, D.E., Anesin, D., Susini, D., Villaverde, V., Zapata, J., Zilhão, J., 2018.** A tale of two gorges: Late Quaternary site formation and surface dynamics in the Mula basin (Murcia, Spain). *Quaternary International*, 485: 4–22.
- Anschuetz, K.F., Wilshusen, R.H., Scheick, C.L., 2001.** An Archaeology of Landscapes: Perspectives and Directions. *Journal of Archaeological Research*, 9(2): 157–211.
- Antoine, P., Munat, A.-V., Limondin Lozouet, N., Ponel, P., Fagnart, J.-P., 2002.** Réponse des milieux de fond de valle aux variations climatiques (Tardiglaciaire et début Holocène), d'après les données du bassin de la Selle (Nord de la France). Processus et bilan sédimentaire. In: Bravard, J.P., Magny, M. (Eds.), *Les fleuves ont une histoire, paléoenvironnements des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*. Errance, Paris: 15–27
- Antonoli, F., Kershaw, S., Renda, P., Rust, D., Belluomini, G., Cerasoli, M., Radtke, U., Silenzi, S., 2006.** Elevation of the last interglacial highstand in Sicily (Italy): A benchmark of coastal tectonics. *Quaternary International*, 145-146: 3–18.
- Arakawa, F., Miskell-Gerhardt, K., 2009.** Geoarchaeological investigation of lithic resources in the Central Mesa Verde Region, Colorado, USA. *Geoarchaeology: An International Journal*, 24(2): 204–223.
- Aranguren, B., Cinquegrana, M.R., De Bonis, A., Guarino, V., Morra, V., Pacciarelli, M., 2014.** Le strutture e lo scarico delle olle del Puntone Nuovo di Scarlino (GR) e i siti costieri specializzati della protostoria mediotirrenica. *Rivista di Scienze Preistoriche LXIV*: 227–258.
- Arnoldus-Huyzendveld, A., Citter, C., 2014.** Site location and resources: predictive models for the plain of Grosseto. *Archeologia Medievale*, XLI: 65–78.
- ARPAT (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana), 2014.** *Definizione dei Valori di Fondo per alcuni parametri nelle Acque Sotterranee dei Siti di Bonifica della Pianura di Scarlino, Grosseto*. Dipartimento provinciale ARPAT di Grosseto, Direzione Tecnica.
- Arpin, T.L., Mallol, C., Goldberg, P., 2002.** Short Contribution: A New Method of Analyzing and Documenting Micromorphological Thin Sections Using Flatbed Scanners: Applications in Geoarchaeological Studies. *Geoarchaeology: An International Journal*, 17(3): 305–313
- Baiocco, G., Bucci, F., Ferretti, L., Geri, N., Magagnino, R., Verdini, L., 1990.** *Metallurgia antica e Medievale nel golfo di Follonica*. Comitato pro ex-Ilva, Follonica. 59 pp.
-

-
- Baker, A., Hellstrom, J.C., Kelly, B.F.J., Mariethoz, G., Trouet, V., 2015.** A composite annual-resolution stalagmite record of North Atlantic climate over the last three millennia. *Nature, Rep.5*: 10307.
- Baker, A., Simms, M.J., 1998.** Active deposition of calcareous tufa in Wessex, UK, and its implications for the 'late-Holocene tufa decline'. *The Holocene, 8*: 359–365.
- Baldi, P., Bertini, G., Cameli, M., Decandia, A., Dini, I., Lazzarotta, A., Liotta, D., 1994.** Tettonica distensiva post-collisionale nell'area geotermica di Larderello (Toscana meridionale). *Studi Geologici Camerti, 1*: 183–193.
- Barazzuoli, P., Bianchi, S., Nocchi, M., Rigati, R., Salleolini, M., 2006.** Studio idrogeologico della pianura costiera di Follonica-Scarlinò (Toscana Meridionale). *Quaderni di Geologia Applicata, 13(1-2)*: 19–34.
- Barazzuoli, P., Bouzelboudjen, M., Cucini, S., Kiraly, L., Menicori, P., Salleolini, M., 2008.** Olocenic alluvial aquifer of the River Cornia coastal plain (southern Tuscany, Italy): database design for groundwater management. *Environmental Geology, 39*: 123–143.
- Barazzuoli, P., Guasparri, S., Salleolini, M., 1993.** Il Clima. In: Giusti, F. (Ed.), *La storia naturale della Toscana Meridionale*. Monte dei Paschi di Siena, Siena: 141–173.
- Bartolini, C., Ciprianni, L.E., Pranzini, E., Sargentini, M., 1989.** Caratteristiche geomorfologiche ed evoluzione della linea di riva del litorale toscano e criteri di lettura. *Coste Toscane*: 33–56.
- Bartolini, C., Pranzini, C., Lupia Palmieri, E., Caputo, C., 1977.** Studi di geomorfologia costiera: IV - L'erosione del litorale di Follonica. *Bollettino della Società Geologica Italiana, 96*: 87–116.
- Batoni da Roit, Y., 1971.** Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria. Flora e Vegetazione del promontorio di Piombino. *Webbia, 25(2)*: 521–588.
- Beach, T.P., Luzzadder-Beach, S., 2008.** Geoarchaeology and aggradation around Kinet Höyük, an archaeological mound in the Eastern Mediterranean, Turkey. *Geomorphology, 101(3)*: 416–428.
- Beckenbach, E., Müller, T., Seyfried, H., Simon, T., 2014.** Potential of a high-resolution DTM with large spatial coverage for visualization, identification and interpretation of young (Würmian) glacial geomorphology: a case study from Oberschwaben (southern Germany). *E & G Quaternary Science Journal, 63(2)*: 107–129.
- Behre, K.-E., Jacomet, S., 1991.** The ecological interpretation of archaeobotanical data. In: van Zeist, W., Wasylikowa, K., Behre, K.-E. (Eds.), *Progress in old world. Palaeoethnobotany*. Balkema, Rotterdam: 81–108.
- Bellotti, P., Caputo, C., Davoli, L., Evangelista, S., Garzanti, E., Pugliese, F., Valeri, P., 2004.** Morpho-sedimentary characteristics and Holocene evolution of the emergent part of the Ombrone River delta (southern Tuscany). *Geomorphology, 61*: 71–90.
-

-
- Benvenuti, M., Bonini, M., Moratti, G., Ricci, M., Tanini, C.,** 2008. Tectonic and climatic controls on historical landscape modifications: The avulsion of the lower Cecina River (Tuscany, central Italy). *Geomorphology*, 100: 269–284.
- Benvenuti, M., Chiarantini, L., Cicali, C., Villa, I.M., Volpi, V.,** 2019. La produzione d'argento nel distretto minerario di Montieri-Massa Marittima (Colline Metallifere, Toscana meridionale): Alcune considerazioni su dati recenti. In: Minvielle Larousse, N., Bailly-Maître, M.-C., Bianchi, G. (a cura di), *Les métaux précieux en Méditerranée médiévale. Exploitations, transformations, circulations. Actes du colloque International d'Aix-en-Provence des 6, 7 et 8 octobre 2016*: 41–51
- Benvenuti, M., Costagliola, P., Tanelli, G.,** 2009. Quaternary evolution of the Pecora River (southern Tuscany, Italy): paleohydrography and sediments provenance. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 128: 61–72.
- Bertini, G., Bertozzi, A., Dini, I., Priami, F., Santini, M., Tosi, F., Valenti, P.,** 1994. Sondaggio Stratigrafico Massa2. *Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, 1*: 93–96.
- Bertini, G., Cameli, G.M., Costantini, A., Decandia, F.A., Di Filippo, M., Dini, I., Elter, F.M., Lazzarotto, A., Liotta, D., Pandeli, E., Sandrelli, F., Toro, B.,** 1991. Struttura geologica fra i monti di Campiglia e Rapolano Terme (Toscana Meridionale): stato attuale delle conoscenze e problematiche. *Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, 1*: 155–178.
- Bianchi, G.,** 2015. Recenti ricerche nelle Colline Metallifere e alcune riflessioni sul modello toscano. *Archeologia Medievale*, XLII: 9–26.
- Bianchi, G., Collavini, S.M.,** 2018. Public estates and economic strategies in Early Medieval Tuscany: towards a new interpretation. In: Bianchi, G., Hodges, R. (Eds.), *Origins of a new economic union (7th - 12th centuries). Preliminary results of the Neu-Med Project: October 2015 - March 2017*. All'Insegna del Giglio, Firenze: 147–159.
- Bianchi, G., Dallai, L., Guideri, S.,** 2012. Indicatori di produzione per la ricostruzione dell'economia di un paesaggio minerario: le Colline Metallifere nella Toscana medievale. In: Volpe, G., Favia, P. (a cura di), *Atti del V Congresso Nazionale di Archeologia Medievale*. All'Insegna del Giglio, Firenze: 638–643.
- Bianchi, G., Fichera, G., Miriello, D., Chiarelli, N., Crisci, G.M.,** 2011. Archeologia di un cantiere curtense: il caso del castello di Donoratico tra IX e X secolo. Sequenze stratigrafiche e analisi archeometriche. *Archeologia dell'Architettura*, XVI: 34–50.
- Bianchi, G., Hodges, R. (Eds.),** 2018. *Origins of a new economic union (7th-12th centuries). Preliminary results of the nEU-Med project: October 2015 - March 2017*. All'Insegna del Giglio, Firenze. 231 pp.
- Bigi, L., Rustici, L.,** 1984. *Regime idrico dei suoli e tipi climatici in Toscana*. Regione Toscana: Dipartimento Agricoltura e Foreste. 129 pp.
- Bini, M., Pappalardo, M., Rossi, V., Noti, V., Amorosi, A., Sarti, G.,** 2018. Deciphering the effects of human activity on urban areas through morphostratigraphic analysis: The case of Pisa, Northwest Italy. *Geoarchaeology*, 33: 43–51.
-

-
- Blatt, H., Middleton, G., Murray, R.,** 1980. *Origin of sedimentary rocks (2nd Edition)*. Prentice-Hall, New Jersey, 634 pp.
- Blum, M.D., Törnqvist, T.E.,** 2000. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. *Sedimentology*, 47(1): 2–48.
- Boschian, G.,** 2006. Geoarchaeology of Pupićina Cave. In: Miracle, P.T., Forenbaher, S. (Eds.), *Prehistoric Herders in Northern Istria (Croatia): the Archaeology of Pupićina Cave, vol. 1*. Archaeological Museum of Istria, Pula: 123–162.
- Boschian, G., Bossio, A., Dall’Antona, B., Mazzanti, R.,** 2006. Il Quaternario della Toscana Costiera. *Studi Costieri*, 12: 142–146.
- Bossio, A., Cornamusini, G., Ferrandini, J., Ferrandini, M., Foresi, L.M., Mazzanti, R., Mazzei, R., Salvatorini, G., Sandrelli, F.,** 2000. Dinamica dal Neogene al Quaternario della Corsica orientale e della Toscana. In: (AA.VV.), *Progetto INTERREG II TOSCANA – CORSICA*: 87–95.
- Bossio, A., Costantini, A., Foresi, L.M., Lazzarotto, A., Liotta, D., Mazzanti, R., Mazzei, R., Salvatorini, G., Sandrelli, F.,** 1995. Studi preliminary sul sollevamento della Toscana meridionale dopo il Pliocene medio. *Studi Geologici Camerti*, 1995(1): 87–91.
- Bossio, A., Costantini, A., Lazzarotto, A., Liotta, D., Mazzanti, R., Mazzei, R., Salvatorini, G., Sandrelli, F.,** 1993. Rassegna sulle conoscenze sulla stratigrafia del Neautoctono toscano. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 49: 17–98.
- Bossio, A., Costantini, A., Mazzei, R., Salvatorini, G., Terzuoli, A.,** 1994. Il Neogene dell’Area della Marsiliana (Grosseto). *Studi Geologici Camerti*, 1994(1): 46–56.
- Boyer, P., Roberts, N., Baird, D.,** 2006. Holocene environment and settlement on the Çarşamba alluvial fan, South-Central Turkey: integrating geoarchaeology and archaeological field survey. *Geoarchaeology: An International Journal*, 21(7): 675–698.
- Bradley, R.S., Briffa, K.R., Cole, J., Hughes, M.K., Osborn, T.J.,** 2003. The climate of the last millennium. In: Alverson, K.D., Bradley, R.S., Pederson, T.F. (Eds.), *Paleoclimate, global change and the future*. Springer-Verlag, Berlin: 105–141.
- Brandi, G.P., Dallan, L., Lazzarotto, A., Mazzanti, R., Squarci, P., Taffi, L., Trevisan, L.,** 1968. *Note Illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000: Foglio 119, Massa Marittima*. Servizio Geologico d’Italia, Roma.
- Brandi, G.P., Giannini, E., Lazzarotto, A., Mazzanti, R., Squarci, P., Taffi, L., Tongiorgi, M.,** 1969. *Foglio 119 - Massa Marittima*. Servizio Geologico d’Italia, II Edizione, Roma.
- Brewer, R.,** 1976. *Fabric and Mineral Analysis of Soils (2nd Edition)*. Robert E. Krieger, New York. 482 pp.
- Briano, A., Fornacelli, C., Ponta, E., Russo, L.,** 2018. Pottery circulation and wares in the rural world: the Colline Metallifere and South-Eastern Tuscany in the Early Medieval Period. In: Bianchi, G., Hodges, R. (Eds.), *Origins of a new economic union (7 th - 12 th centuries). Preliminary results of the Neu-Med Project: October 2015 - March 2017*. All’Insegna del Giglio, Firenze: 101–121.
-

-
- Brochier, J.É.**, 1996. Feuilles ou fumiers? Observations sur le rôle des puossières sphérolitiques dans l'interprétation des dépôts archéologiques holocènes. *Anthropozoologica*, 24: 19–30.
- Brochier, J.É.**, 2002. Les sédiments anthropiques. Méthodes d'étude et perspectives. In: Miskovsky, J.-C. (Ed.), *Géologie de la préhistoire: méthodes, techniques, applications*. Éditions géopré, Paris: 453–477.
- Brogi, A.**, 2003. Il megaboudinage della Falda Toscana nell'area geotermica del Monte Amiata e relazioni con la tettonica distensiva miocenica dell'Appennino Settentrionale. *GeoActa*, 2: 33–36.
- Brogi, A.**, 2004a. Assetto geologico del nucleo di Falda Toscana affiorante nel settore occidentale del Monte Amiata (Appennino Settentrionale): strutture pre- sin-collisionali relitte preservate durante lo sviluppo della tettonica distensiva post-collisionale. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 123: 443–461.
- Brogi, A.**, 2004b. Miocene low-angle detachments and uppercrustmegaboudinage in Mt. Amiata geothermal area (Northern Apennines, Italy). *Geodinamica Acta*, 17(6): 7–19.
- Brogi, A., Lazzarotto, A.**, 2002. Deformazioni sin-collisionali nella Falda Toscana a sudovest del Monte Amiata (Toscana meridionale): Il sovrascorrimmento di Monte Aquilaia. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 121: 299–312.
- Brönnimann, D., Ismail-Meyer, K., Rentzel, P., Pümpin, C., Lisá, L.**, 2017. Excrements of Herbivores. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *“Archaeological soil and sediment micromorphology”*. Wiley Blackwell, Oxford: 55–65.
- Brönnimann, D., Pümpin, C., Ismail-Meyer, K., Rentzel, P., Égüez, N.**, 2017. Excrements of Omnivores and Carnivores. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *“Archaeological soil and sediment micromorphology”*. Wiley Blackwell, Oxford: 67–81.
- Browman, D.L., Givens, D.R.**, 1996. Stratigraphic Excavation: The First “New Archaeology”. *American Anthropologist*, 98: 80–95.
- Brown, A.G.**, 1997. *Alluvial geoarchaeology. Floodplain archaeology and environmental change*. Cambridge University Press, Cambridge. 377 pp.
- Brown, A., Toms, P., Carey, C., Rhodes, E.**, 2013. Geomorphology of the Anthropocene: Time-transgressive discontinuities of human-induced alluviation. *Anthropocene*, 1: 3–13.
- Brunet, C., Monié, P., Jolivet, L., Cadet, J.P.**, 2000. Migration of compression and extension in the Tyrrhenian Sea, insights from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages on micas along a transect from Corsica to Tuscany. *Tectophysics*, 321(1): 127–155.
- Bullock, P.N, Fedoroff, A., Jongerius, G.J., Stoops, G., Tursina, T.** (Eds.), 1985. *Handbook for Soil Thin Section Description*. Waine Research Publishers, Wolverhampton. 152 pp.
- Buonincontri, M.P., Allevato, E., Di Pasquale, G.**, 2013a. The problem of the alternating dominance of deciduous and evergreen vegetation: archaeo-anthracological data from northern Maremma. *Annali Di Botanica*, 3: 165–171.

-
- Buonincontri, M.P., Di Falco, G., Di Pasquale, G.,** 2013b. Boschi e coltivi: la gestione delle risorse agroforestali. In: Grassi, F. (a cura di), *L'insediamento medievale nelle Colline Metallifere (Toscana, Italia). Il sito minerario di Rocchette Pannocchieschi dall'VIII al XIV secolo*. BAR International Series, 2532: 161–164.
- Buonincontri, M.P., Di Pasquale, G.,** 2015. Evoluzione del paesaggio agro-forestale nell'Etruria settentrionale costiera tra III secolo a.C. e XIII secolo d.C. In: Di Cola, V., Pitzalis, F. (Eds.) *Materiali per Populonia, 11*. Edizioni ETS, Pisa: 299–214.
- Buonincontri, M.P., Moser, D., Allevato, E., Basile, B., Di Pasquale, G.,** 2014. Farming in a rural settlement in central Italy: cultural and environmental implications of crop production through the transitino from Lombard to Frankish influence (8th-11th centuries a.d.). *Vegetation History and Archaeobotany, 23 (6)*: 775–788.
- Buonincontri, M.P., Pecci, A., Di Pasquale, G., Ricci, P., Lubritto, C.,** 2017. Multiproxy approach to the study of Medieval food habits in Tuscany (central Italy). *Archaeological and Anthropological Sciences, 9*: 653–671.
- Buonincontri, M.P., Pieruccini, P., Lubritto, C., Bianchi, G., Di Pasquale, G.,** 2018. Beginning of a new farming system (mid-9th century AD): local fire events and vegetation changes in southwestern Tuscany. In: Florenzano, A., Montecchi, M.C., Rinaldi, R. (Eds.), *Humans and environmental sustainability: Lessons from the past ecosystem of Europe and Northern Africa*. 14th Conference of Environmental Archaeology, Modena: 137–142.
- Buonincontri, M.P., Pieruccini, P., Susini, D., Lubritto, C., Ricci, P., Rey, F., Tinner, W., Drescher-Schneider, R., Colombaroli, D., Dallai, L., Marasco, L., Poggi, G., Bianchi, G., Hodges, R., Di Pasquale, G.,** (in pubblicazione). Shaping Mediterranean landscapes: the cultural impact of the anthropogenic fires in southern Tyrrhenian. *The Holocene*
- Butzer, K.W.,** 1982. *Archaeology as human ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. 384 pp.
- Butzer, K.W.,** 2008. Challenges for a cross-disciplinary geoarchaeology: The intersection between environmental history and geomorphology. *Geomorphology, 101*: 402–411.
- Calderoni, G., Cilla, G., Dramis, F., Farabollini, P.,** 1996. Dinamica fluviale olocenica nella media valle del Fiume Potenza (Italia centrale). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 19*: 19–22.
- Cambi, F., Terrenato, N.,** 1994. *Introduzione all'archeologia dei paesaggi*. Carrocci Editore, Roma. 320 pp.
- Camilli, A.,** 2005. ...Ducit in arva sinum... Breve nota sulla definizione del sistema portuale popiloniese. *Materiali, 4*: 202–217.
- Campana, S., Dabas, M., Marasco, L., Piro, S., Zamuner, D.,** 2009. Integration of remote sensing, geophysical surveys and archaeological excavation for the study of a medieval mound (Tuscany-Italy). *Archaeological Prospection, XVII*: 167–176.
-

-
- Campana, S., Francovich, R., Marasco, L.,** 2006. Remote Sensing and Ground-Truthing of a Medieval Mound (Tuscany-Italy). In *From Space to Place*. BAR International Series, 1568: 491–496.
- Campo, B., Amorosi, A., Vaiani, C.S.,** 2017. Sequence stratigraphy and late Quaternary paleoenvironmental evolution of the Northern Adriatic coastal plain (Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 466: 265–278.
- Canti, M.G.,** 1999. The production and preservation of faecal spherulites: animals, environment and taphonomy. *Journal of Archaeological Science*, 26: 251–258.
- Canti, M.G.,** 2003. Earthworm activity and archaeological stratigraphy: a review of products and processes. *Journal of Archaeological Science*, 30: 135–148.
- Canti, M.G.,** 2017. Mollusc Shell. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *Archaeological soil and sediment micromorphology*. Wiley Blackwell, Oxford: 43–46.
- Canti, M.G., Brochier, J.É.,** 2017a. Faecal Spherulites. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *Archaeological soil and sediment micromorphology*. Wiley Blackwell, Oxford: 51–54.
- Canti, M.G., Brochier, J.É.,** 2017b. Plant Ash. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *Archaeological soil and sediment micromorphology*. Wiley Blackwell, Oxford: 147–154.
- Canti, M.G., Linford, N.,** 2000. The Effects of Fire on Archaeological Soils and Sediments: Temperature and Colour Relationships. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 66: 385–395.
- Capezzuoli, E., Gandin, A.,** 2004. I “travertini” in Italia: proposta di una nuova nomenclatura basata sui caratteri genetici. *Il Quaternario*, 17: 273–284.
- Capezzuoli, E., Gandin, A., Pedley, H.M.,** 2014. Decoding tufa and travertine (freshwater carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. *Sedimentology*, 61: 1–21.
- Carella, M., Fulignati, P., Musumeci, G., Sbrana, A.,** 2000. Metamorphic consequences of Neogene thermal anomaly in the northern Apennines (Radicondoli-Travale area, Larderello geothermal field, Italy). *Geodinamica Acta*, 13: 345–366.
- Carmignani, L., Conti, P., Cornamusini, G., Meccheri, M.,** 2004. The Internal Northern Apennines, the Northern Tyrrhenian Sea and the Sardinia-Corsica block. *Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC 32, Florence-2004*: 59–77.
- Carmignani, L., Decandia, F.A., Disperati, L., Fantozzi, P.L., Lazzarotto, A., Liotta, D., Oggiano, G.,** 1994. Relationship between the Tertiary structural evolution of the Sardinia-Corsica-Provencal Domain and the Northern Apennines. *Terra Nova*, 7: 128–137.
- Carmignani, L., Decandia, F.A., Disperati, L., Fantozzi, P.L., Lazzarotto, A., Liotta, D., Oggiano, G., Tavarnelli, E.,** 1995. Relazioni tra il bacino balearico, il Tirreno Settentrionale e l’evoluzione neogenica dell’Appennino Settentrionale. *Studi Geologici Camerti*, 1995(1): 255–268.
-

-
- Carmignani, L., Fantozzi, L.P., Meccheri, M.,** 1991. La vergenza sin- e post-nappe della Falda Toscana nelle strutture di Pescaglia e di Castelpoggio (Alpi Apuane). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 110: 351–364.
- Carmignani, L., Kligfield, R.,** 1990. Crustal extension in the Northern Apennines: transition from compression to extension in the Alpi Apuane Core Complex. *Tectonics*, 9: 1275–1303.
- Carmona, P., Pérez-Ballester, J.,** 2011. Geomorphology, geoarchaeology and ancient settlement in the Valencian Gulf. *Méditerranée*, 177: 61–72.
- Carmona, P., Ruiz-Pérez, J.-M., Blásquez, A.-M., López-Belzunce, M., Riera, S., Orengo, H.,** 2016. Environmental evolution and mid-late Holocene climate events in the Valencia lagoon (Mediterranean coast of Spain). *The Holocene*: 1–16.
- Carnicelli, S., Benvenuti, M., Andreucci, S., Ciampalini, R.,** 2015. Late Pleistocene relic Ultisols and Alfisols in an alluvial fan complex in coastal Tuscany. *Quaternary International*, 376: 163–172.
- Carosi, R., Cerbai, N., Montomoli, C.,** 1995. Tettonica compressiva ed estensionale nel Verrucano dell'Appennino Settentrionale. *Studi Geologici Camerti*, 1995(1): 269–278.
- Carrara, C., Branca, M., Cerone, E. P., Verrubbi, V., Voltaggio, M.,** 2006. The calcareous tufa deposits of the Aniene Valley between Vallepietra and Mandela-Vicovaro (Latium, Central Italy). *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 19(1): 19–44.
- Casalbore, D., Ridente, D., Bosman A., Chiocci, F.L.,** 2017. Depositional and erosional bedforms in Late Pleistocene-Holocene pro-delta deposits of the Gulf of Patti (southern Tyrrhenian margin, Italy). *Marine Geology*, 385: 261–227.
- Casella, V.,** 2003. Introduzione al Laser Scanning Aereo. In: Crosilla, F., Galetto, R. (a cura di), *La tecnica del Laser Scanning. Teoria ed applicazioni*. CISM, Udine: 1–37.
- Castiglioni, G.B.,** 1989. Cartografia geologica del Quaternario e cartografia geomorfologica. Un confronto in base ai recenti saggi realizzati negli abruzzesi. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 12: 21–25.
- Catuneanu, O.,** 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam. 375 p.
- Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J.P., Blum, M.D., Dalrymple, R.W., Eriksson, P.G., Fielding, C.R., Fisher, W.L., Galloway, W.E., Gibling, M.R., Giles, K.A., Holbrook, J.M., Jordan, R., Kendall, C.G., St, C., Macurda, B., Martinsen, O.J., Miall, A.D., Neal, J.E., Nummedal, D., Pomar, L., Posamentier, H.W., Pratt, B.R., Sarg, J.F., Shanley, K.W., Steel, R.J., Strasser, A., Tucker, M.E., Winker, C.,** 2009. Toward the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92: 1–33.
- Censini, G., Costantini, A., Lazzarotto, A., Maccantelli, M., Mazzanti, R., Sandrelli, Tavernelli, E.,** 1991. Evoluzione geomorfologica della pianura di Piombino (Toscana Marittima). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 14: 45–62.
-

-
- Cerrina Feroni, A., Da Prato, S., Doveri, M., Ellero, A., Lelli, M., Marini, L., Masetti, G., Nisi, B., Raco, B.,** 2009. *Caratterizzazione geologica, idrogeologica e idrogeochimica dei Corpi Idrici Sotterranei Significativi della Regione Toscana (CISS): 32CT020 "Acquifero della Pianura del Cornia"*. Rapporto tecnico IGG n° 10830. Progetto: realizzazione della Banca Dati dei Corpi Idrici Sotterranei Significativi compresi nei bacini Toscana Costa e Ombrone. (Convenzione CNR IGG - Consorzio LaMMA del 09/07/2008). 46 pp.
- Challis, K.,** 2006. Airborne Laser Altimetry in Alluviated Landscapes. *Archaeological Prospection*, 13: 103–127.
- Chen, J., Dian Zhang, D., Wang, S., Xiao, T., Huang, R.,** 2004. Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites. *Sedimentary Geology*, 166: 353–366.
- Chiocci, F.L.,** 2000. Depositional response to Quaternary fourth order sea level fluctuations on the northern Latium margin (Tyrrhenian Sea, Italy). *Geological Society of London, Special Publication*: 271–289.
- Cirelli, E., Lo Mele, E.,** 2010. La cultura materiale di San Severo alla luce delle nuove scoperte archeologiche. In: Racagni, P. (a cura di), *La basilica ritrovata. I restauri dei mosaici antichi di San Severo a Classe, Ravenna*. Bologna: 39–57.
- Clarke, D.L.,** 1978. *Analytical Archaeology*. Methuen, London. 550 pp.
- Colecchia, A., Forlin, P.,** 2013. Visibilità e interpretazione del record archeologico in aree d'altura: le potenzialità dell'analisi del LiDAR DTM. In: Angelucci, D.E., Casagrande, L., Colecchia, A., Rottoli, M. (Eds.), *APSAT 2. Paesaggi d'altura del Trentino. Evoluzione naturale e aspetti culturali*. SAP, Mantova: 41–60.
- Coltorti, M.,** 1991. Modificazioni morfologiche oloceniche nelle piane alluvionali marchigiane: Alcuni esempi nei fiumi Misa, Cesano e Musone. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 14: 13–86.
- Coltorti, M.,** 1997. Human impact on the Holocene fluvial and coastal evolution of the Marche region, Central Italy. *CATENA*, 30(4): 311–335.
- Coltorti, M., Consoli, M., Dramis, F., Gentili, B., Pambianchi, G.,** 1991. Evoluzione geomorfologica delle piane alluvionali delle Marche centro-meridionali. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 14: 87–100.
- Coltorti, M., Fantozzi, P.L., Pieruccini, P.,** 2017. Tuscany Hills and Valleys: Uplift, Exhumation, Valley Downcutting and Relict Landforms. In: Soldati, M., Marchetti, M. (Eds.), *Landscapes and Landforms of Italy*. Springer, Cham: 245–255.
- Coltorti, M., Firuzabadi, D., Pieruccini, P.,** 2011. Geomorphological map and land units at 1:200,000 scale of the Siena province (Southern Tuscany, Italy). *Journal of Maps*, 7(1): 536–551.
- Coltorti, M., Pieruccini, P.,** 2006. The Last Interglacial Pedocomplexes in the litho- and morpho-stratigraphical framework of the Central-Northern Apennines (Central Italy). *Quaternary International*, 156-157: 118–132.
-

-
- Combourieu Nebout, N., Peyron, O., Dormoy, I., Desprat, S., Beaudouin, C., Kotthoff, U., Marret, F.,** 2009. Rapid climatic variability in the west Mediterranean during the last 25,000 years from high-resolution pollen. *Climate of the Past*, 5(3): 503–521.
- Cook, E., Seager, R., Cane, M., Stahle, D.,** 2007. North American drought: Reconstruction, causes and consequences. *Earth Science Reviews*, 81: 93–134
- Cook, E., Seager, R., Heim, R., Vose, R., Herweijer, C., Woodhouse, C.,** 2010. Megadroughts in North America: placing IPCC projections of hydroclimatic change in a long-term paleoclimate context. *Journal of Quaternary Science*, 25: 48–61.
- Cook, E., Woodhouse, C., Eakin, C.M., Meko, D.M., Stahle, D.W.,** 2004. Long term aridity changes in the western United States. *Science*, 306: 1015–1018.
- Cooke, R.U., Doornkamp, J.C.,** 1990. *Geomorphology in Environmental Management. A New Introduction (2nd Edition)*. Clarendon Press, Oxford. 434 pp.
- Cordova, C.E.,** 2008. Floodplain degradation and settlement history in Wadi al-Wala and Wadi ash-Shallalah, Jordan. *Geomorphology*, 101: 443–457.
- Cornwall, I.W.,** 1953. Soil science and archaeology with illustration from some British Bronze monument. *Proceedings Prehistoric Society*, 2: 129–147.
- Costagliola, P., Bardelli, F., Benvenuti, M., Di Benedetto, F., Lattanzi, P., Romanelli, M., Paolieri, M., Rimondi, V., Vaggelli, G.,** 2013. Arsenic-bearing calcite in natural travertines: evidence from sequential extraction, μ XAS, and μ XRF. *Environmental science & Technology*, 47(12): 6231–6238.
- Costagliola, P., Benvenuti, M.M., Benvenuti, M.G., Di Benedetto, F., Lattanzi, P.,** 2010. Quaternary sediment geochemistry as a proxy for toxic element source: A case of study of arsenic in the Pecora Valley (southern Tuscany, Italy). *Chemical Geology*, 270(1): 80–89.
- Costante, A., Peña-Monné, J.L., Muñoz, A.,** 2010. Alluvial geoarchaeology of an ephemeral stream: Implications for Holocene landscape change in the central part of the Ebro Depression, Northeast Spain. *Geoarchaeology: An International Journal*, 25(4): 475–496.
- Costantini, A., Lazzarotto, A., Liotta, D., Mazzanti, R., Mazzei, R., Salvatorini, G.F.,** 2002. *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - foglio 306 Massa Marittima*. ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), Progetto CARG. 172 pp.
- Costantini, A., Lazzarotto, A., Maccantelli, M., Mazzanti, R., Sandrelli, F., Tavarnelli, E.,** 1995. Geologia della Provincia di Livorno a Sud del Fiume Cecina. *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno*, 13(2): 1–164.
- Costantini, E.A.C., Fantappiè, M., L'Abate, G.,** 2013. Climate and pedoclimate of Italy. In: Costantini, E.A.C., Dazzi, C. (Eds.), *The Soils of Italy*. Springer, Dordrecht: 19–38.
- Courty, M.-A.,** 2001. Microfacies analysis assisting archaeological stratigraphy. In: Goldberg, P., Holliday, V.T., Ferring, C.R. (Eds.), *Earth Sciences and Archaeology*. Kluwer, New York: 205–239.
-

-
- Courty, M.-A., Goldberg, P., Macphail, R.I.,** 1989. *Soils and Micromorphology in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge. 364 pp.
- Crevaschi, M.,** 2000. *Manuale di geoarcheologia*. Editori Laterza, Roma. 386 pp.
- Crevaschi, M., Nicosia, C.,** 2012. Sub-Boreal aggradation along the Apennine margin of the Central Po Plain: geomorphological and geoarchaeological aspects. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 2: 155–174.
- Crevaschi, M., Zerboni, A., Nicosia, C., Negrino, F., Rodnight, H., Spötl, C.,** 2015. Age, soil-forming processes, and archaeology of the loess deposits at the Apennine margin of the Po plain (northern Italy): New insights from the Ghiardo area. *Quaternary International*, 376: 173–188.
- Cronin, T.M., Hayo, K., Thunell, R.C., Dwyer, G.S., Saenger, C., Willard, D.A.,** 2010. The Medieval Climate Anomaly and Little Ice Age in Chesapeake Bay and the North Atlantic Ocean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297(2): 299–310.
- Cucini, C.,** 1985. Topografia delle valli del Pecora e dell'Alma. In: Francovich, R. (a cura di), *Scarlino I. Storia e territorio*. All'Insegna del Giglio, Firenze: 147–335.
- Currás, A., Zamora, L., Reed, J.M., García-Soto, E., Ferrero, S., Armengol, X., Mezquita-Joanes, F., Marqués, M.A., Riera, S., Juliá, R.,** 2012. Climate change and human impact in central Spain during Roman times: High-resolution multi-proxy analysis of a tufa lake record (Somolinos, 1280 m asl). *CATENA*, 89(1): 31–53.
- Dabkowski, J.,** 2020. The late-Holocene tufa decline in Europe: Myth or reality?. *Quaternary Science Reviews*, 230: 106141.
- Dallai, L., Bardi, A., Briano, A., Buonincontri, M.P., Buono, M., Di Pasquale, G., Fineschi, S., Poggi, G., Ponta, E., Rossi, M., Russo, L., Volpi, V.,** 2018. Investigations at Carlappiano: new archaeological findings, and man-made and natural landscapes. In: Bianchi, G., Hodges, R., (Eds.) *Origins of a new economic union (7th-12th centuries). Preliminary results of the nEU-Med project: October 2015 - March 2017*. All'Insegna del Giglio, Firenze: 29–55.
- Dallai, L., Fineschi, S., Ponta, E., Travaglini, S.,** 2009. Sfruttamento delle risorse minerarie e dinamica insediativa nella Toscana meridionale: l'esempio del territorio massetano (Comuni di Massa Marittima e Monterotondo Marittimo). *MEFRM*, 121(1): 29–56.
- Dallmeyer, R.D., Decandia, F.A., Elter, F.M., Lazzarotto, A., Liotta, D.,** 1995. Il sollevamento della crosta nel Quadro della tettonica post-collisionale dell'Appennino Settentrionale: nuovi dati dall'area di Larderello (Toscana Meridionale). *Studi Geologici Camerti*, 1995(1): 337–347.
- Da Mommio, A., Iaccarino, S., Vezzoni, S., Dini, A., Rocchi, S., Brocchini, Guideri, S., Sbrilli, L.,** 2010. Valorizzazione del geosito «Sezione Coquand», miniera del Temperino (Parco Archeominerario di San Silvestro, Campiglia Marittima). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali - Memorie A*, 115: 55–72.
- Darboux, F., Dalla Rosa, J., Cooper, M.,** 2016. Conditions for the occurrence of slaking and other disaggregation processes under rainfall. *Hydrology*, 3(27): 1–9.
-

-
- Davidson, D.A.**, 1985. Geomorphology and Archaeology. In: Rapp, G., Gifford, J.A. (Eds.), *Archaeological Geology*. Yale University Press, New-Haven: 25–55.
- Davidson, D.A., Shackley, M.L.**, 1976. *Geoarchaeology: Earth Science and the Past*. Duckworth, London. 408 pp.
- Debaine-Francfort, C., Debaine, F., Idriss, A.**, 2010. The Taklimaken Oases: an environmental evolution shown through geoarchaeology. In: Schneier-Madanes, G., Courel, M.F. (Eds.), *Water and Sustainability in Arid Regions*. Springer, Dordrecht: 181–202.
- Decandia, F.A., Lazzarotto, A., Liotta, D.**, 1993. La «Serie ridotta» nel quadro dell'evoluzione geologica della Toscana meridionale. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 49: 181–190.
- Decandia, F.A., Lazzarotto, A., Liotta, D.**, 2001. Structural features of southern Tuscany, Italy. *Ofioliti*, 26(2a): 287–300.
- Decandia, F.A., Lazzarotto, A., Liotta, D., Cernobori, L., Nicolich, R.**, 1998. The Crop03 traverse: insight on post-collisional evolution of Northern Apennines. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 52: 427–439.
- Degeai, J.-P., Devillers, B., Blanchemanche, P., Dezileau, L., Oueslati, H., Tillier, M., Bohbot, H.**, 2017. Fluvial response to the last Holocene rapid climate change in the Northwestern Mediterranean coastlands. *Global and Planetary Change*, 152: 176–186.
- De Keyser, T.L.**, 1999. Digital scanning of thin sections and peels. *Journal of Sedimentary Research*, 69(4): 962–964.
- Del Tredici, S., Robbiano, A.**, 1997. Evoluzione strutturale dell'Unità Subligure in Val di Magra (Appennino Settentrionale). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali – Memorie A*, 104: 1–12.
- De Marco, C.**, 2017. Ipotesi interpretative dell'industria ceramica di Torre Mozza (Livorno) nell'ambito dei siti costieri medio-tirrenici dell'età del Bronzo in base ad analisi archeometriche. In: Vannini, G. (a cura di) *Florentia, Studi di Archeologia vol. 3*. Firenze University Press, Firenze: 67–85.
- Demenocal, P.B.**, 2001. Cultural responses to climate change during the Late Holocene. *Science*, 292: 667–673.
- Denham, T.P., Haberle, S.G., Lentfer, C., Fullagar, R., Field, J., Therin, J., Porch, N., Winsborough, B.**, 2003. Origins of agriculture at Kuk Swamp in the Highlands of New Guinea. *Science*, 301: 189–193.
- De Pippo, T., Donadio, C., Pennetta, M., Terlizzi, F., Valente, A.**, 2007. Genesis and morphological evolution of Fusàro lagoon (Campania, southern Italy) in the Holocene. *Bollettino della Società Geologica d'Italia*, 126(1): 89–100.
- Di Benedetto, F., Costagliola, P., Benvenuti, M., Lattanzi, P., Romanelli, M., Tanelli, G.**, 2006. Arsenic incorporation in natural calcite lattice: evidence from electron spin echo spectroscopy. *Earth and Planetary Science Letters*, 246(3): 458–465.
-

-
- Dini, A., Gianelli, G., Puxeddu, M., Ruggieri, G.,** 2005. Origin and evolution of Pliocene-Pleistocene granites from the Larderello geothermal field (Tuscan Magmatic Province, Italy). *Lithos*, 81: 1–31.
- Di Pasquale, G., Buonincontri, M.P., Allevato, E., Saracino, A.,** 2014. Human-derived landscape changes on the northern Etruria coast (western Italy) between Roman times and the late Middle Ages. *The Holocene*, 24(11): 1491–1502.
- Doğan, U.,** 2010. Fluvial response to climate change during and after the Last Glacial Maximum in Central Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, 222: 221–229.
- Donati, A., Protano, G., Riccobono, F., Dallai, L., Francovich, R.,** 2004. Influent of ancient mining settlements on Arsenic pollution in the southwest of Tuscany. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 70: 183-189.
- Donati, A., Pulselli, F.M., Protano, G., Dallai, L., Francovich, R., Tiezzi, E.,** 2007. With Arsenic on The Etruscans' Footprints. *International Journal of Ecodynamics*, 2: 24–26.
- Donati, A., Pulselli, F.M., Riccobono, F., Dallai, L., Francovich, R., Tiezzi, E.,** 2005. Origin of arsenic pollution in Southwest Tuscany: comparison of fluvial sediments. *Annali di chimica*, 95(3-4): 161–166.
- D'Orefice, M., Graciotti, R.,** 2015. *Rilevamento geomorfologico e cartografia*. Dario Flaccovio Editore, Palermo. 360 pp.
- Dotterweich, M.,** 2013. The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation - A global synopsis. *Geomorphology*, 201: 1–34.
- Drescher-Schneider, R., de Beaulieu, J.-L., Magny, M., Walter-Simmonet, A.-V., Bossuet, G., Millet, L., Brugiapaglia, E., Drescher, A.,** 2007. Vegetation history, climate and human impact over the last 15,000 years at Lago dell'Accesa (Tuscany, Central Italy). *Vegetation History and Archaeobotany*, 16: 279–299.
- Dungworth, D., Mephram, L.,** 2012. Prehistoric iron smelting in London: evidence from Shooters Hill. *Historical Metallurgy*, 46(1): 1–10.
- Durand, N., Curtis, H., Canti, M.G.,** 2010. Calcium carbonate features. In Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (Eds.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Amsterdam: 149–194.
- Ehrenreich, R.M.,** 1995. Archaeometry into Archaeology. *Journal of Archaeological Methods and Theory*, 2(1): 1–6.
- Farinelli, R.,** 2007. *I castelli nella Toscana delle 'città deboli'. Dinamiche del popolamento e del potere rurale nella Toscana meridionale (secoli VII-XIV)*. All'Insegna del Giglio, Firenze.
- Farinelli, R.,** 2013. Fortificazioni di terra nella Maremma Toscana. Evidenze archeologiche e testimonianze documentarie per i secoli X-XIV. *Archeologia Medievale XL*: 61–68.
-

-
- Ferranti, L., Antonioli, F., Mauz, B., Amorosi, A., Dai Pra, G., Mastronuzzi, G., Monaco, C., Orrù, P., Pappalardo, M., Radtke, U., Renda, P., Romano, P., Sansò, P., Verrubbi, V., 2006.** Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: Tectonic implications. *Quaternary International*, 145-146: 30–54.
- Finné, M., Bar-Matthews, M., Holmgren, K., Sundqvist, H.S., Liakopoulos, I., Zhang, Q., 2014.** Speleotheme evidence for late Holocene climate variability and floods in Southern Greece. *Quaternary Research*, 81(2): 213–227.
- Fitzpatrick, E.A., 1984.** *Micromorphology of Soils*. Chapman and Hall, London. 433 pp.
- Fletcher, W.J., Sánchez Goñi, M.F., 2008.** Orbital- and sub-orbital-scale climate impacts on vegetation of the western Mediterranean basin over the last 48,000 yr. *Quaternary Research*, 70(3): 451–464.
- Foggi, B., Chegia, B., Viciani, D., 2006.** Contributo alla conoscenza della vegetazione del promontorio di Piombino (Livorno – Toscana). *Parlatorea*, VIII: 121–139.
- Fontana, A., Mozzi, P., Bondesan, A., 2008.** Alluvial megafans in the Venetian–Friulian Plain (north-eastern Italy): Evidence of sedimentary and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary International*, 189(1): 71–90.
- Forbes, M.S., Raison, R.J., Skjemstad, J.O., 2006.** Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 370(1): 190–206.
- Ford, T.D., Pedley, H.M., 1996.** A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth Science Reviews*, 41: 117–175.
- Ford, D.C., Williams, P.W., 2007a.** *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester. 562 pp.
- Ford, D.C., Williams, P.W., 2007b.** Human Impacts and Environmental Rehabilitation. In: Ford, D.C., Williams, P.W. (Eds.), *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester: 473–477.
- Francovich, R. (a cura di), 1985.** *Scarlino 1. Storia e territorio*. All’Insegna del Giglio, Firenze. 336 pp.
- Francovich, R., Gelichi, S., 1988.** Insediamento sparso e insediamento accentrato medievale nelle ultime ricerche archeologiche in Toscana ed Emilia-Romagna: alcune considerazioni. In: Noyé, G. (a cura di) *Castrum 2. Structures de l’habitat et occupation du sol dans pays méditerranéens: les méthodes et l’apport de l’archéologie extensive*. Actes du colloque de Paris (12-15 novembre 1984), Collection de l’École française de Rome, 195/2: 467–478.
- Francovich, R., Hodges, R., 2003.** *Villa to village. The Transformation of the Roman Countryside in Italy, c. 400-1000*. Duckworth, London.
- French, C., 2003.** *Geoarchaeology in action: Studies in soil micromorphology and landscape evolution*. Routledge, London. 320 pp.
-

-
- French, C.**, 2015. *A Handbook of Geoarchaeological Approaches to Settlement Sites and Landscapes (Studying Scientific Archaeology 1)*. Oxbow Books, Oxford. 144 pp.
- Friesem, D.E., Watzek, J., Onfray, M.**, 2017. Earth Construction Materials. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *“Archaeological soil and sediment micromorphology”*. Wiley Blackwell, Oxford: 99–110.
- Frumkin, A., Magaritz, M., Carmi, I., Zak, I.**, 1991. The Holocene climatic record of the salt caves of Mount Sedom Israel. *The Holocene*, 1(3): 191–200.
- Fubelli, G., Dramis, F., Calderoni, G., Cilla, G., Materazzi, M., Mazzini, I., Soligo, M.**, 2013. Holocene aggradation/erosion of a tufa dam at Triponzo (central Italy). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 36: 259–266.
- Fujisaki, K., Perrin, A.-S., Desjardins, T., Bernoux, M., Balbino, L.C., Brossard, M.**, 2015. From forest to cropland and pasture system: a critical review of soil organic carbon stock changes in Amazonia. *Global Change Biology*, 21: 2773–2786.
- Furlanetto, G., Ravazzi, C., Pini, R., Vallè, F., Brunetti, M., Comolli, R., Novellino, M.N., Garozzo, L., Maggi, V.**, 2018. Holocene vegetation history and quantitative climate reconstructions in a high-elevation oceanic district of the Italian Alps. Evidence for a middle to late Holocene precipitation increase. *Quaternary Science Review*, 200: 212–236.
- Gabellini, A., Viciani, D., Biagini, P.**, 2013. La vegetazione del complesso forestale regionale <<Bandite di Scarlino>> (Grosseto, Toscana meridionale). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali – Serie B*, 120: 45–58.
- Gaines, R.V., Skinner, H.C.W., Foord, E.E., Mason, B., Rosenzweig, A.**, 1997. *Dana’s New Mineralogy*. John Wiley & Sons, New York. 1819 pp.
- García-Ruiz, J.M., Sanjuán, Y., Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Beguería, S., Arnáez, J., Coba-Pérez, P., Gómez-Villar, A., Álvarez-Martínez, J., Lana-Renault, N., Pérez-Cardiel, E., López de Calle, C.**, 2016. Mid and late Holocene forest fires and deforestation in the subalpine belt of the Iberian range, northern Spain. *Journal of Mountain Science*, 13(10): 1760–1772.
- Gasperi, G.**, 1970. Lineamenti tettonici dei rilievi di Castiglione della Pescaia e Scarlino (Provincia di Grosseto). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 91: 91–105.
- Gé, T., Courty, M.A., Watzek, J., Matthews, W.**, 1993. Sedimentary formation processes of occupation surfaces. In: Goldberg, P., Petraglia, M., Nash, D.T. (Eds.), *Formation Processes in Archaeological Context. Monographs in World Archaeology*. Prehistory Press, Madison: 149–163.
- Ghezzi, G., Ghezzi, R., Muti, A.**, 1993. Studio idrogeologico della pianura di Piombino (Pianura del fiume Cornia e terrazzo di S. Vincenzo Palmentello). *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno*, 2(13): 213–275.

-
- Ghinassi, M., Libsekal, Y., Papini, M., Rook, L.,** 2009. Palaeoenvironments of the Buia *Homo* site: High-resolution facies analysis and non-marine sequence stratigraphy in the Alat formation (Pleistocene Dandiero Basin, Danakil depression, Eritrea). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 280(3-4): 415–431.
- Giannini, E., Nardi, R., Tongiorgi, M.,** 1962. Osservazioni sul problema della Falda Toscana. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 81: 18–90.
- Gibling, M.R.,** 2018. River systems and the Anthropocene: A Late Pleistocene and Holocene timeline for human influence. *Quaternary*, 1(21): 1–37.
- Gillis, R.E., Kovačiková, L., Bréhard, S., Guthmann, E., Vostrovská, I., Nohálová, H., Arbogast, R.-M., Domboróczki, L., Pechtl, J., Anders, A., Marciniak, A., Tresset, A., Vigne, J.-D.,** 2017. The evolution of dual meat and milk cattle husbandry in Linearbandkeramik societies. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1860): 1–9.
- Giraudi, C., Magny, M., Zanchetta, G., Drysdale, R.N.,** 2011. The Holocene climatic evolution of Mediterranean Italy: A review of the continental geological data. *The Holocene*, 21(1): 105–115.
- Gladfelter, B.G.,** 1977. Geoarchaeology: the Geomorphologist and Archaeology. *American Antiquity*, 42(4): 519–538.
- Gladfelter, B.G.,** 1981. Development and direction in Geoarchaeology. In: Schiffer, M.B. (Ed.) *Advances in Archaeological Methods and Theories*, 4: 343–364.
- Goldberg, P., Aldeias, V.,** 2018. Why does (archaeological) micromorphology have such little traction in (geo)archaeology?. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 10(2): 269–278.
- Goldberg, P., Berna, F.,** 2010. Micromorphology and context. *Quaternary International*, 214(1-2): 56–62.
- Goldberg, P., Macphail, R.I.,** 2003. Short Contribution: Strategies and Techniques in Collecting Micromorphology Samples. *Geoarchaeology: An International Journal*, 18(5): 571–578.
- Goldberg, P., Macphail, R.I.,** 2006. *Practical and Theoretical Geoarchaeology*. Blackwell Publishing, Oxford. 454 pp.
- Goldberg, P., Weiner, S., Bar-Yosef, O., Xu, Q., Liu, J.,** 2001. Site formation processes at Zhoukoudian, China. *Journal of Human Evolution*, 41(5): 483–530.
- Gonzalez-Ruoco, F.J., Fernández-Donado, L., Raible, C.C., Barriopedro, D., Luterbacher, J., Jungclaus, J.H., Swingedouw, D., Servonnat, J., Zorita, E., Wagner, S., Ammann, C.M.,** 2011. Medieval Climate Anomaly to Little Ice Age Transition simulated by current climate models. *Pages*, 19(1): 7–8
- Goodbred, S.L. Jr,** 2003. Response of the Gages dispersal system to climate change: A source-to-sink view since the last interstade. *Sedimentary Geology*, 162(1-2): 83–104.
-

-
- Goosse, H., Guiot, J., Mann, M.E., Dubinkina, S., Sallaz-Damas, Y.,** 2012. The medieval climate anomaly in Europe: Comparison of the summer and annual mean signals in two reconstructions and in simulations with data assimilation. *Global and Planetary Change*, 84-85: 35–47.
- Goudie, A.S., Viles, H.A., Pentecost, A.,** 1993. The late-Holocene tufa decline in Europe. *The Holocene*, 3: 181–186.
- Graham, N.E., Ammann, C.M., Fleitmann, D., Cobb, K.M., Luterbacher, J.,** 2011. Support for global reorganization during the 'Medieval Climate Anomaly'. *Climate Dynamics*, 37: 1217–1245.
- Greggio, S., Faresin, E., Zanovello, P., Salemi, G.,** 2015. Analisi e gestione della cartografia storica per la ricostruzione virtuale dell'area termale euganea (PD): il caso di Monteortone. *Atti della XIX Conferenza Nazionale ASITA*: 429–436.
- Gressly, A.,** 1838. *Observations géologiques sur le Jura soleurois. Nouveaux memoires de la Société Helvétique des Sciences Naturelles.* Neuchatel. 349 pp.
- Guo, L.B., Gifford, R.M.,** 2002. Soil carbon stock and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology* 8(4): 345–360.
- Haaland, M.M., Czechowski, M., Carpentier, F., Lejay, M., Vandermeulen, B.,** 2018. Documenting archaeological thin section in high-resolution: A comparison methods and discussion of applications. *Geoarchaeology*, 34(3): 1–15.
- Haas, J.N., Richoz, I., Tinner, W., Wick, L.,** 1998. Synchronous Holocene climatic oscillations recorded on the Swiss Plateau and at timberline in the alps. *The Holocene*, 8(3): 301–309.
- Hassan, F.A.,** 2011. Nile flood discharge during the Medieval Climate Anomaly. *Pages*, 19(1): 30–31.
- Herweijer, C., Seager, R., Cook, E., Emile-Geay, E.,** 2007. North American droughts of the last millennium from a gridded network of tree-ring data. *Journal of Climate*, 30: 1353–1376.
- Heyd, T.,** 2008. Cultural responses to natural changes such as climate change. *Espace populations sociétés*, 2008(1): 83–88.
- Hill, C.L.,** 2005. Geoarchaeology. In: Maschner, H.D.G., Chippindale, C. (Eds.), *Handbook of Archaeological Methods, Vol. II.* Altamira Press, Lanham: 1002–1033.
- Hodges, R.,** 2012. *Dark Age Economics. A New Audit.* Bloomsbury Academic, London. 160 pp.
- Holliday, V.T.,** 2004. *Soils in Archaeological Research.* Oxford University Press, Oxford. 448 pp.
- Holzhauser, H., Magny, M., Zumbühl, H.J.,** 2005. Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years. *The Holocene*, 15(6): 789–801.
- Hooke, R.L.,** 2000. On the history of humans as geomorphic agent. *Geology*, 28: 843–846.
-

-
- Houben, P.**, 2007. Geomorphological facies reconstruction of Late Quaternary alluvia by the application of fluvial architecture concepts. *Geomorphology*, 86(1-2): 94–114.
- Howard, J.L., Ryzewski, K., Dubay, B.R., Killion, T.W.**, 2015. Artifacts and post-depositional site-formation processes in an urban setting: a geoarchaeological study of a 19th century neighbourhood in Detroit, Michigan, USA. *Journal of Archaeological Science*, 53: 178–189.
- Hudak, A.T., Wessman, C.A.**, 2001. Textural analysis of high resolution imagery to quantify bush encroachment in Madikwe Game Reserve, South Africa, 1955–1996. *International Journal of Remote Sensing*, 22(14): 2731–2740.
- Iannuccilli, M.**, 2016. *Classificazione dei Tipi di Tempo e alluvioni in Toscana, nel contesto dei Cambiamenti Climatici*. Consiglio Regionale della Toscana. 176 pp.
- Inghirami, L.**, 1830. *Carta Geometrica della Toscana Ricavata dal vero e Dedicata a S.A.S. Leopoldo II* Firenze.
- Ismail-Meyer, K.**, 2017. Plant Remains. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), “*Archaeological soil and sediment micromorphology*”. Wiley Blackwell, Oxford: 121–135.
- ISPRA-APAT**, 1994. *Carta Geomorfologica d’Italia 1:50.000, Guida al Rilevamento, Quaderno 4*. Roma.
- Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T.**, 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International*, 200: 4–18.
- Jalut, G., Esteban Amat, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., Fontugne, M.**, 2000. Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from southeast France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160(3–4): 255–290.
- Jardine, W.G.**, 2010. The role of geomorphology and geology in archaeological studies: a synopsis. *Glasgow Archaeological Journal*, 11(11): 1–11.
- Jolivet, L., Faccenna, C., Goffè, B., Mattei, M., Brunet, C., Rossetti, F., Cadet, J.P., Funicello, R., Theye, T., Storti, F., D’Agostino, N.**, 1998. Mid-crustal shear zones in postorogenic extension: example from the Northern Apennines case. *Journal of Geophysical Research*, 103(B6): 12123–12150.
- Jongerijs, A.**, 1983. The role of micromorphology in agricultural research. In: Bullock, P., Murphy, C.P. (Eds.), *Soil micromorphology, Volume 1*. AB Academic Press, Berkhamsted: 111–138.
- Jouet, G., Berné, S., Rabineau, M., Bassetti, M.A., Bernier, P., Dennielou, B., Sierro, F.J., Flores, J.A., Taviani, M.**, 2006. Shoreface migrations at the shelf edge and sea-level changes around the Last Glacial Maximum (Gulf of Lions, NW Mediterranean). *Marine Geology*, 234(1-4): 21–42.
- Kalis, A.J., Merkt, J., Wunderlich, J.**, 2003. Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe – Human impact and natural causes. *Quaternary Science Reviews*, 22(1): 33–79.

-
- Kaniewski, D., Van Campo, E., Paulissen, E., Weiss, H., Bakker, J., Rossignol, I., Van Lerberghe, K.,** 2011. The medieval climate anomaly and the little Ice Age in coastal Syria inferred from pollen-derived palaeoclimatic patterns. *Global and Planetary Change*, 78(3-4): 178–187.
- Karkanas, P.,** 2010. Preservation of anthropogenic materials under different geochemical processes: A mineralogical approach. *Quaternary International*, 214(1-2): 63–69.
- Karkanas, P., Goldberg, P.,** 2018. Phosphatic Features. In: Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (Eds.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, Second Edition*. Elsevier, Amsterdam: 323–346.
- Karkanas, P., Goldberg, P.,** 2019. *Reconstructing Archeological Sites. Understanding the Geoarchaeological Matrix*. Wiley Blackwell, Oxford. 279 pp.
- Karkanas, P., Pavlopoulos, K., Kouli, K., Ntinou, M., Tsartsidou, G., Facorellis, Y., Tsourou, T.,** 2011. Palaeoenvironments and site formation processes at the Neolithic Lake side Settlement of Dispilio, Kastoria, Northern Greece. *Geoarchaeology: An International Journal*, 26(1): 83–117.
- Kelland, C.H.,** 2013. Castelli in terra e legno in Gran Bretagna e Irlanda: una panoramica. *Archeologia Medievale*, XI: 37–48.
- Kleinteich, J., Golubović, S., Pessi, I.S., Velázquez, D., Storme, J.-Y., Darchambeau, F., Borges, A.V., Compère P., Radtke, G., Lee, S.-J., Javaux, E.J., Willemotte, A.,** 2017. Cyanobacterial Contribution to Travertine Deposition in the Hoyoux River System, Belgium. *Microbial Ecology*, 74(1): 33–53.
- Kooistra, M. J., Pulleman, M.M.,** 2010. Features related to faunal activity. In: Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (Eds.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Amsterdam: 397–418.
- Kraus, K.,** 2002. Principles of airborne laser scanning. *Journal of the Swedish Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 1: 53–56.
- Kubiena, W.L.,** 1938. *Micropedology*. Collegiate Press, Ames, Iowa. 243 pp.
- Kühn, P., Aguilar, J., Miedema, R.,** 2010. Textural pedofeatures and related horizons. In: Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (Eds.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, Elsevier, Amsterdam: 217–250.
- Kuzucuoğlu, C., Dörfer, W., Kunesch, S., Goupille, F.,** 2011. Mid- to late-Holocene climate change in central Turkey: The Tecer Lake record. *The Holocene*, 21(1): 173–188.
- Lamb, H.H.,** 1965. The early medieval warm epoch and its sequel. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1: 13–37.
- Lambeck, K., Purcell, A.,** 2005. Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas. *Quaternary Science Reviews*, 24: 1969–1988.
-

-
- Lambeck, K., Rouby, H., Purcell, A., Sun, Y., Sambridge, M.,** 2014. Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *PNAS*, *111*(43): 15296–15203.
- Landon, D.B.,** 2005. Zooarchaeology and Historical Archaeology: Progress and Prospects. *Journal of Archaeological Method and Theory*, *12*(1): 1–36.
- Lattanzi, P.F., Benvenuti, M., Costagliola, P., Tanelli, G.,** 1994. An overview on recent research on the metallogeny of Tuscany, with special references to the Apuane Alps. *Memorie della Società Geologica Italiana*, *48*: 613–625.
- Lattanzi, P.F., Tanelli, G.,** 1985. Le mineralizzazioni a pirite, ossidi di Fe e Pb-Zn (Ag) della zona di Niccioleta (Grosseto). *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, *40*: 385–408.
- Lazzari, M., Gioia, D.,** 2017. UAV images and historical aerial-photos for geomorphological analysis and hillslope evolution of the Uggiano medieval archaeological site (Basilicata, southern Italy). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *8*(1): 104–119.
- Le Bissonais, Y., Bruand, A., Jamagne, M.,** 1990. Etude expérimentale sous pluie simulée de la formation des croûtes superficielles. Apport à la notion d'érodibilité des sols. *Cahier de l'Orstom*, *25* (1-2): 31–40.
- Ledru, M.-P., Jomelli, V., Samaniego, P., Vuille, M., Hidalgo, S., Herrera, M., Ceron, C.,** 2013. The Medieval Climate Anomaly and the Little Ice Age in the eastern Ecuadorian Andes. *Climate of the Past*, *9*: 307–321.
- Legout, C., Leguédou, S., Le Bissonais, Y.,** 2005. Aggregate breakdown dynamics under rainfall compared with aggregate stability measurements. *European Journal of Soil Science*, *56*: 225–238.
- Liebmann, B., Mechoso, C.R.,** 2011. The South American Monsoon System. *The Global Monsoon System*, *5*: 137–157.
- Ligouis, B.,** 2017. Reflected light. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), "Archaeological soil and sediment micromorphology". Wiley Blackwell, Oxford: 461–470.
- Liotta, D., Cernobori, L., Nicolich, R.,** 1998. Restricted rifting and its coexistence with compressional structures: results from the Crop3 traverse (Northern Apennines, Italy). *Terra Nova*, *10*: 16–20.
- Liotta, D., Ruggieri, G., Brogi, A., Fulignati, P., Dini, A., Nardini, I.,** 2010. Migration of geothermal fluids in extensional terrains: the ore deposits of the Boccheggiano-Montieri area (southern Tuscany, Italy). *International Journal of Earth Sciences*, *99*(3): 623–644.
- Litt, T., Ohlwein, C., Neumann, F. H., Hense, A., Stein, M.,** 2012. Holocene climate variability in the Levant from the Dead Sea pollen record. *Quaternary Science Reviews*, *49*: 95–105.
- Lobo, F.J., Hernández-Molina, F., Somoza, L., Díaz del Río, V., Dias, J.,** 2002. Stratigraphic evidence of an upper Pleistocene TST to HST complex on the Gulf of Cádiz continental shelf (south-west Iberian Peninsula). *Geo-Marine Letters*, *22*: 95–107.
-

-
- Lobo, F.J., Ridente, D.,** 2013. Milankovitch cyclicity in modern continental margins: stratigraphic cycles in terrigenous shelf settings. *Boletín Geológico y Minero*, 124(2): 169–185.
- Lo Brutto, M.,** 2005. *I sistemi Laser Scanning aerei. Geomatica e modellizzazione digitale del terreno*. Master Universitario di II livello in “Sistemi Informativi Territoriali”, Università degli Studi di Palermo.
- Londi, G., Biagini, P., Campedelli, T., Mini, T., Tellini Florenzano, G.,** 2007. *Storia ed ecologia del Padule di Scarlino*. Comune di Scarlino. 63 pp.
- López, G.I.,** 2015. Walther’s Law of Facies. In Rink, W.J., Thompson, J.W (Eds.) *Encyclopedia of Scientific Dating Methods*. Springer, Dordrecht: 957–958.
- Lucchesi, F., Carta, M., Monacci, F., Nardini, F.,** 2006. Vedere il tempo del territorio: un’interfaccia per l’esplorazione del Volo GAI (1953/54). In: *Atti 10ª Conferenza Nazionale ASITA (1-17 novembre, Bolzano)*.
- Lucci, F., Massella, V.,** 2012. Evoluzione geologica del basamento metamorfico toscano. *Il Cercapietre*, 1-2: 47-55.
- Lünig, S., Gałka, M., Bauchi Danladi, I., Aanuoluwa Adagunodo, T., Vahrenholt, F.,** 2018. Hydroclimate in Africa during the Medieval Climate Anomaly. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 495: 309–322.
- Lünig, Gałka, M., Vahrenholt, F.,** 2017. Warming and cooling: The Medieval Climate Anomaly in Africa and Arabia. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 32(11): 1219–1235.
- Lünig, Gałka, M., Vahrenholt, F.,** 2019. The Medieval Climate Anomaly in Antarctica. *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 532: 109251.
- Luoto, T.P., Helama, S.,** 2010. Palaeoclimatological and palaeolimnological records from fossil midges and tree-rings: the role of the North Atlantic Oscillation in eastern Finland through the Medieval Climate Anomaly and Little Ice Age. *Quaternary Science Reviews*, 29(17-18): 2411–2423.
- Luoto, T.P., Kivilä, E.H., Rantalaband, V., Nevalainema, L.,** 2017. Characterization of the Medieval Climate Anomaly, Little Ice Age and recent warming in northern Lapland. *International Journal of Climatology*, 37(1): 1257–1266.
- Luterbacher, J., García-Herrera, R., Akçer-Ön, S., Allane, R., Alvarez-Castrof, M.-C., Benito, G., Booth, J., Büntgen, U., Çağatay, N., Colombaroli, D., Davis, B., Esper, J., Felis, T., Fleitmann, D., Frank, D., Gallego, D., Garcia-Bustamante, E., Glasr, R., González-Ruoco, F.J., Goose, H., Kiefer, T., Macklin, M.G., Mannings, S.W., Montagna, P., Newman, L., Power, M.J., Rath, V., Ribera, P., Riemann, D., Roberts, N., Sicre, M.-A., Silenzi, S., Tinner, W., Tzedakis, P.C., Valero-Garcés, B., Van DerSchriera, G., Vanniére, B., Vogt, S., Wanner, H., Werner, J.P., Willet, G., Williams, M.H., Xoplaki, E., Zerefos, C.S., Zorita, E.,** 2012. A review of 2000 years of Palaeoclimatic evidence in the Mediterranean. In Lionello, P. (Ed.), *The Climate of the Mediterranean Region: From the Past to the Future*. New York: 87–185.
-

-
- Macklin, M.G., Fuller, I.C., Lewin, J., Maas, G.S., Passmore, D.G., Rose, J., Woodward, J.C., Black, S., Hamlin, R.H.B., Rowan, J.S.,** 2002. Correlation of fluvial sequences in the Mediterranean basin over the last 200 ka and their relationship to climate change. *Quaternary Science Reviews*, 21(14-15): 1633–1641.
- Macphail, R.I., Courty, M.-A., Goldberg, P.,** 1990. Soil and Micromorphology in Archaeology, *Endeavour*, 14(4): 163–171.
- Macphail, R.I., Goldberg, P.,** 2017. *Applied Soils and Micromorphology in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge. 600 pp.
- Magny, M., de Bealieu, J.-L., Drescher-Schneider, R., Vanniére, B., Walter-Simonnet, A.-V., Miras, Y., Millet, L., Bossuet, G., Peyron, O., Brugiapaglia, E., Leroux, A.,** 2007. Holocene climate changes in the central Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lake Accesa (Tuscany, Italy). *Quaternary Science Reviews*, 26(13-14): 1736–1758.
- Magny, M., Miramont, C., Sivan, O.,** 2002. Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 186(1–2): 47–59.
- Magri, D., Sadori, L.,** 1999. Late Pleistocene and Holocene pollen stratigraphy at Lago di Vico, central Italy. *Vegetation History and Archaeobotany*, 8: 247–260.
- Magshoudi, M., Simpson, I.A., Kourampas, N., Nashli, H.F.,** 2014. Archaeological sediments from settlement mounds in the Sagzabad Cluster, central Iran: Human-induced deposition on an arid alluvial plain. *Quaternary International*, 324: 67–83.
- Malavolti, O.,** 1573. Carta della Provincia di Siena. In: Fossombroni, V. 1838, *Discorso Sopra la Maremma Iscritto nelle Memorie Tartini sul Bonificamento*. Giuseppe Molini, Firenze: 367–476.
- Mallol, C.,** 2006. What’s in a beach? Soil micromorphology of sediments from the Lower Paleolithic site of ‘Ubeidiya, Israel. *Journal of Human Evolution*, 51(2): 185–206.
- Mallol, C., Mentzer, S.M., Miller C.E.,** 2017. Combustion Features. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *“Archaeological soil and sediment micromorphology”*. Wiley Blackwell, Oxford: 299–330.
- Mann, M.E., Zhang, Z., Rutherford, S., Bradley, R.S., Hughes, M.K., Shindell, D., Ammann, C., Faluvegi, G., Ni, N.,** 2009. Global origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, 326(5957): 1256–1260.
- Mannoni, T., Molinari, A. (Eds.),** 1990. *Scienze in Archeologia. Il Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia. Certosa di Pontignano (Siena), 7-19 novembre 1988*. All’Insegna del Giglio, Firenze. 472 pp.
- Mantovani, F., Marcolongo, B.,** 1992. *Fotogeologia. Il Telerilevamento nelle Scienze della Terra*. NIS La Nuova Italia Scientifica, Roma. 224 pp.
-

-
- Marasco, L.**, 2009. Un castello di pianura in località Vetricella a Scarlino (Scarlino Scalo, GR): indagini preliminari e saggi di verifica. In: Favie, P., Volpe, G. (a cura di), *V Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Manfredonia-Foggia 2009)*. All'Insegna del Giglio, Firenze: 326–331.
- Marasco, L.**, 2012. Una “Motta” medievale in Toscana: nuovi dati sull’assetto di una pianura costiera maremmana tra Alto Medioevo e secoli centrali. In: Galetti, P. (a cura di), *Paesaggi, comunità, villaggi medievali*, Atti del Convegno internazionale di studio (Bologna, 14-16 gennaio 2010): 709–721.
- Marasco, L.**, 2013. La *Castellina* di Scarlino e le fortificazioni di terra nelle pianure costiere della Maremma settentrionale. *Archeologia Medievale XL*: 57–67.
- Marasco, L., Briano, A., Greenslade, Leppard, S., Lubritto, C., Ricci, P.**, 2018. Investigations at Vetricella: new findings in anthropic and natural landscapes. In: Bianchi, G., Hodges, R. (Eds.), *Origins of a new economic union (7th-12th centuries). Preliminary results of the nEU-Med project: October 2015 - March 2017*. All'Insegna del Giglio, Firenze: 57–79.
- Marchetti, M.**, 2002. Environmental changes in the central Po Plain (northern Italy) due to fluvial modifications and anthropogenic activities. *Geomorphology*, 44: 361–373.
- Mariani, M., Prato, R.**, 1988. I bacini neogenici costieri del margine tirrenico: approccio sismicostratigrafico. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 41: 519–531.
- Marquer, L., Pomel, S., Abichou, A., Schulz, E., Kaniewski, D., Van Campo, E.**, 2008. Late Holocene high resolution palaeoclimatic reconstruction inferred from Sebkhah Mhabeul, southeast Tunisia. *Quaternary Research*, 70(2): 240–250.
- Marroni, M., Monechi, M., Perilli, N., Principi, G., Treves, B.**, 1992. Late Cretaceous flysch deposits of the Northern Apennines, Italy: age of inception of orogenesis-controlled sedimentation. *Cretaceous Research*, 13: 487–504.
- Martini, I.P., Sagri, M.**, 1993. Tectono-sedimentary characteristics of Late Miocene Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy. *Earth Science Reviews*, 34: 197–233.
- Martini, I.P., Sagri, M., Colella, A.**, 2001. Neogene-Quaternary basins of the inner Apennines and Calabrian Arc, Italy. In: Vai, G.B., Martini, I.P. (Eds.), *Anatomy of an orogen: Northern Apennines and adjacent Mediterranean Basin*. Academic Publication, Dordrecht: 375–400.
- Martín-Puertas, C., Jiménez-Espejo, F., Martínez-Ruiz, F., Nieto-Moreno, V., Rodrigo, M., Mata, M.P., Valero-Garcés, B.L.**, 2010. Late Holocene climate variability in the southwestern Mediterranean region: an integrated marine and terrestrial geochemical approach. *Climate of the Past*, 6: 807–816.
- Maselli, V., Trincardi, F.**, 2013. Large-scale single incised valley from a small catchment basin on the western Adriatic margin (central Mediterranean Sea). *Global and Planetary Change*, 100: 245–262.
- Matthews, W., French, C.A.I., Lawrence, T., Cutler, D.F., Jones, M.K.**, 1997. Microstratigraphic Traces of Site Formation Processes and Human Activities. *World Archaeology*, 29(2): 81–308.
-

-
- Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlé, W., Kirk A. Maasch, K.A., Meeker, L.D., Meyerson, E.A., Gasse, F., van Kreveld, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R.R., Steig, E.J.,** 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62: 243–255.
- Mazzanti, R.,** 1995. Revisione e aggiornamento sui movimenti tettonici deducibili dalle dislocazioni nei sediment pleistocenici ed olocenici della Toscana costiera. *Studi Geologici Camerti*, 1995(1): 509–521.
- Mazzanti, R., Pranzini, P., Taccini, S.,** 1981. Studi di geomorfologia costiera: VII - Variazioni della linea di riva dal Pleistocene medio-superiore ad oggi, caratteristiche sedimentologiche e stato delle associazioni vegetali del Litorale di San Vincenzo (Toscana). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 99(4): 341–364.
- Mazzini, I., Vittori, E., Barbieri, M., Castorina, F., Anadon, P., Ferrelli, L., Mola, M.,** 1999. Late Quaternary sea-level changes along the Tyrrhenian coast near Orbetello (Tuscany, central Italy): palaeoenvironmental reconstruction using ostracods. *Marine Micropaleontology*, 37: 289–311.
- McCormick, M.,** 2001. *Origins of the European Economy. Communications and Commerce, A.D. 300-900.* Cambridge University Press, Cambridge. 1130 pp.
- McGowan, G., Prangnell, J.,** 2006. The significance of vivianite in archaeological settings. *Geoarchaeology: An International Journal*, 21(1): 93–111.
- Mensing, S., Tunni, I., Cifani, G., Passigli, S., Noble, P., Archer, C., Piovesan, G.,** 2016. Human and climatically induced environmental change in the Mediterranean during the Medieval Climate Anomaly and Little Ice Age: A case from central Italy. *Anthropocene*, 15: 49–59.
- Mentzer, S.M.,** 2014. Microarchaeological approaches to the identification and interpretation of combustion features in prehistoric archaeological sites. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 21(3): 616–668.
- Mercalli, L., Cat Berro, D.,** 2013. Ricostruzione del clima medioevale nelle Alpi occidentali tramite fonti archivistiche. Il progetto Archim. *La Gazette des archives*, 230: 67–77.
- Merciai, G.,** 1910. *Mutamenti avvenuti nella configurazione del litorale fra Pisa ed Orbetello dal Pliocene in poi.* Nistri, Pisa. 149 pp.
- Merciai, G.,** 1929. Sulle condizioni fisiche del litorale etrusco fra Livorno e Civitavecchia. *Studi Etruschi*, 3: 347–358.
- Merla, G.,** 1952. Geologia dell'Appennino settentrionale. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 70: 95–382.
- Miall, A.D.,** 1996. *The Geology of Fluvial Deposits.* Springer, Berlin. 582 pp.
- Michinelli, F.,** 2009. Indagini geognostiche preliminari (trincee e carotaggi) nell'abitato di via Ordiere a Solarolo (RA). *IpoTESI di Presistoria*, 2(1): 131–146.
-

-
- Miller, C.E., Goldberg, P., Berna, F.,** 2013. Geoarchaeological investigations at Diepkloof Rock Shelter, Western Cape, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, 40(9): 3432–3452.
- Milli, S., Mancini, M., Moscatelli, M., Stigliano, F., Marini, M., Cavinato, G.P.,** 2016. From river to shelf, anatomy of a high-frequency depositional sequence: The Late Pleistocene to Holocene Tiber depositional sequence. *Sedimentology*, 63: 1886–1928.
- Moore, R.C.,** 1949. Meaning of facies. In: Longwell, C. R. (Ed.), *Sedimentary facies in geological history*. Geological Society America Memoir, 39: 1–34.
- Morelli, A., Bruno, L., Cleveland, D.M., Drexler, T.M., Amorosi, A.,** 2017. Reconstructing Last Glacial Maximum and Younger Dryas paleolandscapes through subsurface paleosol stratigraphy: An example from the Po coastal plain, Italy. *Geomorphology*, 295: 790–800.
- Moreno, A., Pérez, A., Frigola, J., Nieto-Moreno, V., Rodrigo-Gámiz, M., Martrat, B., González-Sampériz, P., Morellón, M., Martín-Puertas, C., Corella, J.P., Belmonte, Á., Sancho, C., Cacho, I., Herrera, G., Canals, M., Grimalt, J.O., Jiménez-Espejo, F., Martínez-Ruiz, F., Vegas-Villarrúbia, T., Valero-Garcés, B.L.,** 2012. The Medieval Climate Anomaly in the Iberian Peninsula reconstructed from marine and lake records. *Quaternary Science Reviews*, 43: 16–32.
- Mori, A.,** 1935. *L'evoluzione della costa grossetana dal Pliocene ad oggi*. *Annuario 1932 – 1935 del regio Liceo di Grosseto*. Servizio Geologico d'Italia, Roma. 78 pp.
- Moriwaki, H., Nakamura, N., Nagasako, T., Lowe, D.J., Sangawa, T.,** 2016. The role of tephras in developing a high-precision chronostratigraphy for palaeoenvironmental reconstruction and archaeology in southern Kyushu, Japan, since 30,000 cal. BP: An integration. *Quaternary International*, 397: 79–92.
- Murphy, C.P.,** 1986. *Thin Section Preparation of Soils and Sediments*. AB Academic, Berkhamsted.
- Murphy, L.R., Hurst, S.C., Holliday, V.T., Johnson, E.,** 2014. Late Quaternary landscape evolution, soil stratigraphy, and geoarchaeology of the Caprock Canyonlands, Northwest Texas, USA. *Quaternary International*, 342: 57–72.
- Musumeci, G., Bocini, L., Corsi, R.,** 2002. Alpine tectonothermal evolution of the Tuscan Metamorphic Complex in the Larderello geothermal field (northern Apennines, Italy). *Journal of the Geological Society*, 159: 443–456.
- Nash, D.J., De Cort, G., Chase, B.M., Verschuren, D., Nicholson, S.E., Shanahan, T.M., Asrat, A., Lézine Stefan, A.-M., Grab, S.W.,** 2016. African hydroclimatic variability during the last 2000 years. *Quaternary Science Reviews*, 154: 1–22.
- Nash, D.T., Petraglia, M.D. (Eds.),** 1987. *Natural Formation Processes and the Archaeological Record*. BAR International Series 352, Oxford. 204 pp.
- Necsoiu, M., Dinwiddie, C.L., Walter, G.R., Larsen, A., Stothoff, S.A.,** 2013. Multi-temporal image analysis of historical aerial photographs and recent satellite imagery reveals evolution of water body surface area and polygonal terrain morphology in Kobuk Valley National Park, Alaska. *Environmental Research Letters*, 8: 1–16.
-

-
- Negri, M.**, 1998. Contributo alla conoscenza del Lago dell'Accesa, Massa Marittima (Grosseto). *Atti del Museo di Storia Naturale della Maremma*, 17: 129–139.
- Negri, M.**, 2001. I fenomeni carsici della placca di travertino dei Pianizzoli, Massa Marittima (GR). *Atti del Museo di Storia Naturale della Maremma*, 19: 109–124.
- Nettleton, W.D., Olson, C.G., Wysocki, D.A.**, 2000. Paleosol classification: problems and solutions. *Catena*, 41: 61–92.
- Nicod, J.**, 1986. Facteurs physico-chimiques de l'accumulation des formations travertineuses. *Méditerranée*, 57: 161–164.
- Nicosia, C., Stoops, G.** (Eds.), 2017. *Archaeological soil and sediment micromorphology*. Wiley Blackwell, Oxford. 476 pp.
- Nicosia, C., Trombino, L., Stoops, G.**, 2010. Traduzione italiana della terminologia presente in "Guidelines for Analysis and description of soil and regolith thin section" (Stoops, 2003). // *Quaternario*, 23(1): 15–20.
- Oliva, M., Gómez-Ortiz, A.**, 2012. Late-Holocene environmental dynamics and climate variability in a Mediterranean high mountain environment (Sierra Nevada, Spain) inferred from lake sediments and historical sources. *The Holocene*, 22(8): 915–927.
- Palmer, C., Van der Veen, M.**, 2002. Archaeobotany and the social context of food. *Acta Palaeobotanica*, 42(2): 196–202.
- Parker, A.G., Lucas, A.S., Walden, J., Goudie, A.S., Robinson, M.A., Allen, T.G.**, 2008. Late Holocene geoarchaeological investigation of the Middle Thames floodplain at Dorney, Buckinghamshire, UK: An evaluation of the Bronze Age, Iron Age, Roman and Saxon landscapes. *Geomorphology*, 101: 471–483.
- Pascucci, V.**, 2005. Neogene evolution of the Viareggio Basin, Northern Tuscany (Italy). *GeoActa*, 4: 123–128.
- Pascucci, V., Sechi, D., Andreucci, S.**, 2014. Middle Pleistocene to Holocene coastal evolution of NW Sardinia (Mediterranean Sea, Italy). *Quaternary International*, 328-329: 3–20.
- Pastre, J.F., Limondin-Lozouet, N., Gebhardt, A., Leroyer, C., Fontugne, M., Krier, V.**, 2001. Lateglacial and holocene fluvial records from central part of the Paris basin (France). In: Maddy, D., Macklin, M.G., Woodward, J.C. (Eds.), *River Basin Sediment Systems: Archives of Environmental Change*. Balkema, Leiden: 357–373.
- Peacock, D.P.S.**, 1969. A contribution to the study of Glastonbury Ware from south-western England. *Antiquaries Journal*, 49: 41–61.
- Pedraza, G. J.**, 1996. *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Rueda, Madrid. 414 pp.
- Peinetti, A.**, 2013. Esperimenti di prima generazione su processi di combustione e strutture domestiche in terra. In: AA.VV., *SGAB 1, Seminari dei Giovani Archeologi dell'Università di Bologna*: 1–15.
-

-
- Peinetti, A.**, 2016. L'analisi tecnologica di resti strutturali in terra: variabilità delle tecniche di costruzione e osservazioni in sezione lebigata per la caratterizzazione di concotti e conglomerati architettonici. *IpoTESI di Preistoria*, 8: 103–138.
- Peyron, O., Goring, S., Dormoy, I., Kotthoff, U., Pross, J., de Beaulieu, J.-L., Drescher-Schneider, R., Vanniére, B., Magny, M.**, 2011. Holocene seasonality changes in the central Mediterranean region reconstructed from the pollen sequences of Lake Accesa (Italy) and Tenaghi Philippon (Greece). *The Holocene*, 21(1): 131–146.
- Piccardi, M., Pranzini, E.**, 2016. Le foci del Serchio e del Fiume Morto nelle restituzioni cartografiche pre-geodetiche. *Studi Costieri*, 23: 21–58.
- Piccarreta, M., Caldara, M., Campolongo, D., Boenzi, F.**, 2011. Holocene geomorphic activity related to climatic change and human impact in Basilicata, Southern Italy. *Geomorphology*, 128: 137–147.
- Pieruccini, P., Buonincontri, M.P., Susini, D., Lubritto, C., Di Pasquale, G.**, 2018. Changing landscapes in the Colline Metallifere (Southern Tuscany, Italy): Early medieval palaeohydrology and land management along the Pecora river valley. In: Bianchi, G., Hodges, R. (Eds.), *Origins of a new economic union (7 th - 12 th centuries). Preliminary results of the Neu-Med Project: October 2015 - March 2017*. All'Insegna del Giglio, Firenze: 19–27.
- Plint, A.G., Nummedal, D.**, 2000. The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. *Geological Society London, Special Publication*, 172: 1–17.
- Ponta, E.**, 2015. Dinamiche di formazione e trasformazione del paesaggio tra Tardantichit  ed Alto Medioevo. Il caso di Monterotondo Marittimo (GR). In: Arthur, P., Imperiale, M.I. (a cura di), *VII Congresso Nazionale di Archeologia Medievale, Volume 1*. Firenze: 499–504.
- Posamentier, H.W., Vail, P.R.**, 1988. Eustatic controls on clastic deposition II - Sequence and Systems Tract Models. *SEPM Special Publication*, 42: 125–154.
- Pranzini, E., Rossi, S.**, 2000. L'erosione del Litorale di Punta Ala: un caso naturale di riequilibrio morfologico. *Studi Costieri*, 3: 3–27.
- Rapetti, F., Vittorini, S.**, 2012. Note illustrative della Carta Climatica della Toscana. *Atti della Societ  toscana di scienze naturali, Memorie, Serie A*: 117–119.
- Rapp, G., Hill, C.L.**, 1998. *Geoarchaeology: the Earth Science approach to archaeological interpretation*. Yale University Press, New-Haven. 339 pp.
- Ravesloot, J.C., Waters, M.R.**, 2013. Geoarchaeology and archaeological site patterning on the Middle Gila River, Arizona. *Journal of Field Archaeology*, 29(1-2): 203–214.
- Rau, A.**, 1991. Lineamenti profondi nel basamento pre-Triassico della Toscana continentale (Italia). *Studi Geologici Camerti*, 1991(1): 141–147.

-
- Regione Toscana**, 2017. Specifiche tecniche per la strutturazione, la codifica e l'acquisizione in format digitale delle cartografie della BANCA DATI GEOMORFOLOGICA della REGIONE TOSCANA.
<http://www.regione.toscana.it/bancadati/atti/Contenuto.xml?id=5144092&nomeFile=Decreto n.4505 del 10-04-2017-Allegato-A>
- Renfrew, C.**, 1976. Archaeology and the Earth Sciences. In: Davidson, D.A, Shackley, M.L. (Eds.), *Geoarchaeology*. Duckworth, London: 1–5.
- Renfrew, C.**, 1983. Geography, archaeology and environment: I. Archaeology. *The Geographical Journal*, 149(3): 316–323.
- Renfrew, C., Bahn, P.**, 2006. *Archeologia. Teorie, metodi, pratica*. Zanichelli, Bologna. 672 pp.
- Rentzel, P., Nicosia, C., Gebhardt, A., Brönnimann, Pümpin, Ismail-Meyer, K.**, 2017. Trampling, Poaching and the Effect of Traffic. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *Archaeological soil and sediment micromorphology*. Wiley Blackwell, Oxford: 281–297.
- Ricci Lucchi, F.**, 1978. *Sedimentologia, vol.III*. CLUEB, Bologna. 548 pp.
- Ricci Lucchi, F.**, 1980. *Sedimentologia, vol.II: Processi e meccanismi di sedimentazione*. CLUEB, Bologna. 212 pp.
- Ridente, D., Petrunaro, R., Falese, F., Chiocci, F.L.**, 2012. Middle-Upper Pleistocene record of 100-ka depositional sequences on the Southern Tuscany continental margin (Tyrrhenian Sea, Italy). Sequence architecture and margin growth pattern. *Marine Geology*, 326-328: 1–13.
- Riding, R.**, 2002. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. *Earth-Science Reviews*, 58: 163–231.
- Roberts, B.K.**, 1987 Landscape archaeology. In: Wagstaff, J.M. (Ed.), *Landscape and Culture: Geographical and Archaeological perspectives*. Basil Blackwell, Oxford: 77–95.
- Rombai, L.**, 1989. *Giovanni Inghirami. Astronomo, geodeta e cartografo "L'illustrazione geografica della Toscana"*. Osservatorio Ximeniano, 1989.
- Röpke, A., Dietl, C.**, 2017. Burnt Soils and Sediments. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *"Archaeological soil and sediment micromorphology"*. Wiley Blackwell, Oxford: 173–180.
- Rosen, A.M.**, 2008. The impact of environmental change and human land use on alluvial valleys in the Loess Plateau of China during the Middle Holocene. *Geomorphology*, 101: 298–307.
- Rosgen, D.A.**, 1994. A stream classification system. *Catena*, 22: 169–199.
- Rosi, A., Agostini, A.**, 2013. Subsidence analysis in the Cornia river basin (Southern Tuscany, Italy) by using PSInSAR technique. *Rendiconti Online della Società Geologica d'Italia*, 24: 276–278.

-
- Rossato, L.**, 2010. *L'arsenico in Toscana meridionale: la Piana di Scarlino*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, Ciclo XXIII, Università degli Studi di Firenze.
- Rossi, V., Amorosi, A., Sarti, G., Potenza, M.**, 2011. Influence of inherited topography from Arno coastal plain (Tuscany, Italy). *Geomorphology*, 135: 117–128.
- Rovelli, A.**, 2010. Nuove zecche e circolazione monetaria tra X e XIII secolo: l'esempio del Lazio e della Toscana. *Archeologia Medievale*, XXXVII: 163–170.
- Sabatier, P., Dezileau, L., Barbier, M., Raynal, O., Lofi, J., Briquieu, L., Condomines, M., Bouchette, F., Certain, R., van Grafenstein, U., Jorda, C., Blanchemanche, P.**, 2010. Late-Holocene evolution of a coastal lagoon in the Gulf of Lions (South of France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 181 (1): 27–36.
- Sadori, L., Giardini, M., Gliozzi, E., Mazzini, I., Sulpizio, R., Van Welden, A., Zanchetta, G.**, 2015. Vegetation, climate and environmental history of the last 4500 years at lake Shkodra (Albania/Montenegro). *The Holocene*, 25(3): 435–444.
- Sadori, L., Giraudi, C., Masi, A., Magny, M., Ortu, E., Zanchetta, G., Izdebski, A.**, 2016. Climate, environment and society in southern Italy during the last 2000 years. A review of the environmental, historical and archaeological evidence. *Quaternary Science Review*, 136: 173–188.
- Saggiaro, F.**, 2006. Tra terra e acqua: problem dell'insediamento e dell'ambiente nei territory di pianura. In: Francovich, R., Valenti, M. (a cura di), *IV Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Chiusdino 2006)*: 206–211.
- Sarti, G., Rossi, V., Amorosi, A., Bini, M., Giacomelli, S., Pappalardo, M., Ribecai, C., Ribolini, A., Sammartino, I.**, 2015. Climatic signature of two mid-late Holocene fluvial incisions formed under sea-level highstand conditions (Pisa coastal plain, NW Tuscany, Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 424: 183–195.
- Sbrilli, L.**, 2004. Fenomeni diffusi di sinkholes nella pianura del fiume Cornia soggetta a subsidenza. In: APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), *Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio, 1° seminario, Roma, 20-21 maggio 2004*: 639–649.
- Scarciglia, F., Vecchio, G., De Rosa, R., Robustelli, G., Muto, F., Le Pera, E., Critelli, S.**, 2008. Il contributo della pedologia nell'analisi geomorfologica. L'esempio della Sila (Calabria, Italia meridionale). *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, LXXVII*: 253–276.
- Schiffer, M.B.**, 1972. Archaeological context and systemic context. *American Antiquity*, 37: 156–165.
- Schiffer, M.B.**, 1987. *Formation Processes of the Archaeological Record*. University of New Mexico Press, Albuquerque. 428 pp.
- Schilman, B., Ayalon, A., Bar-Matthews, M.**, 2002. Sea-land paleoclimate correlation in the eastern Mediterranean region during the late Holocene. *Israel Journal of Earth Sciences*, 51(3-4): 181–190.
-

-
- Schmidt, M.W., Noack, A.,** 2000. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles*, 14(3): 777–793.
- Scott, A.C., Damblon, F.,** 2010. Charcoal: Taphonomy and significance in geology, botany and archaeology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291(1–2): 1–10.
- Seager, R., Graham, N., Herweijer, C., Gordon, A.L., Kushnir, Y., Cook, E.,** 2007. Blueprints for Medieval hydroclimate. *Quaternary Science Reviews*, 26(19-21): 2322–2336.
- Shahack-Gross, R.,** 2011. Herbivorous livestock dung: formation, taphonomy, methods for identification, and archaeological significance. *Journal of Archaeological Science*, 38: 205–218.
- Shahack-Gross, R.,** 2017. Archaeological theory and geoarchaeology: State-of-the-art in 2016. *Journal of Archaeological Science*, 79: 36–43.
- Shahack-Gross, R., Ayalon, A.,** 2013. Stable carbon and oxygen isotopic compositions of wood ash: an experimental study with archaeological implications. *Journal of Archaeological Science*, 40: 570–578.
- Simon, A.,** 1989. A model of channel response in disturbed alluvial channels. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14(1): 11–26.
- Sivan, D., Sisma-Ventura, G., Greenbaum, N., Bialik, O.M., Williams, F.H., Tamisiea, M.E., Rohling, E.J., Frumkin, A., Avnaim-Katav, S., Shtienberg, G., Stein, M.,** 2016. Eastern Mediterranean sea levels through the last interglacial from coastal-marine sequence in northern Israel. *Quaternary Science Reviews*, 145: 204–225.
- Stafford, C.R.,** 1995. Geoarchaeological perspectives on paleolandscapes and regional subsurface archaeology. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2: 69–104.
- Stefanelli, A.,** 2004. *Relazione Geologica*. Piano Regolatore Generale, Comune di Massa Marittima, Provincia di Grosseto. 70 pp.
- Stein, J.K.,** 2001. A review of site formation processes and their relevance to Geoarchaeology. In: Goldberg, P., Hollyday, V.T., Ferring, C.R. (Eds.), *Earth Sciences and Archaeology*. Springer, Boston: 37–51.
- Stine, S.,** 1994. Extreme and persistent drought in California and Patagonia during mediaeval time. *Nature*, 369: 546–549
- Stoops, G.,** 2003. *Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*. Soil Science Society of America, Madison. 184 pp.
- Stoops, G., Canti, M.G., Kapur, S.,** 2017. Calcareous Mortars, Plasters and Floors. In: Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), *“Archaeological soil and sediment micromorphology”*. Wiley Blackwell, Oxford: 189–199.
- Stoops, G., Eswaran, H. (Eds.),** 1986. *Soil Micromorphology*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 345 pp.
-

-
- Stoops, G., Marcellino, V., Mees, F. (Eds.),** 2010. *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*. Elsevier, Amsterdam. 752 pp.
- Stoops, G., Marcellino, V., Mees, F. (Eds.),** 2018. *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths, Second Edition*. Elsevier, Amsterdam. 982 pp.
- Storms, J.E.A., Weltje, G.J., Terra, G.J., Cattaneo, A.M. Trincardi, F.,** 2008. Coastal dynamics under conditions of rapid sea-level rise: Late Pleistocene to Early Holocene evolution of barrier-lagoon systems on the northern Adriatic shelf (Italy). *Quaternary Science Review*, 27: 1107–1123.
- Strand, E.K., Smith, A.M.S., Bunting, S.C., Vierling, L.A., Hann, D.B., Gessler, P.E.,** 2006. Wavelet estimation of plant spatial patterns in multitemporal aerial photography. *International Journal of Remote Sensing*, 27(10): 2049–2054.
- Strömngren, M., Egnell, G., Olsson, B.A.,** 2013. Carbon stocks in four forest stands in Sweden 25 years after harvesting of slash and stumps. *Forest Ecology and Management*, 290: 59–66.
- Tanelli, G.,** 1977. I giacimenti a skarn della Toscana. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrografia*, 33(2): 875–903.
- Tanelli, G.,** 1983. Mineralizzazioni metallifere e minerogenesi della Toscana. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 25: 1–109.
- Tartini, F.,** 1838. *Memorie sul bonificamento della Maremma Toscana*. Molini, Firenze. 367 pp.
- Tassi, F., Bicocchi, Cabassi, J., Capecchiacci, Vaselli, Capezuoli, Brogi, A.,** 2014. Hydrogeochemical processes controlling water and dissolved gas chemistry at the Accesa sinkhole (southern Tuscany, central Italy). *Journal of Limnology*, 73(3): 523–535.
- Tesson, M., Labaune, C., Gensous, B.,** 2005. Small river contribution to the Quaternary evolution of a Mediterranean littoral system: The western gulf of Lion, France. *Marine Geology*, 222-223: 313–334.
- Toker, E., Sivan, D., Stern, E., Shirman, B., Tsimplis, M., Spada, S.,** 2012. Evidence for centennial scale sea level variability during the Medieval Climate Optimum (Crusader Period) in Israel, eastern Mediterranean. *Earth and Planetary Science Letters*, 315-316: 51–61.
- Tongiorgi, M.,** 1957. Evoluzione della rete idrografica degli alti bacini della Bruna e della Pecora nei dintorni di Massa Marittima. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 76: 171–183.
- Trenberth, K.E., Stepaniak, D.P.,** 2001. Indices of El Niño Evolution. *Journal of Climate*, 14: 1697–1701.
- Trouet, V., Esper, J., Graham, N.E., Baker, A., Scourse, J.D., Frank, D.C.,** 2009. Persistent Positive North Atlantic Oscillation Mode dominated the Medieval Climate Anomaly. *Science*, 324(5923): 78–80.
- USDA,** 2014. *Key to Soil Taxonomy*, U.S. Department of Agriculture.

-
- Vail, P.R., Audemard, F., Bowman, S.A., Eisner, P.N., Perez-Cruz, G.,** 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentation: An overview. In: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A., (Eds.), *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin: 617–659.
- Valenti, M.** (a cura di), 1996. *Poggio Imperiale a Poggibonsi: dal villaggio di capanne al castello di pietra, I. Diagnostica archeologica e campagne di scavo 1991-1994*. All'Insegna del Giglio, Firenze.
- Vannièrè, B., Colombaroli, D., Chapron, E., Leroux, A., Tinner, W., Magny, M.,** 2008. Climate versus human-driven fire regimes in Mediterranean landscapes: the Holocene record of Lago dell'Accesa (Tuscany, Italy). *Quaternary Science Review*, 27: 1181–1196.
- Van Wesemael, B., Paustian, K., Meersmans, J., Goidts, E., Barancikova, G., Easter, M.,** 2010. Agricultural management explains historic changes in regional soil carbon stocks. *PNAS*, 107(33): 14926–14930.
- Verschuren, D., Laird, K.R., Cumming, B.F.,** 2000. Rainfall and drought in equatorial east Africa during the past 1,100 years. *Nature*, 403: 410–414.
- Viciani, D., Lombardi, L.,** 2001. La vegetazione del Padule di Orti-Bottagone (Piombino, Toscana meridionale) e la sua importanza botanica ai fini conservazionistici. *Parlatorea*, V: 101–118.
- Vigne, J.-D., Helmer, D.,** 2007. Was milk a “secondary product” in the Old World Neolithisation process? Its role in the domestication of cattle, sheep and goats. *Anthropozoologica*, 42(2): 9–40.
- Villagran, X.S., Balbo, A.L., Madella, M., Vila, A., Estevez, J.,** 2011. Stratigraphic and spatial variability in shell middens: microfacies identification at the ethnohistoric site Tunel VII (Tierra del Fuego, Argentina). *Archaeological and Anthropological Science*, 3(4): 357–378.
- Volpi, V.,** 2018. *Studio chimico-fisico multiscala di contesti, paesaggi e reperti archeologici: un nuovo approccio archeometrico. Nuovi dati e approcci per la comprensione dei manufatti, dell'estrazione e lavorazione dei metalli delle dinamiche ambientali e del paesaggio storico delle Colline Metallifere*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Chimiche e Farmaceutiche, Ciclo XXX, Università degli Studi di Siena.
- Walker, M.J.C., Berkelhammer, M., Björck, S., Cwynar, L.C., Fisher, D.A., Long, A.J., Lowe, J.J., Newnham, R.M., Rasmussen, S.O., Weiss, H.,** 2012. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a discussion paper by a working group of INTIMATE (Integration of icecore, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*, 27: 649–659.
- Walker, M.J.C., Head, M.J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L., Fisher, D., Gkinis, V., Long, A., Lowe, J., Newnham, R., Rasmussen, S.O., Weiss, H.,** 2018. Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes*, 41(4): 213–223.
- Waters, M.R.,** 1991. The Geoarchaeology of Gullies and Arroyos in Southern Arizona. *Journal of Field Archaeology*, 18(2): 141–159.
-

- Waters, M.R.**, 1992. *Principles of Geoarchaeology: a North American Perspective*. The University of Arizona Press, Tucson. 398 pp.
- Wehr, A., Lohr, U.**, 1999. Airborne laser scanning - an introduction and overview. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 68–82.
- Weisdorf, J.L.**, 2005. From foraging to farming: explaining the Neolithic Revolution. *Journal of Economic Surveys*, 19(4): 562–586.
- Wells, L.E.**, 2001. A Geomorphological Approach to Reconstructing Archaeological Settlement Patterns on Surficial Artifact Distribution. In: Goldberg, P., Holliday, V.T., Ferring, C.R. (Eds.), *Earth Sciences and Archaeology*. Springer, Boston: 107–141.
- Wickham, C.**, 2005. *Framing the Early Middle Ages: Europe and the Mediterranean, 400-800*. Oxford University Press, Oxford. 1024 pp.
- Wilkinson, B.H.**, 2005. Humans as geologic agents: A deep-time perspective. *Geology*, 33: 161–164.
- Wilkinson, T.J.**, 2005. Soil erosion and valley fills in the Yemen Highlands and southern Turkey: Integrating settlement, geoarchaeology, and climate change. *Geoarchaeology*, 20: 169–192.
- Williams, M.**, 2000. Dark ages and dark areas: global deforestation in the deep past. *Journal of Historical Geography*, 26(1): 28–46.
- Woodbridge, J., Roberts, N.**, 2011. Late Holocene climate of the Eastern Mediterranean inferred from diatom analysis of annually-laminated lake sediments. *Quaternary Science Reviews*, 30(23-24): 3381–3392.
- Wu, J., Porinchu, D., Horn, S.P.**, 2019. Late Holocene hydroclimate variability in Costa Rica: Signature of the terminal classic drought and the Medieval Climate Anomaly in the northern tropical Americas. *Quaternary Science Reviews*, 215: 144–159.
- Xoplaki, E., Fleitmann, D., Luterbacher, J., Wagner, S., Haldon, J.F., Zorita, E., Telelis, I., Toreti, A., Izdebski, A.**, 2016. The Medieval Climate Anomaly and Byzantium: A review of the evidence on climatic fluctuations, economic performance and societal change. *Quaternary Science Reviews*, 136: 229–252.
- Žak, K., Ložek, V., Kadlec, J., Hladíková, J., Cílek, V.**, 2002. Climate-induced changes in Holocene calcareous tufa formations, Bohemian Karts, Czech Republic. *Quaternary International*, 91(1): 137–152.
- Zárate, M., Flegenheimer, N.**, 1991. Geoarchaeology of the Cerro La China locality (Buenos Aires, Argentina): Site 2 and site 3. *Geoarchaeology: An International Journal*, 6(3): 273–294.
- Zonneveld, I.S.**, 1989. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its application. *Landscape Ecology*, 3(2): 67–86.