

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088

UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Territorio

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Tesi di Laurea Magistrale

Stratigrafia integrata della successione olocenica
della pianura di Vada (Toscana centrale):
ricostruzione paleoambientale e
implicazioni geoarcheologiche

Candidato:

Giulia Giorgetti

Relatore:

Prof.ssa Veronica Rossi

Correlatore:

Prof.ssa Monica Bini

Sessione Marzo 2019

Anno Accademico 2017-2018

INDICE

RIASSUNTO	1
1. INTRODUZIONE	2
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	3
2.1 Aspetti geologici	3
2.1.1 <i>Cenni di geologia pre-aternaria</i>	3
2.1.2 <i>Il Quaternario della Toscana costiera</i>	4
2.1.3 <i>Cenni di tettonica quaternaria</i>	10
2.2 Aspetti geomorfologici	11
2.3 Aspetti storici e geoarcheologici dell'area di Vada	12
3. MATERIALI E METODI	15
3.1 Realizzazione del progetto QGIS, digitalizzazione delle stratigrafie dei sondaggi acquisiti e scelta del sondaggio di riferimento	15
3.2 Analisi dei campioni e del contenuto in meiofauna del sondaggio VADA 1	17
3.2.1 <i>Analisi della composizione della fauna a foraminiferi bentonici</i>	18
3.2.2 <i>Osservazioni al microscopio elettronico a scansione (SEM)</i>	20
3.3 Identificazione delle associazioni di facies ed inquadramento cronologico	21
3.4 Realizzazione della sezione stratigrafica e ricostruzione paleoambientale	22
4. RISULTATI	23
4.1 Associazioni di facies	23
4.1.1 <i>Spiaggia ghiaiosa (Sg)</i>	23
4.1.2 <i>Spiaggia sabbiosa (Ss)</i>	23
4.1.3 <i>Piattaforma interna (Pi)</i>	24
4.1.4 <i>Baia (B)</i>	25
4.1.5 <i>Laguna (L)</i>	26
4.1.6 <i>Cordone litorale (Cl)</i>	27
4.1.7 <i>Retrocordone (Rc)</i>	28
4.1.8 <i>Deposito antropico (Da)</i>	28
4.2 Stratigrafia del primo sottosuolo nell'area di San Gaetano di Vada	32
4.2.1 <i>Successione stratigrafica esterna al sito archeologico di San Gaetano</i>	32
4.2.2 <i>Successione stratigrafica entro il sito archeologico di San Gaetano</i>	35
5. DISCUSSIONE	37
5.1 Evoluzione deposizionale e paleoambientale	37
5.2 Implicazioni geoarcheologiche	41
6. CONCLUSIONI	43
7. BIBLIOGRAFIA	44

APPENDICE A..... 49
APPENDICE B..... 56
APPENDICE C..... 57
APPENDICE D..... 60

RIASSUNTO

In antichità, l'area costiera della Toscana era interessata dalla presenza di numerosi porti e approdi situati in zone naturalmente protette e collocate lungo le principali rotte commerciali.

Il presente elaborato ha lo scopo: i) di fornire una ricostruzione, in termini deposizionali-paleoambientali, della successione olocenica presente nei primi otto metri di sottosuolo dell'area a nord dell'attuale abitato di Vada, e ii) di contribuire alla ricostruzione degli scenari naturali che hanno ospitato, secondo le fonti antiche, l'area portuale di *Vada Volaterrana* in epoca etrusca e romana.

Per raggiungere tali obiettivi sono stati studiati, tramite un'analisi di facies e stratigrafica di dettaglio, quattro sondaggi messi a disposizione dal gruppo di Geomorfologia dell'Università di Pisa e locati 2 entro il sito archeologico di Vada e 2 fuori, in posizione opposte. Sono stati realizzati i log stratigrafici di dettaglio dei sondaggi e, successivamente, è stato trattato quantitativamente il contenuto in foraminiferi bentonici e, qualitativamente, sono state definite le specie dominanti e secondarie dell'ostracofauna in un sondaggio di riferimento. L'analisi integrata dei dati ottenuti ha permesso di definire otto associazioni di facies/ambienti deposizionali il cui *stacking pattern* ha registrato il *trend* trasgressivo-regressivo olocenico. La zona in esame ha visto lo sviluppo prima di un ambiente di mare basso poco fluvio-influenzato (TST), poi di una baia e, in seguito attorno ai 6500 anni fa, di un sistema barriera-laguna. La baia e la laguna appartengono entrambe alla fase progradante del sistema (depositi di HST). La finestra temporale fornita da due datazioni al ^{14}C ha permesso di stabilire che la laguna, sviluppatasi solo nella zona a sud rispetto al sito archeologico è andata incontro a colmatamento in età etrusca (VIII sec. a. C.) e, pertanto, la zona esaminata non risulta essere quella in cui sorgeva l'antico *portus*, rimasto in uso fino al VI-VII sec. d. C.

1. INTRODUZIONE

In antichità era uso frequente lo sfruttamento di insenature e aree costiere naturalmente protette per l'ormeggio delle imbarcazioni (e.g., porti e approdi), soprattutto prima dell'introduzione, in epoca romana, di tecnologie che hanno permesso lo sviluppo di strutture portuali del tutto o in parte artificiali. Nell'area della pianura costiera di Vada, in Toscana centro-occidentale, fonti risalenti al V-VI sec. d. C. (i.e. *De reditu* di Rutilio Namaziano; *Itinerarium maritimum I*) riportano la presenza di un importante punto strategico commerciale rappresentato dal *portus* di *Vada Volaterrana*, sotto il dominio della città prima etrusca e poi romana di *Velathri/Volaterrae*. La posizione del contesto naturalmente protetto che secondo le fonti antiche doveva ospitare tale porto risulta tuttavia attualmente sconosciuta (Pasquinucci, 2013).

L'Università di Pisa, in collaborazione con la quale è stato svolto il presente lavoro di tesi, porta avanti da anni una serie di indagini archeologiche e geoarcheologiche nella zona della presunta posizione del porto antico, immediatamente a nord dell'abitato attuale di Vada, in località San Gaetano. Tali indagini hanno portato alla luce numerosi reperti testimonianti l'importanza commerciale della zona, compreso un intero quartiere strettamente collegato alla vita portuale e risalente al I sec. a. C.

Questo lavoro di tesi ha come obiettivo principale la ricostruzione dell'architettura deposizionale e, di conseguenza, delle dinamiche paleoambientali registrate nel primo sottosuolo (circa 8 metri dal piano campagna) della pianura costiera di San Gaetano, al fine di comprendere meglio la relazione tra ambiente, forzanti globali (i.e., variazioni relative del livello del mare) e locali (i.e., correnti litoranee e morfologie costiere) ed attività antropica.

A tal scopo e per circoscrivere la probabile area in cui sorgeva il porto antico di Vada, si è scelto di adottare sui 4 sondaggi disponibili un approccio multidisciplinare sedimentologico-(paleo)biologico che tenga conto, in primo luogo, dell'analisi di facies e stratigrafica, le quali si sono rivelati particolarmente efficaci in altri contesti simili (i.e., area lagunare del *Portus Pisanus* - Kaniewski *et al.*, 2018).

Fra i *proxy* paleoambientali, i foraminiferi bentonici e gli ostracodi hanno dimostrato di essere estremamente utili soprattutto se usati insieme (Amorosi *et al.*, 2014), in quanto altamente reattivi agli stress ambientali di varia origine e natura che possono interessare le aree paraliche, come estuari o lagune (Barbieri & Vaiani, 2018).

All'interno di studi paleoambientali risulta comune focalizzarsi su un gruppo, conducendo una analisi quantitativa, e utilizzare le informazioni qualitative fornite dal secondo gruppo per completare il quadro (ad esempio Marco-Barba *et al.*, 2013; Vaiani & Pennisi, 2014). In questo lavoro, si è scelto di analizzare quantitativamente i foraminiferi bentonici e qualitativamente gli ostracodi. Entrambi i *proxy* sono stati utilizzati ad integrazione del dato sedimentologico e, laddove possibile, raggruppati sulla base delle loro caratteristiche autoecologiche, in termini di salinità, profondità e caratteristiche del fondale (i.e., granulometria e copertura vegetazionale; quantità di materia organica), per una più efficace analisi di facies ed evidenziare peculiari *trend* (paleo)ambientali entro la successione in esame.

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio è localizzata nella pianura costiera di Vada in Toscana centro-occidentale, all'interno del territorio comunale di Rosignano Marittimo (LI) e a circa 700 m a NNO dell'abitato di Vada (Figura 1). La pianura di Vada, che appartiene alla fascia costiera compresa fra le città portuali di Livorno e Piombino, ricade nella più ampia pianura a sud della valle del Fiume Fine (Figura 1). Ad est della pianura in oggetto sono presenti i Monti di Castellina, a nord-ovest si trovano i Monti Livornesi, mentre ad ovest si estende il Mar Ligure. Il tratto di costa della pianura di Vada che si estende per circa 5 km a sud della foce del Fiume Fine e per circa 1 km verso l'entroterra (Marcellini, 2008), è interessato dall'azione predominante del vento di Maestrale.

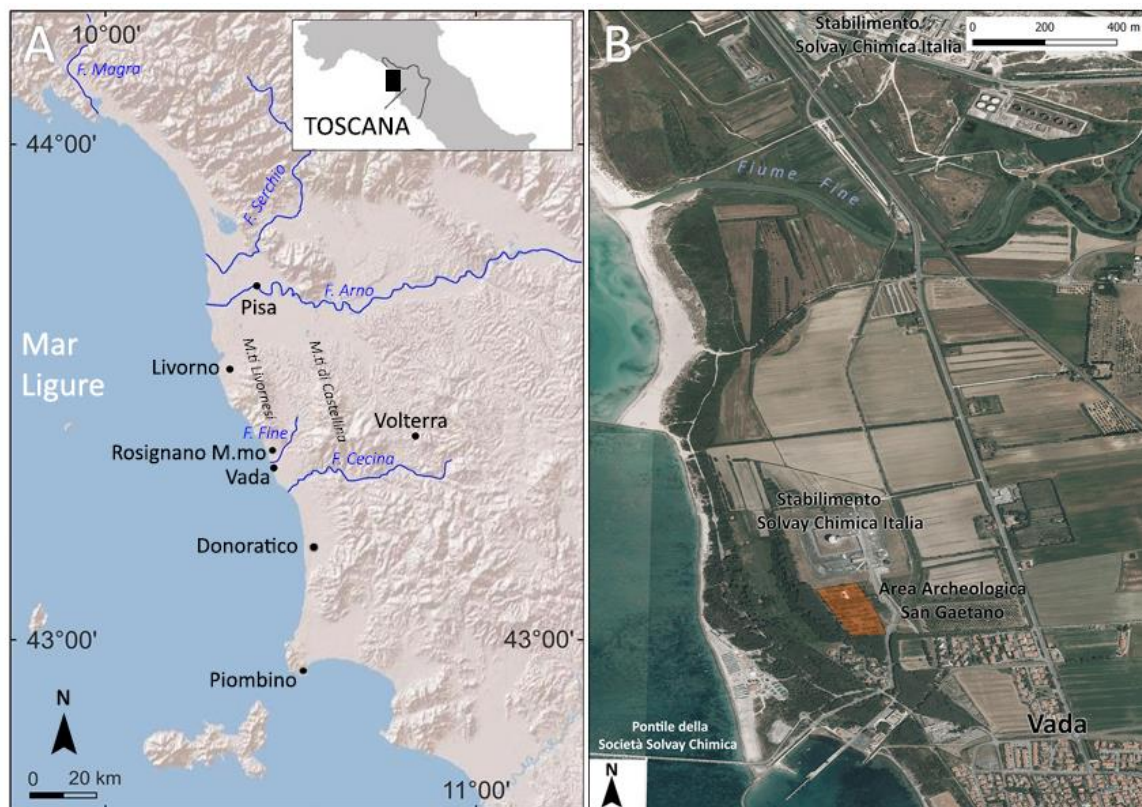


Figura 1 A) Inquadramento dell'area di Vada nel contesto della regione Toscana (modificato da Pasquinucci *et al.*, 2013); B) mappa della piana costiera di Vada a sud del Fiume Fine. In arancione è evidenziato il perimetro dell'area archeologica di San Gaetano (ortofoto reperibili su <http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio>).

2.1 Aspetti geologici

2.1.1 Cenni di geologia pre-aternaria

Il tratto di costa compreso tra Livorno e Piombino è situato tra il Mar Ligure e la porzione settentrionale della catena appenninica.

L'arco orogenico dell'Appennino settentrionale è compreso tra la linea Sestri-Voltaggio, a nord, e la linea Ancona-Anzio, a sud (Figura 2 A); esso deve la sua formazione alla rotazione del blocco Sardo-Corso, iniziata nel Miocene inferiore e terminata nel Miocene medio.

Il substrato roccioso della zona di interesse è formato dalle unità della Falda Toscana e dalle Liguridi. La Falda Toscana è composta da una successione prevalentemente marina data da depositi calcareo-marnosi mesozoici e paleogenici, sovrastati da depositi torbiditici di età

oligo-miocenica. Le Liguridi comprendono depositi di mare da profondo a molto profondo, quali calcari, marne e diaspri, e rari termini ofiolitici (Bosellini, 2005).

In seguito all'apertura del bacino Tirrenico, a partire dal Miocene superiore, circa 7 Ma, la zona Toscana di retrocatena è stata sottoposta a un regime tettonico estensionale (Patacca *et al.*, 1990; Carmignani *et al.*, 1994) che ha dato luogo ad una serie di *graben* tettonici e *horst* associati con orientazione NNO-SSE (Figura 2 B). I bacini sedimentari (*graben* o semi-*graben*) così originati sono stati riempiti prevalentemente da depositi di origine continentale e marina di età compresa fra il Miocene superiore e il Quaternario (Cantini *et al.*, 2001).

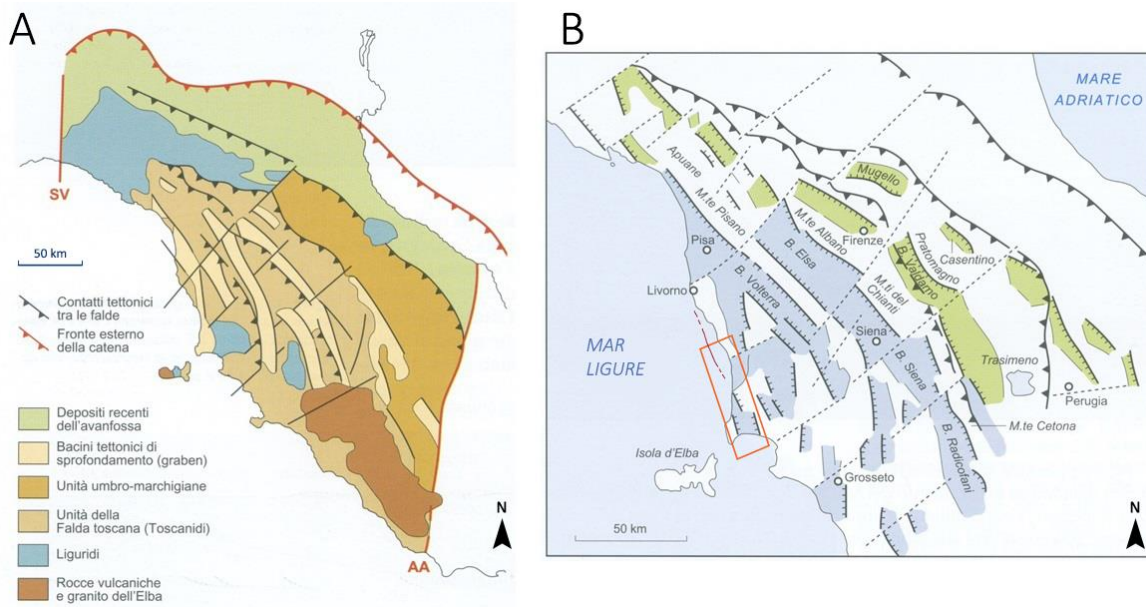


Figura 2 A) Carta geologica schematica dell'Appennino settentrionale (leggermente modificata da Bosellini, 2005); B) schema tettonico mostrante i bacini estensionali generatisi a partire dal Miocene superiore. Il rettangolo evidenzia la posizione del bacino di Castiglioncello-San Vincenzo, entro il quale ricade la pianura di Vada. In rosso è indicato il tratto conosciuto della Faglia del Faro di Vada (Mazzanti R., 2016) (leggermente modificata da Bossio *et al.*, 1992).

2.1.2 Il Quaternario della Toscana costiera

La pianura costiera di Vada ricade all'interno del Bacino sedimentario di Castiglioncello-San Vincenzo (Figura 2 B). Il bacino si è aperto durante il Sanerniano (circa 1,7-1,3 Ma) e si estende in direzione NNO-SSE nell'area compresa tra Castiglioncello, a nord, e San Vincenzo, a sud. Tale Bacino è compreso tra l'alto strutturale delle Secche di Vada (in località Faro di Vada), ad ovest, e, a est, è delimitato dai Monti di Castellina e dalle Colline Metallifere (Figura 3).

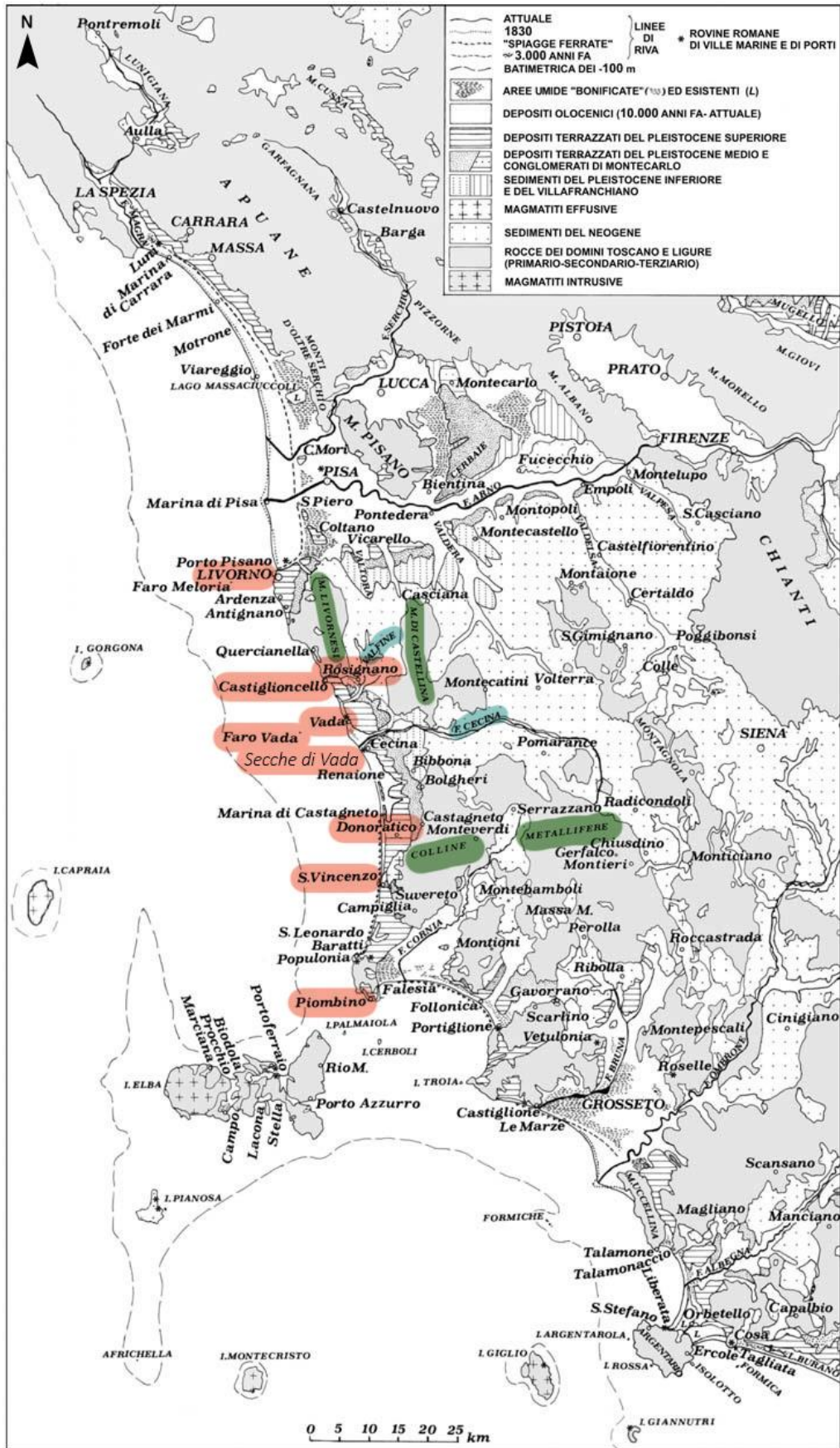


Figura 3 Carta geologica schematica della Toscana costiera con evidenziate le maggiori località e morfologie di interesse (leggermente modificata da Boschian et al., 2006).

Nel Bacino di Castiglioncello-San Vincenzo si trovano sedimenti riscontrabili anche nel Valdarno inferiore (Bacino Versiliese Pisano) ed appartenenti ad un primo ciclo sedimentario quaternario del Pleistocene inferiore¹ descritto da Boschian *et al.* (2006) (*Figura 4*). Tale ciclo è datato al Santerniano-Emiliano¹ (1,7-1 Ma) e comprende sedimenti marini più o meno profondi, di seguito elencati partendo dal basso stratigrafico:

- conglomerati litoranei trasgressivi di Villa Magrini;
- sabbie e argille santerniano-emiliane ad *Artica islandica* della Formazione di Morrone;
- i Calcari di Montescudaio, sedimenti trasgressivi di ambiente poco profondo datati all'Emiliano;
- i Conglomerati di Riparbella, riscontrati al tetto della successione unicamente presso questa località.

Tre sondaggi a carotaggio continuo effettuati nella piana di Vada (Bartoletti *et al.*, 1986) hanno permesso di stimare una potenza minima della Formazione di Morrone pari a 300 m. In località Rosignano Marittimo, al tetto della Formazione di Morrone si trovano degli elementi afferenti alla fase erosiva Post-Montescudaio, la quale chiude il primo ciclo sedimentario: si tratta di tasche erosive riempite da materiale fluviale, quali conglomerati e argille marnose, che culmina in sedimenti di ambiente salmastro (Formazione di San Marco). Secondo Boschian *et al.* (2006) il verificarsi di una fase erosiva al tetto del primo ciclo sedimentario è correlabile alla fine della fase di sprofondamento tettonico che ha permesso la deposizione dello spessore dell'intero ciclo sedimentario (*Figura 4*).

Il secondo ciclo sedimentario comprende l'unità trasgressiva di mare basso delle Sabbie delle Fabbriche, posta al di sopra dei Calcari di Montescudaio (*Figura 4*). Tale unità affiora in località Le Fabbriche ed è stata riscontrata nei sondaggi effettuati in località Vada e porto di Livorno dove, però, risultano assenti i Calcari di Montescudaio, evidenziando che la trasgressione si è imposta direttamente sulla Formazione di Morrone. Lo spessore massimo del secondo ciclo, datato al Siciliano (circa 1-0,8 Ma), è pari a circa 20 m.

Il terzo ciclo sedimentario descritto da Boschian *et al.* (2006) è dato dalla Formazione di Bibbona, datata alla fine del Siciliano e il cui tetto è riconducibile al Pleistocene medio, grazie ai dati provenienti dai ritrovamenti archeologici datati al Paleolitico Inferiore (circa 1,8-0,7 Ma). Questa formazione è posta in discordanza sulla Formazione dei Calcari di Montescudaio, ma risulta concordante alla Formazione di San Marco, la quale affiora in aree di ridotte dimensioni. Nell'area a SO di Rosignano Marittimo e nei pressi di Cecina il terzo ciclo sedimentario è composto da calcareniti di origine eolica noti come Formazione di Casa Saracino, poste in eteropia alla Formazione di Bibbona e sovrapposte alle altre formazioni. Entrambe le formazioni hanno spessori inferiori a 30 m e presentano facies ad affinità costiera.

Superiormente è presente, in discordanza sulle formazioni precedenti, la Formazione dei Conglomerati di Bolgheri, costituita da sedimenti che spaziano dal fluviale al prodelta, con

¹ Si fa riferimento ai sedimenti Calabrieri. Come specificato da Ciaranfi *et al.* (2008) il Pleistocene inferiore, in Italia, era complessivamente e non formalmente chiamato Selinuntiano (Ruggieri & Sprovieri, 1979) e risultava suddiviso in tre Unità cronostratigrafiche definite precedentemente (sottopiani non formali): Santerniano (Ruggieri & Sprovieri, 1975), Emiliano (Ruggieri & Selli, 1949) e Siciliano (Doderlein, 1872).

uno spessore variabile ma non superiore ai 20 m. Tale formazione ha subito una progressiva inclinazione verso O durante la sua deposizione. I Conglomerati di Bolgheri sono stati tentativamente riferiti alla parte iniziale del Pleistocene medio, in quanto stratigraficamente successivi alla Formazione di Bibbona ma antecedenti alle formazioni del Pleistocene medio di seguito descritte.

In generale i depositi inquadrabili cronologicamente al Pleistocene medio costituiscono una morfologia a terrazzo, nota come Terrazzo I (*Figura 4*).

Le spianate sono state interpretate come il prodotto di un'abrasione principalmente marina, sulla base della presenza di fori attribuibili all'azione di litofagi. Attualmente esse sono poste a quote non raggiungibili da variazioni di natura esclusivamente glacio-eustatica del livello del mare. Si trovano, infatti, a quota 60 m sul livello del mare sul versante NO dei Monti Livornesi e raggiungono i 170 m al Monte Argentario. Le quote sopra riportate testimoniano un avvenuto sollevamento tettonico (Boschian *et al.*, 2006). I depositi del Terrazzo I includono:

- i sedimenti delle unità a conglomerati di Villa Battaglia e Villa Corridi, località poste a ovest della catena dei Monti Livornesi. Localmente, le unità sono costituite in prevalenza da sedimenti calcarenitici che danno luogo ad una morfologia *a panchina*;
- le Sabbie di Val di Gori, di origine eolica e colluviale, intensamente pedogenizzate e ricche di reperti di industrie riferibili al Pleistocene Medio (circa 0,8-0,1 Ma). Sono poste in non conformità sui Conglomerati di Villa Battaglia e, localmente, possono giacere direttamente sulle spianate di abrasione marina. La formazione ha uno spessore massimo di circa una decina di metri e si estende da Livorno all'Argentario. A Nord dei Monti Livornesi sono spesso intercalate ai membri ghiaiosi della soprastante formazione di Casa Poggio ai Lecci, successivamente descritta;
- la Formazione di Casa Poggio ai Lecci, di natura continentale, comprende depositi grossolani (conglomerati) fluviali ed è inclusa nel Terrazzo I in località Monti Livornesi, Colline Pisane e Colline delle Cerbaie. È infatti molto sviluppata nel Valdarno inferiore, dove sono evidenti elementi tettonici quali faglie distensive e fenomeni di *tilting*;
- la Formazione di Corea, costituita da un deposito basale ghiaioso di origine fluviale e da una successione sovrastante di piana alluvionale posta in continuità stratigrafica. Tale unità è stata attribuita alla parte terminale del Pleistocene medio, quindi allo stadio isotopico marino MIS-6, e alla transizione con il MIS-5 (Pleistocene superiore), che costituisce la base del Terrazzo II (*Figura 4*), noto anche come Terrazzo di Livorno o Tirreniano.

L'elevata variabilità di facies che caratterizza il Terrazzo I è riconducibile alla sua natura policiclica.

Boschian *et al.* (2006) riassumono i depositi del Terrazzo II della Toscana costiera come segue:

- i sedimenti più antichi risalenti al Pleistocene superiore sono attribuiti al ciclo glacio-eustatico del Tirreniano, dati da tre fasi i cui picchi trasgressivi sono riferiti ai sottostadi MIS-5e (125000 a), MIS-5c (110000 a) e MIS-5a (90000 a), alternati ai picchi regressivi dei MIS-5d e MIS-5b;

- i sedimenti più recenti, prodotti durante il culmine glaciale di Wurm I (MIS-4, circa 75.000 anni), Wurm II (circa 50.000 anni) e Wurm III (MIS-2, circa 18.000 anni), fino all'inizio dell'Olocene (MIS-1, da circa 11.000 anni all'attuale).

All'interno del Terrazzo II, come riportato in Sarti *et al.* (2017), sono state riscontrate delle successioni di spiagge trasgressive (dette anche *panchine*) alternate a depositi continentali rossastri con, al tetto, superfici di *unconformity*. Le età delle panchine sono distribuite tra il MIS-5e, localmente individuabile tramite la presenza di *fauna senegalese* di Gignoux (1913), e il MIS-1.

La copertura superiore del Terrazzo II è costituita dalla Formazione delle Sabbie di Donoratico, di origine eolica e ad affinità continentale che, in altre zone della Toscana costiera, sono rappresentate dalle sabbie della Formazione di Vicarello (Figura 4).

Stando ai dati precedentemente riportati, anche il Terrazzo II ha una natura policiclica, analogamente al Terrazzo I. Tuttavia, il Terrazzo I e il II presentano notevoli differenze, a partire dalle quote: il primo, come descritto in precedenza, è posto a quote variabili tra 60 e 170 m; il secondo varia da 5 fino a 20 m di quota (Sarti *et al.*, 2017) spostandoci nell'entroterra. Come dimostrato dalla Formazione di Corea, e dai ritrovamenti di industrie del Paleolitico inferiore nel Terrazzo I e del Paleolitico medio-superiore nel Terrazzo II, quest'ultimo è successivo al Terrazzo I (Boschian *et al.*, 2006).

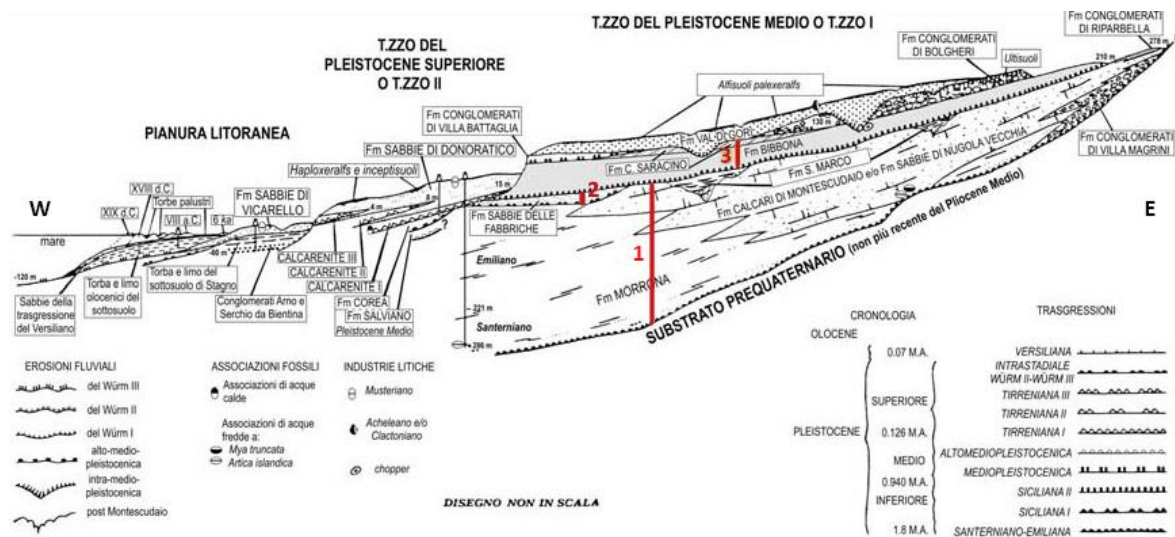


Figura 4 Schema stratigrafico non in scala dei depositi quaternari della Toscana centrale (leggermente modificato da Boschian *et al.*, 2006)

Nello specifico, Sarti *et al.* (2017), attraverso l'analisi di 115 sezioni stratigrafiche tardo quaternarie-oloceniche affioranti lungo la costa della Toscana centrale da Livorno a Piombino, hanno ricostruito in dettaglio la stratigrafia dei sedimenti di ambiente di mare basso e continentale. È stata identificata una successione di quattro sequenze trasgressivo-regressive *sensu* Embry (T-R 1-4) poste in *overlap* e delimitate temporalmente tramite datazioni OSL (*optically stimulated luminescence*) e, secondariamente, tramite radiocarbonio e racemizzazione degli amminoacidi. La definizione dei 4 cicli T-R è basata sull'individuazione ed interpretazione di quattro associazioni di facies e sul loro *stacking pattern*: *BM Facies*, depositi di spiaggia a grana grossolana; *SM Facies*, depositi sabbiosi di

mare basso; *A Facies*, depositi sabbiosi eolici; *PC Facies*, depositi continentali pedogenizzati (Figura 5). Le quattro sequenze si sono formate durante gli ultimi due cicli interglaciali, tra il MIS-5 e il MIS-1, per l'interazione tra variazioni glacio-eustatiche e tettonica locale.

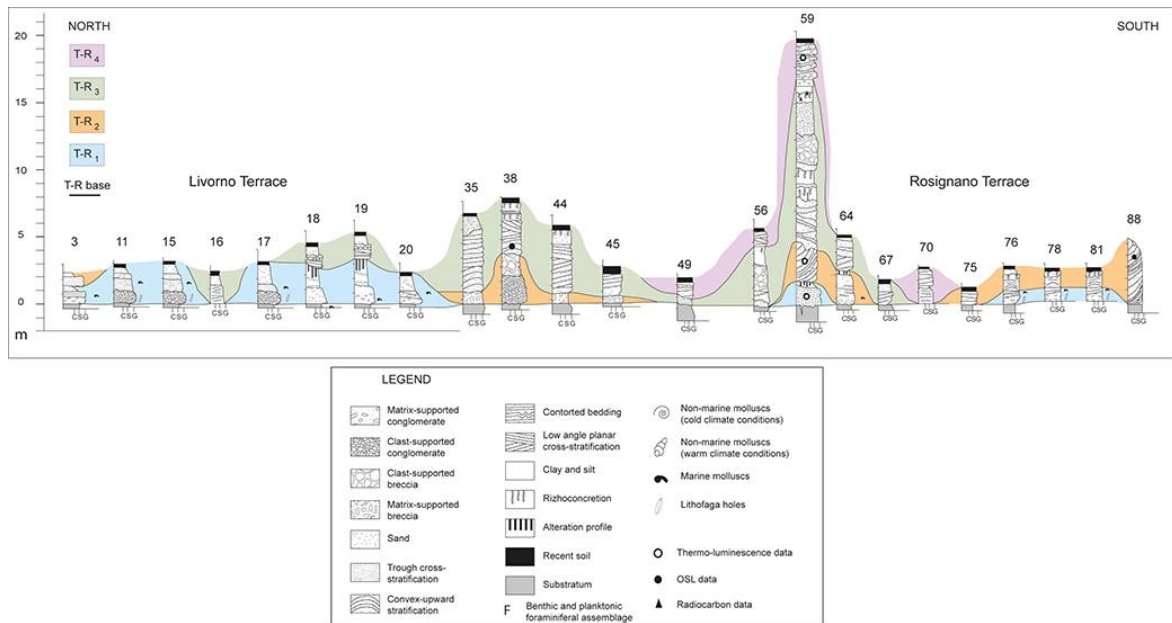


Figura 5 Correlazioni stratigrafiche effettuate attraverso alcune delle sezioni esaminate da Sarti *et al.*, 2017 (distanze orizzontali non in scala): è visibile l'andamento delle quattro sequenze T-R lungo la direzione NS (immagine leggermente modificata).

L'analisi di facies e la ricostruzione stratigrafica effettuata dagli Autori ha portato alla suddivisione dell'area costiera Toscana in due zone: la prima, compresa tra Livorno e il Fiume Fine, caratterizzata dalla presenza di *fauna senegalese* (ad esempio *Strombus bubonius*), nei depositi del MIS-5e; la seconda, tra il Fiume Fine e Piombino, caratterizzata dall'assenza della suddetta fauna (per la posizione delle località si vedano le Figure 1 e 3).

Per quanto concerne i cicli T-R, la parte trasgressiva di T-R 1, la sequenza più antica, è costituita unicamente da depositi di mare basso ed è databile al MIS-5e anche dove non compare la fauna senegalese, in quanto il contesto dell'area di studio fornisce gli elementi necessari per confermare questa attribuzione.

La sequenza T-R 2 si è formata tra il MIS-5a e il MIS-4; la sequenza T-R 3 risale al MIS-3 (Mauz, 1999), mentre la sequenza T-R 1 è riferibile al MIS-1.

La parte trasgressiva delle sequenze 2, 3 e 4 si è formata prevalentemente in un ambiente eolico di dune costiere che lateralmente passa ad ambiente costiero di mare basso. L'età delle T-R e la loro disposizione geografica suggeriscono una transizione di facies da spiaggia a depositi costieri eolici procedendo verso nord (da Baratti-Piombino a Buca dei Corvi).

Nella zona di Vada, le Sabbie di Donoratico del Pleistocene superiore (Terrazzo II), comprese nell'unità a limiti inconformi *SPP* (Figura 6), affiorano ad una quota minima di circa 3-4 m, e raggiungono rapidamente i 30 m di quota spostandosi di soli 4 km verso l'entroterra (Marcellini, 2008). La pianura in senso stretto, posta a quote massime di circa 2,5 m, risulta attualmente composta da sedimenti prevalentemente palustri passanti verso mare a depositi di cordone. Questi ultimi risultano disposti circa parallelamente alla linea

di costa attuale (Figura 6). Risulta essere invece quasi sconosciuta la stratigrafia del sottosuolo della pianura costiera.

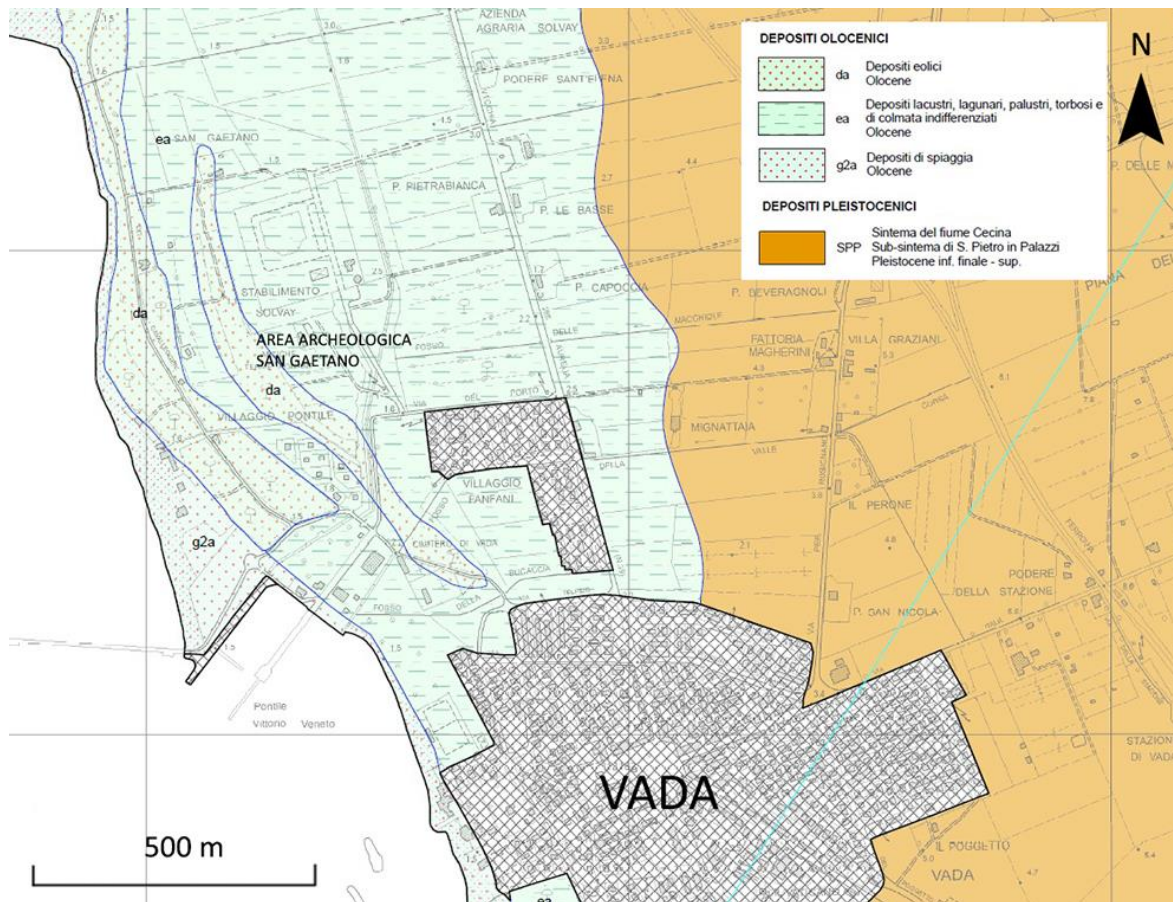


Figura 6 Stralcio di carta geologica regionale della Toscana comprendente l'area immediatamente a nord dell'abitato di Vada (leggermente modificata da Moratti, 2005).

2.1.3 Cenni di tettonica quaternaria

Il Bacino di Castiglioncello-San Vincenzo è percorso da una struttura tettonica principale con associato un sistema di faglie secondarie che interessa i sedimenti costieri del Pleistocene inferiore (Boschian *et al.*, 2006). La faglia diretta principale, cartografata in direzione NO-SE da Bartoletti *et al.* (1986) passa al di sotto delle alluvioni del F. Fine, estendendosi per circa 10 km fino a raggiungere la Val di Cecina a sud. Tale faglia è considerata da Bossio *et al.* (1993) una delle principali cause dello sprofondamento tettonico del Bacino di Castiglioncello-San Vincenzo. Il sistema di faglie interessa i Conglomerati di Villa Magrini nei pressi di Rosignano Marittimo e i Calcari di Montescudaio. I sedimenti del Pleistocene inferiore posti al centro del bacino sedimentario sono coperti dalle successioni più recenti, non interessate dal sistema di faglie.

Lo sprofondamento del bacino santerriano di Castiglioncello-San Vincenzo termina al culmine dell'Emiliano. Una successiva fase di sollevamento dà luogo ad un trend regressivo e alla precedentemente descritta fase erosiva post-Montescudaio (si vedano il *Paragrafo 2.1.2* e la *Figura 4*).

Data l'origine del bacino sopra descritto, lo spessore dei sedimenti ottenuto tramite sondaggi nei pressi di Vada può indicare, in maniera approssimativa, il rigetto delle faglie poste in zona marginale che l'hanno generato, senza tener conto della successiva diminuzione dello spessore del pacco di strati dovuta alla compattazione (Boschian *et al.*, 2006).

2.2 Aspetti geomorfologici

Come descritto nel *Paragrafo 2.1*, la pianura costiera di Vada è inclusa nella Pianura di Rosignano-Donoratico, entro il bacino sedimentario di Castiglioncello-San Vincenzo. Essa mostra una porzione prossimale terrazzata pleistocenica (Terrazzo I e Terrazzo II) ed una distale pianeggiante composta da depositi recenti (*Figura 6*). Quest'ultima è alimentata, tramite correnti di *longshore*, da due corsi d'acqua principali, il Fiume Fine e il Fiume Cecina (*Figura 7*), e da una rete di corsi d'acqua minori, allineati perpendicolarmente all'andamento della costa.

Il Fiume Fine nasce dall'omonimo gruppo collinare. La sua valle, a monte, è orientata in direzione N-S ed è bordata dai Monti Livornesi, a ovest, e dai Monti di Castellina Marittima ad est. Nel tratto finale, la valle del Fine assume un andamento perpendicolare alla linea di riva, per poi sfociare 2 km a sud dell'abitato di Rosignano Marittimo.

Il Fiume Cecina nasce dalla confluenza di due rami originati all'interno del gruppo montuoso dei Colli Metalliferi; la loro congiunzione si trova nei pressi di Ponteginori (PI). La valle è orientata prevalentemente E-O fino alla foce, situata in località Marina di Cecina.

Entrambi i corsi d'acqua hanno un regime torrentizio e sono provvisti di foci con morfologia a estuario.

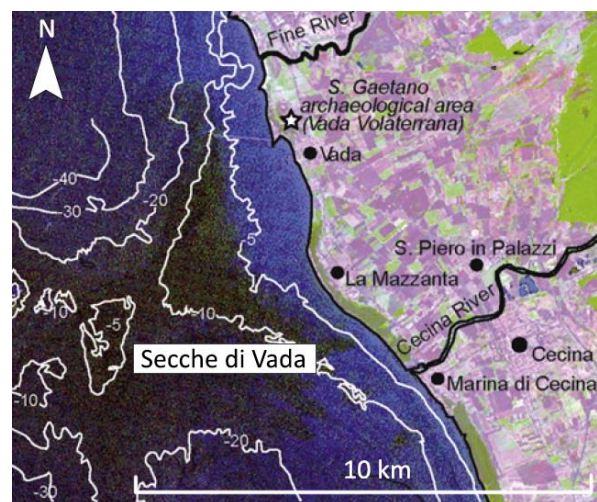


Figura 7 Panoramica del tratto di costa compreso tra i Fiumi Fine e Cecina; le isobate mostrano la morfologia delle Secche di Vada pochi km al largo di La Mazzanta (leggermente modificata da Benvenuti *et al.*, 2008).

Frontalmente al tratto di costa compreso tra Vada e la foce del Fiume Cecina, le curve batimetriche mettono in evidenza un rialzo del fondale che si eleva di circa 5 metri rispetto all'area circostante, la cui profondità è pari a 10 m (*Figura 7*). Si tratta di un alto strutturale noto come *Secche di Vada*, in cui le sottostanti unità Liguridi sono in contatto diretto con i depositi quaternari. Tale particolare conformazione del fondale, che favorisce la rifrazione delle onde, è posta all'origine della morfologia costiera con andamento a cuspidi del tratto

compreso tra Vada, a nord, e Cecina, a sud (località Mazzanta in *Figura 7*; Aiello *et al.*, 1981; Benvenuti *et al.*, 2008).

Il litorale compreso tra lo stabilimento *Solvay* di Rosignano, in località San Gaetano (*Figura 8 A*), e la località Punta del Tesorino (*Figura 8 B*) è costituito da una costa sabbiosa in erosione, ad eccezione del tratto immediatamente a nord del pontile Vittorio Veneto (*Figura 8 A*), che risulta in accrescimento. A sud di Punta del Tesorino, la costa sabbiosa risulta sottoposta a forte erosione (Marcellini, 2008)

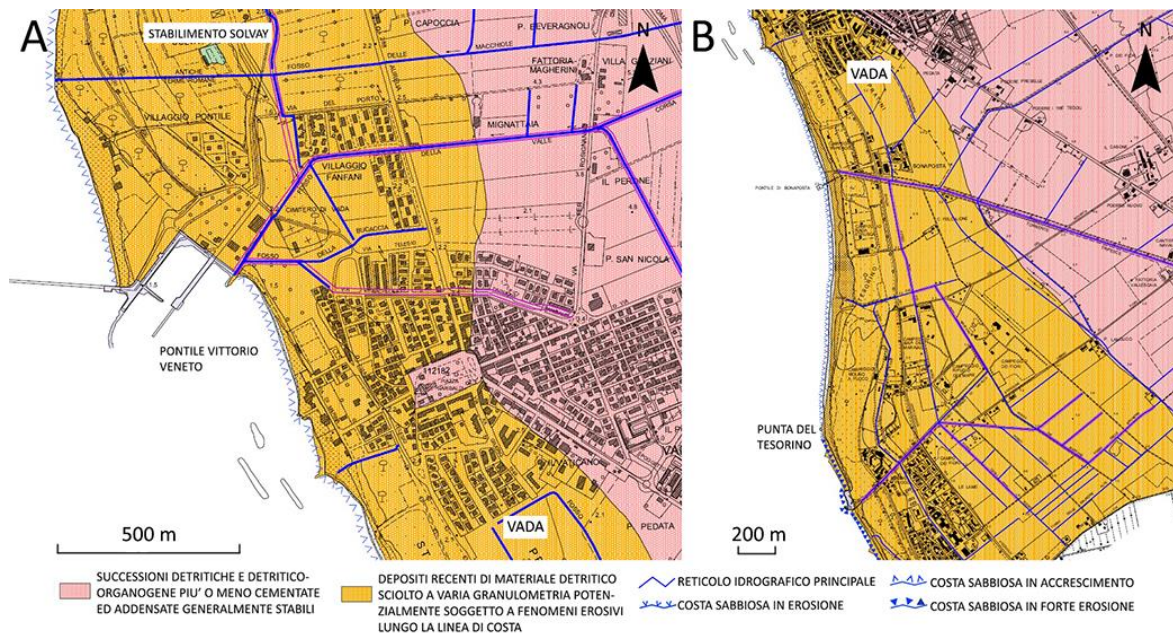


Figura 8 Stralci di carta geomorfologica (leggermente modificato da Marcellini, 2008) mostranti la conformazione e i rischi costieri A) nella zona compresa tra lo Stabilimento Solvay di San Gaetano e Vada; B) nella zona meridionale della piana costiera di Vada, tra il centro abitato e Punta del Tesorino.

La zona litoranea di Vada pare abbia subito, in tempi storici, variazioni di lieve entità in assenza di una forzante antropica, probabilmente a causa dei modesti apporti sedimentari dei fiumi Fine e Cecina unitamente alla protezione operata dalle *Secche di Vada*. Sia i relitti recuperati lungo la costa sia i siti archeologici riferibili al I sec. a.C.-I sec. d.C. posti sui cordoni affioranti (*Figura 6*) forniscono prove di una certa stabilità della zona costiera (Pranzini, 1985). Tuttavia, a partire dal 1920, la presenza dello stabilimento Solvay ha influenzato la morfologia costiera (Pasquinucci & Mazzanti, 1987) a causa dello scarico a mare di circa 300.000 tonnellate annue di reflui fangosi ricchi in carbonato di calcio e solfati di calcio e magnesio. Gli scarichi hanno contribuito alla formazione dei depositi di Spiagge Bianche, nei pressi della foce del Fiume Fine, provocando inoltre modifiche all'intero ecosistema costiero a causa del conseguente intorpidimento delle acque (Cheli & Luzzati, 2010).

2.3 Aspetti storici e geoarcheologici dell'area di Vada

L'attuale abitato di Vada si estende parzialmente al di sopra dell'antica località che costituiva una delle più importanti aree portuali di età etrusca e romana: si tratta

dell'antico porto della città di *Velathri* o *Volaterrae* (oggi Volterra), noto con il toponimo latino *Vada Volaterrana*.

Le attuali Pisa e Volterra, a partire dal VI fino al II sec. a.C., costituivano infatti le due maggiori città dell'Etruria nord-occidentale. Il limite tra i due territori era rappresentato dal Fiume Fine, il cui toponimo (dal latino *finis, finis*: confine) si riferisce al suo ruolo di confine tra le due aree. *Pisae* e *Volaterrae* furono annesse all'Impero Romano nel corso del III sec. a.C. e a partire dal 42 a.C. i loro territori furono sottoposti a centuriazione. Tra il 252 e il 241 a.C. è stata inoltre costruita la via Aurelia *vetus*, che collegava Roma a Pisa e, nel II sec. a.C., la viabilità terrestre è stata implementata con la costruzione della via Aurelia *nova* (Pasquinucci, 2014). Secondo Pasquinucci e Menchelli (2010), la colonizzazione romana ha condotto le città ad una forte crescita economica sia dal punto di vista delle coltivazioni e delle produzioni manifatturiere, sia per quanto riguarda i commerci, grazie anche ad importanti strutture portuali: *Portus Pisanus*, ubicato immediatamente a nord dell'attuale porto di Livorno (Kaniewski *et al.*, 2018), e il porto di *Vada Volaterrana*. La costa toscana era, infatti, fin dall'età etrusca, costellata di porti e approdi, spesso forniti di protezioni naturali, mentre nell'entroterra si trovavano centri di produzione di materiale, insediamenti e campagne (Pasquinucci *et al.*, 2012).

Lo sfruttamento delle morfologie (coste basse sabbiose e baie/lagune) del litorale toscano come approdi era un'usanza molto diffusa in epoca etrusco-romana, almeno fino al III sec. a.C., quando si diffuse l'uso dell'*opus caementicium*, il quale permise la costruzione di strutture portuali artificiali nei secoli seguenti.

L'insediamento in fascia costiera e il successivo sfruttamento delle risorse inizia però prima nell'area della pianura di Vada. I primi ritrovamenti pre-romani risalgono al IX sec. a.C. e sono rappresentati da un villaggio di capanne impostate su dune costiere, successivamente abbandonate (Pasquinucci, 2013).

Tra la foce del Fiume Fine e San Gaetano di Vada è stato rinvenuto un insediamento dell'Età del Ferro (del XIII sec. a.C.) specializzato nella pratica del *briquetage* e nello scambio commerciale del sale così ottenuto. Tale pratica, molto diffusa, consisteva nell'ottenere sale mediante ebollizione di acqua salmastra convogliata all'interno di grandi contenitori ceramici di produzione locale (*briquetage*), che venivano frantumati per recuperare la risorsa. Rutilio Namaziano (*De redivu*, V sec. d.C.) descrive tali saline come scavate nel terreno e collegate al mare tramite una serie di canalette situate a *Vada Volaterrana* e utilizzate nel V sec. d.C. Le saline di Vada sono state sfruttate dai pisani fino al XI sec. d.C. (Pasquinucci, 2013).

Come riporta Pasquinucci (2013), il porto di *Vada Volaterrana* è menzionato non solo nel *De redivu* ma anche all'interno di uno scritto di Cicerone databile all'82 a.C. e nell'*Itinerarium Maritimum I* (VI sec. d.C.), che lo classifica come *portus*, ovvero un luogo protetto naturalmente e/o artificialmente atto ad accogliere le navi per svernare, in contrapposizione con i termini *positio navium*, *fluvius* e *plagia*, utilizzati per indicare aree di attracco prive di una precisa importanza strategica e commerciale. Le fonti antiche collocano il *portus* a 25 *milia* a nord di Populonia e 18 *milia* a sud dell'antico *Portus Pisanus*. Sulla base dei rinvenimenti subacquei e dei reperti, è stato possibile ipotizzare che l'antico porto si trovasse in corrispondenza dell'attuale pontile della Società Solvay Chimica situato di fronte all'attuale Vada, circa 500 m a SO del sito archeologico di San Gaetano (Pasquinucci *et al.*, 2003) (*Figura 1 B*). Tuttavia, non esistono dati geologici e

geoarcheologici a sostegno di questa ipotesi. Per quanto riguarda la configurazione del *portus*, il poeta Rutilio Namaziano descrive un esteso sistema di secche che si trovava a protezione dell'area portuale (*De reditu*, V sec. d.C.). Tale morfologia dà il nome al toponimo di Vada, in quanto *vadum*, *vadī* (pl. *vada*) è la dicitura latina che indica una porzione di fondale marino a bassa profondità (Pasquinucci, 2014).

Nella zona di San Gaetano (*Figura 1 B*, *Figura 6*) gli scavi archeologici hanno portato alla luce un articolato quartiere retroportuale poggiante su sabbie di cordone ed in uso dal I sec. a.C. fino all'epoca Tardo-antica (fine del VI-inizio del VII sec. d.C.) (Pasquinucci, 2013).

Come riportato da Pasquinucci (2013), nel territorio dell'area archeologica di San Gaetano si trovano i resti di una serie di edifici afferenti ad un unico progetto (*Figura 9*): si tratta di un quartiere comprendente due *thermae* (A e D in *Figura 9*), un *horreum* (B), magazzino tipicamente localizzato in aree portuali atto allo stoccaggio delle merci, un'aula (C) in pessimo stato di conservazione, una fontana (E), una *schola* (F), sede del *collegium* dei *dendropori*, l'associazione professionale dei commercianti di legname, un edificio triabsidato (G) e un grande complesso provvisto di taniche e essiccatoio (H).

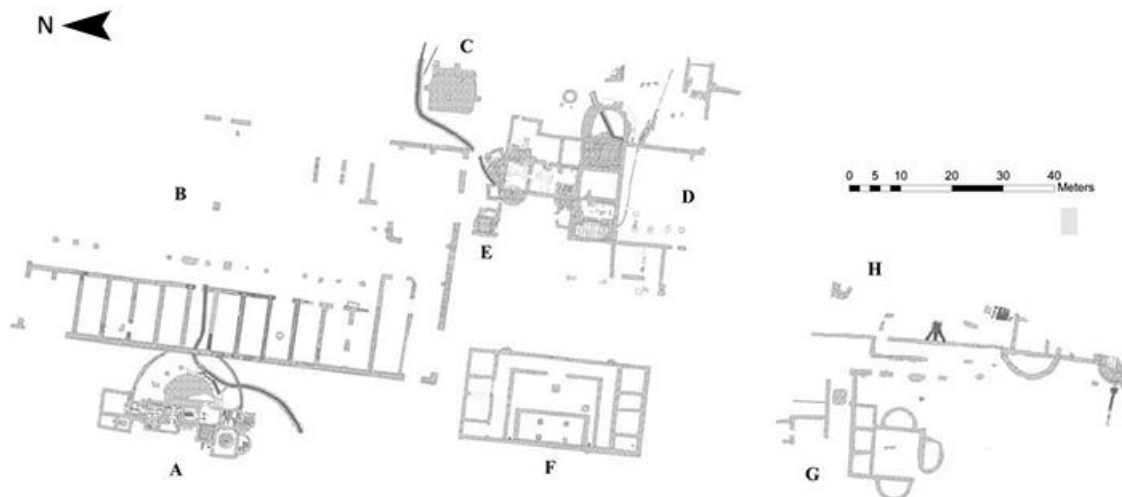


Figura 9 Quartiere retroportuale risalente al I sec. a. C. nell'area di San Gaetano. A e D) *Thermae*; B) *horreum*; C) *aula*; E) fontana; F) *schola*; G) edificio triabsidato; H) complesso provvisto di taniche e essiccatoio (leggermente modificata da Pasquinucci, 2013).

Il complesso di edifici era attraversato da un asse stradale che, da Est, portava all'ingresso dell'edificio termale principale, per poi giungere nei pressi dei magazzini. All'interno dell'*horreum* sono stati rinvenuti reperti provenienti dalle aree romanizzate circostanti, quali Gallia, penisola Iberica e Africa; inoltre, sono stati rinvenuti beni provenienti dall'Oriente. Ciò testimonia come il porto di *Vada Volaterrana* fosse importante per la distribuzione delle merci prodotte nell'entroterra (vino, vasellame ceramico, laterizi, legname, sale) e per la redistribuzione nell'area centrale dell'attuale Toscana delle merci provenienti dalle zone collegate tramite le principali rotte marittime. I porti di *Vada Volaterrana* e *Portus Pisanus* risultano attivi fino al VI-VII sec. d.C., quando avviene la conquista longobarda della Liguria da parte di Rotari (643 d. C.) (Pasquinucci, 2013).

3. MATERIALI E METODI

Il presente lavoro di tesi è parte di un progetto interdisciplinare e di carattere geoarcheologico sviluppato dall'Università di Pisa (DST) sull'area costiera circostante il sito etrusco-romano di Vada Volaterrana (*Paragrafo 2.3; Figura 10*) e svolto in collaborazione con l'Università di Bologna (BiGeA). Il materiale utilizzato per lo svolgimento della ricerca è dunque proveniente da molteplici fonti, le quali sono di seguito enunciate insieme alle analisi e al procedimento seguito al fine di ricostruire le principali fasi evolutive della pianura costiera di Vada.

3.1 Realizzazione del progetto QGIS, digitalizzazione delle stratigrafie dei sondaggi acquisiti e scelta del sondaggio di riferimento

Il gruppo di ricerca di Geomorfologia del Dipartimento di Scienze della Terra (DST) dell'Università di Pisa ha realizzato nel 2013 quattro sondaggi, di seguito denominati VADA 1-4, nell'area del sito archeologico di San Gaetano di Vada (LI) e nelle sue immediate vicinanze (*Figura 10*). I sondaggi, profondi circa 7-8 metri, sono stati eseguiti mediante una tecnica di perforazione a percussione con *vibracorer*, equipaggiato con carotieri di 5 cm di diametro. Lo strumento, comunemente usato in contesti geoarcheologici (Amorosi *et al.*, 2013; Kaniewski *et al.*, 2018), è in dotazione al DST di Pisa (*Vibracorer Atlas Copco – Cobra model*).

Per ricostruire la stratigrafia della zona sono stati utilizzati i quattro sondaggi, VADA 1-4, le cui coordinate sono riportate in *Tabella 1*.

Tabella 1 Coordinate e quote dei sondaggi VADA 1-4 e loro relazione con l'area archeologica di San Gaetano (quote da LiDAR estrapolate da Geoscopio regione Toscana)

	Sondaggi esterni al sito archeologico		Sondaggi interni al sito archeologico	
	VADA 1	VADA 3	VADA 2	VADA 4
Latitudine (°)	43°21'27.06"N	43°21'33.72"N	43°21'34.06"N	43°21'33.13"N
Longitudine (°)	10°27'0.08"E	10°26'47.11"E	10°26'50.01"E	10°26'54.27"E
Quota (m)	0,7	1,6	1,5	1,4

La posizione dei sondaggi è stata inserita dalla scrivente in un progetto cartografico mediante il *software QGIS*. Il progetto è stato realizzato con il sistema di riferimento WGS84 (Roma Monte Mario 1) e come base sono state inserite le *ortofoto* della regione Toscana acquisite tra il 2013 e il 2016 e reperibili sul portale *GEOscopio* tramite il servizio *WMS* (<http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio-wms>). Alle *ortofoto* sono stati sovrapposti, oltre alle coordinate dei quattro sondaggi VADA, le seguenti *feature*, in formato *.kmz*: il perimetro dell'area archeologica di San Gaetano e le aree adiacenti in cui sono stati effettuati scavi archeologici. Sono stati inoltre evidenziati con linee continue i limiti dei cordoni litorali affioranti, dove visibili da *ortofoto*, su cui si è in parte impostato l'antico abitato di *Vada Volaterrana*.



Figura 10 Mappa dell'area di studio sulla quale sono evidenziate le posizioni dei quattro sondaggi VADA rispetto all'Area Archeologica San Gaetano e i limiti dei cordoni affioranti.

Il gruppo di ricerca di Geomorfologia del DST ha quindi fornito i dati, le descrizioni di terreno della successione carotata, le fotografie delle carote di sedimento e i campioni di sedimento prelevati dalle carote stesse e utilizzati in questa tesi.

La descrizione dei sondaggi effettuata in campagna e la documentazione fotografica degli stessi sono stati utilizzati in sede di tesi per la realizzazione, in formato digitale tramite un *software* di grafica, dei log stratigrafici di Vada 1-4. Nel report di campagna erano state annotate dagli operatori tutte le caratteristiche sedimentologiche deducibili da un'analisi visiva di dettaglio della successione carotata (granulometria media, colore e presenza di elementi accessori quali elementi vegetazionali, carboncini, gusci), unitamente all'elenco dei campioni prelevati. Il campionamento è stato eseguito con un passo di campionamento coerente con l'intento di svolgere un'analisi di facies ad alta risoluzione, con una media di 2-3 campioni per metro, assicurandosi di campionare ogni litofacies visibile sul terreno.

In seguito alla realizzazione dei log stratigrafici, è stato scelto come sondaggio di riferimento per questo lavoro di tesi VADA 1 sulla base dei criteri di seguito elencati:

- l'ubicazione del sondaggio, in quanto localizzato fuori dal sito archeologico (Figura 10) e quindi solo marginalmente interessato da intensa antropizzazione; quest'ultima potrebbe infatti oscurare, soprattutto nei primi metri di sottosuolo, il segnale di facies utile per la ricostruzione dell'evoluzione della linea di costa e della pianura retrostante;
- la buona qualità (basso grado di disturbo) e l'elevata percentuale di recupero del materiale prelevato dal carotiere;
- un'elevata variabilità di litofacies, apprezzabile già da un'analisi visiva del sondaggio, e la presenza di spesse successioni argilloso-limose, solitamente contenenti un'abbondante meiofauna autoctona.

Tutte queste caratteristiche rendono dunque il sondaggio VADA 1 il migliore per un'analisi di facies di dettaglio del primo sottosuolo (8 metri) dell'area in esame. Tale analisi è stata effettuata tramite l'integrazione dei dati sedimentologici e del contenuto in meiofauna (si vedano i *Paragrafi 3.2 e 3.3*).

3.2 Analisi dei campioni e del contenuto in meiofauna del sondaggio VADA 1

Dal sondaggio di riferimento VADA 1 sono stati prelevati 19 campioni di sedimento. Tali campioni sono stati forniti dal DST di Pisa già suddivisi in 7 frazioni corrispondenti alle seguenti classi granulometriche, adattate secondo Wentworth (1922):

- <0,063 mm (Argilla e Limo);
- 0,063-0,079 mm (Sabbia molto fine, intervallo inf.);
- 0,079-0,125 mm (Sabbia molto fine, intervallo sup.);
- 0,125-0,250 mm (Sabbia fine);
- 0,250-0,500 mm (Sabbia media);
- 0,500-1,000 mm (Sabbia grossolana);
- >1,000 mm (Sabbia molto grossolana e Ghiaia).

Nel corso del lavoro di tesi sono state pesate le frazioni di ogni campione tramite bilancia di precisione e, successivamente, ogni frazione è stata descritta con l'ausilio di uno stereoscopio annotando i seguenti elementi:

- colore generale del sedimento;
- presenza di eventuali gusci e frammenti di gusci di molluschi (gasteropodi e bivalvi) e, dove possibile, individuazione del gruppo di appartenenza degli esemplari;
- presenza di resti vegetali e loro tipologia (ad esempio frammenti di legno, filamenti vegetali);
- quantità stimata di gusci di foraminiferi bentonici e ostracodi rispetto al sedimento totale e stato di conservazione generale degli esemplari;
- eventuali peculiarità (ad esempio presenza di materiale di origine antropica).

La descrizione di ogni campione è riportata in appendice, così come la tabella relativa ai pesi di ogni frazione granulometrica (*Appendice A* ed *Appendice B*, rispettivamente).

I campioni di VADA 1 sono stati successivamente utilizzati per condurre una analisi del contenuto in foraminiferi bentonici e ostracodi (meiofauna) al fine di integrare le osservazioni sedimentologiche per poter risalire all'evoluzione paleoambientale della zona di studio, grazie alle caratteristiche autoecologiche delle specie osservate.

Date le dimensioni dei gusci di foraminiferi bentonici ed ostracodi è stata presa in considerazione unicamente la frazione granulometrica compresa tra 0,125 mm e 1 mm al fine di concentrare gli individui adulti, seguendo la metodologia adottata in studi similari effettuati in altre aree di pianura costiera (Rossi *et al.*, 2017; Barbieri & Vaiani, 2018). Per ogni campione si è deciso di unire le tre classi granulometriche interessate e sulla frazione risultante operare la quartatura².

² Procedimento atto a ottenere una frazione statisticamente rappresentativa del campione sulla quale verrà poi condotta l'analisi. Nella maggior parte dei casi si è operata la quartatura fino ad ottenere 1/8 del sedimento compreso tra 0,125 mm e 1 mm. Per alcuni campioni molto abbondanti si è ritenuto opportuno quartare fino alla frazione di 1/16 (si veda l'*Appendice B* per maggiori dettagli).

Ottenuta la porzione quartata, si è proceduto all'analisi della meiofauna scegliendo di operare uno studio quantitativo sui foraminiferi bentonici e qualitativo sugli ostracodi, in quanto quest'ultimi sono risultati essere, già da una prima osservazione dei campioni, più scarsi in termini di numero. Nello specifico l'analisi della meiofauna di VADA 1 è stata condotta come descritto in seguito:

- foraminiferi bentonici: il contenuto di foraminiferi bentonici è stato analizzato in modo quantitativo per ognuno dei 19 campioni disponibili. All'interno della frazione di campione ottenuta tramite quartatura sono stati individuati e contati usando uno stereoscopio un minimo di 300 gusci autoctoni ovvero gusci ben preservati la cui natura (porcellanacea, ialina o agglutinante) e le cui caratteristiche tassonomiche specifiche sono ben evidenti. Le osservazioni tassonomiche sui foraminiferi bentonici sono state condotte sulla base di numerose fonti bibliografiche e elettroniche relative principalmente all'area del Mediterraneo³. Ogni individuo è stato classificato secondo la specie di appartenenza e, dove non è stato possibile risalire alla specie, secondo il genere.

Ogni campione presenta, oltre alla fauna autoctona, una serie di individui evidentemente risedimentati/trasportati, in quanto mostranti segni di abrasione o parzialmente rotti. Tali esemplari sono stati classificati e descritti (*Appendice A*), in quanto forniscono informazioni utili a completare le ricostruzioni paleoambientali alle quali si vuole giungere tramite questo lavoro, ma non sono stati inseriti nel conteggio. Eventuali foraminiferi planctonici, sempre appartenenti al materiale alloctono, non sono stati classificati su base tassonomica ma è stato mantenuto unicamente il riferimento al gruppo di appartenenza;

- ostracodi: l'ostracofauna dei 19 campioni è stata analizzata in modo qualitativo mediante l'osservazione delle specie presenti, il loro stato di preservazione (valve autoctone *versus* valve alloctone) e la distinzione delle specie autoctone in dominanti *versus* secondarie. La classificazione tassonomica è stata svolta sulla base dei lavori di Bonaduce *et al.* (1975) e Athersuch *et al.* (1989). Tali osservazioni sono state svolte all'interno della porzione di sedimento contenente i foraminiferi bentonici conteggiati. Analogamente a quanto svolto per la fauna a foraminiferi, sono state osservate e descritte anche le valve di ostracodi con evidenti segni di rimaneggiamento e risedimentazione/trasporto (ad esempio valve parzialmente rotte o annerite).

La tabella di conteggio per la fauna a foraminiferi bentonici è riportata in appendice (*Appendice C*); le specie/*taxa* dominanti *versus* secondarie dell'ostracofauna sono riportate in un grafico, mentre l'elenco dell'ostracofauna trasportata, dove presente, è riportato in *Appendice A*.

3.2.1 Analisi della composizione della fauna a foraminiferi bentonici

Tenendo in considerazione il peso totale di ogni campione e il peso della porzione contata è stato possibile calcolare l'abbondanza dei foraminiferi riferita ad 1 grammo di sedimento

³ Ellis & Messina (1940); Jorissen (1988); Albani & Serandrei Barbero (1990); Sgarrella & Moncharmont Zei (1993); Fiorini & Vaiani (2001); Milker & Schmiedl (2012); <http://www.marinespecies.org/>.

(numero di individui/1 grammo). I valori di abbondanza sono stati riportati all'interno di una curva.

La matrice di conteggio è stata inoltre analizzata tramite il programma *Past*⁴, specifico per analisi statistiche di dati paleoecologici, al fine di quantificare la diversità interspecifica in ogni campione ed evidenziare eventuali *trend* entro la successione stratigrafica. Il *software* ha fornito i seguenti indici statistici utili a caratterizzare la biodiversità: i) *S* (*species diversity*), indica il numero di specie presenti in ogni campione; ii) *D* (*dominance*), che varia tra 0, quando tutti i *taxa* risultano equamente rappresentati, e 1, quando è presente un unico *taxon*; iii) *H* (*Shannon-Weaver index*), che assume valori più elevati laddove l'entropia del dataset risulta alta (Shannon, 1948); iv) α (Fisher's alpha), un indice di diversità che si basa sulla stima di quanto la distribuzione dei *taxa* segue una serie logaritmica (Fisher *et al.*, 1943).

Le informazioni quantitative ottenute tramite il conteggio degli individui autoctoni sono state inoltre utilizzate per realizzare una serie di curve di frequenza relativa delle specie identificate. Insieme alle informazioni fornite dagli individui alloctoni, tali curve integrano il dato sedimentologico mostrato nel log stratigrafico, al fine di stabilire le associazioni di *facies* deposizionali di ciascun tratto del sondaggio VADA 1 (si veda il *Paragrafo 3.3*).

Per ogni specie è stata perciò calcolata in *Excel* la sua percentuale relativa in ogni campione ed è stata prodotta la curva di frequenza tramite un *software* di grafica. Le specie presenti in sporadici campioni (al massimo 6) con percentuali inferiori a 2-3% sono state successivamente raggruppate in un'unica curva, poiché rare ed aventi le medesime caratteristiche autoecologiche. Similmente, le specie appartenenti allo stesso genere ed aventi medesima ecologia sono state unite in un'unica curva di frequenza, al fine di rendere il *dataset* meno dispersivo ed evidenziare maggiormente il segnale paleoambientale. I parametri ecologici tenuti in considerazione per la creazione dei gruppi e delle relative curve sono stati desunti da una serie di lavori di riferimento (si veda la nota 3, *Paragrafo 3.2*) ed includono:

- la zona del dominio bentonico tipicamente occupata dai diversi *taxa* in ambiente Mediterraneo (*Tabella 2*);
- la loro modalità di vita in relazione al tipo di substrato, con particolare attenzione al raggruppamento delle specie epifite;
- tolleranza a variazioni di salinità, quantità di materia organica ed ossigenazione al fondo.

Tabella 2 Zone del dominio bentonico e corrispondenti profondità in Mediterraneo (Sgarrella & Moncharmont Zei, 1993).

Zona del dominio bentonico	Intervallo di profondità (m s.l.m.)
Infralitorale (piattaforma interna)	0-40/50
Circalitorale (piattaforma intermedia-esterna)	40/50-80/100 (superiore); 80/100-150/200 (inferiore)
Batiale	> 150/200

⁴ https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

3.2.2 Osservazioni al microscopio elettronico a scansione (SEM)

A completamento del lavoro tassonomico effettuato allo stereoscopio sulla meiofauna autoctona, sono stati osservati e fotografati al microscopio elettronico a scansione (*SEM – Scanning Electron Microscope*) le specie più comuni nel sondaggio VADA 1 e le specie che sono risultate essere di dubbia attribuzione ad una prima analisi. Successivamente è stata realizzata una serie di tavole fotografiche raffiguranti gli esemplari (*Appendice D*).

I campioni per il SEM sono stati preparati durante lo sviluppo della presente tesi. La preparazione dei campioni per il microscopio elettronico a scansione consiste nel fissaggio degli esemplari selezionati su un supporto cilindrico (*stub*) mediante nastro biadesivo. Completato lo *stub*, il cilindro è posto all'interno di un metallizzatore (*Figura 11 A*) modello BIORAD SC 502 nel quale viene creato il vuoto. Successivamente viene inserito argon all'interno della campana del metallizzatore e, al suo interno, viene applicata una differenza di potenziale tra la base e il tetto (20 kV). L'argon viene poi ionizzato e gli ioni Ar⁺, impattando su una piastra d'oro posta alla sommità della campana, causano un distacco di atomi di oro, che, condotti dalla differenza di potenziale precedentemente applicata, rivestono la superficie dello *stub* e, quindi, ricoprono gli esemplari selezionati. Il tempo di metallizzazione utilizzato in questo caso è pari a 75 s. Tale patina conduttiva fa sì che il fascio di elettroni del microscopio interagisca con la superficie dei gusci e restituisca il dato sotto forma di immagine in bianco e nero.

L'operazione di metallizzazione è stata svolta, insieme all'acquisizione delle immagini, dalla dott.ssa Randi (BiGeA). Le fotografie sono state acquisite in formato *.tif* utilizzando il *SEM Jeol JSM-5200* (*Figura 11 B*) situato presso la sede del dipartimento BiGeA dell'Università di Bologna di via Selmi, 3.



Figura 11 A) Metallizzatore BIORAD SC 502 utilizzato per preparare i campioni; *B)* SEM Jeol JSM-5200. A sinistra è posizionata la colonna all'interno della quale sono inseriti i campioni; a destra è visibile la postazione di lavoro.

Al termine di tre sessioni di lavoro al SEM sono state acquisite 42 immagini relative a foraminiferi bentonici e 8 immagini di ostracodi. Per la realizzazione delle tavole e l'*editing* delle singole fotografie acquisite è stato utilizzato un *software* di grafica.

3.3 Identificazione delle associazioni di facies ed inquadramento cronologico

Il processo di identificazione e interpretazione, in termini paleoambientali, delle associazioni di facies che caratterizzano il primo sottosuolo (8 metri) dell'area di studio è basato sull'integrazione del dato sedimentologico, disponibile per i quattro sondaggi VADA, con il dato meiofaunistico, laddove disponibile. Il lavoro svolto, in sede di tesi, sul contenuto in meiofauna del sondaggio di riferimento VADA 1 si è rivelato fondamentale per la realizzazione di una analisi di facies ad alta risoluzione atta a ricostruire l'evoluzione paleoambientale dell'area di studio. In particolare, l'analisi della meiofauna ha fornito indicazioni chiave per la ricostruzione della salinità, del grado di confinamento e della profondità degli ambienti deposizionali succedutisi nel sottosuolo in esame.

Ulteriori informazioni utili all'identificazione delle facies in esame all'interno degli altri sondaggi sono state acquisite dall'analisi qualitativa della meiofauna del secondo sondaggio esterno al sito archeologico, ossia VADA 3, condotta dalla dott.ssa Rossi.

È stato fornito un inquadramento cronologico della successione in esame mediante due datazioni assolute, al radiocarbonio, effettuate presso il laboratorio CIRCE di Caserta, affiliato alla Seconda Università degli Studi di Napoli. Il materiale datato, presentato in *Tabella 3*, è stato prelevato in punti chiave della successione all'interno del sondaggio VADA 1.

Tabella 3 Materiale del sondaggio VADA 1 datato tramite radiocarbonio (dati CIRCE) e calibrati mediante il software *Calib*.

Sondaggio	N. campione	Profondità (m)	Materiale	Età convenzionale (anni b.p.) ($\pm 1\sigma$)	Dataset di calibrazione	Età calibrata (2σ)
VADA1	4	1,50-1,60	Carboncino	2576 \pm 20	INTCAL13.14c	2718-2751 BP
VADA1	9	3,50-3,55	Valva <i>Loripes</i>	5635 \pm 27	Marine/No. Hem	6194-6294 BP

Per ottenere le età calibrate dei materiali riportati in *Tabella 3* sono stati scelti *dataset* di calibrazione contenuti nel *software Calib* coerenti con l'origine del materiale stesso, in particolare:

- l'età calibrata del frammento di carboncino è stata ottenuta utilizzando il *dataset* di calibrazione *INTCAL13.14C*, adatto a materiale organico di origine terrestre (Reimer *et al.*, 2013);
- per la valva di *Loripes*, tipico bivalve di ambiente lagunare in Mediterraneo, è stato scelto il *dataset Marine/No. Hem* (Reimer *et al.*, 2013), adatto a calibrare materiale di natura mista, approssimata a 50% marina e 50% terrestre. Le età calibrate riportate in tabella non tengono in considerazione l'effetto riserva⁵, data l'impossibilità di reperire una correzione per tale effetto in un'area prossima a quella esaminata in sede di tesi.

⁵ L'effetto riserva è una problematica che riguarda la datazione al radiocarbonio di organismi marini, dovuta al disequilibrio tra il rapporto $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ atmosferico e quello delle acque oceaniche in un dato periodo temporale e in una specifica area.

L'età calibrata è riportata in tabella sotto forma di range temporale dato da uno scarto quadratico medio di 2σ .

3.4 Realizzazione della sezione stratigrafica e ricostruzione paleoambientale

Al fine di fornire un'interpretazione stratigrafica dell'evoluzione dei corpi deposizionali presenti nella porzione di sottosuolo in esame è stata realizzata una sezione passante per i quattro sondaggi oggetto di questa tesi. Una prima ricostruzione dell'evoluzione è stata condotta evidenziando i cambi principali di facies deposizionale e, quindi, di paleoambiente, riscontrati nell'area del sito archeologico di San Gaetano e nei dintorni di esso. Le informazioni così ottenute sono state successivamente confrontate con i dati e le fonti storiche a disposizione (*Paragrafo 2.3*)

Si è proseguito ipotizzando una relazione tra specifiche porzioni della stratigrafia presentata e l'effettiva presenza di un bacino portuale di origine, almeno in una prima fase della sua esistenza, naturale.

4. RISULTATI

4.1 Associazioni di facies

Nel primo sottosuolo (0-8 m) dell'area di San Gaetano di Vada sono state individuate otto associazioni di facies grazie ad un approccio integrato sedimentologico e micropaleontologico focalizzato sul contenuto in foraminiferi bentonici ed ostracodi. Tali associazioni sono di seguito descritte dal punto di vista delle caratteristiche litologiche e del contenuto in materiali accessori, sulla base delle informazioni fornite dal DST dell'Università di Pisa (descrizioni di campagna e report fotografici) per i sondaggi VADA 1-4 e, in particolare, delle osservazioni condotte in sede di tesi sui campioni di sedimento del sondaggio di riferimento VADA 1 (*Figura 12 e Figura 13; Appendici A e C*). Nelle facies corrispondenti ad ambiente marino o paralico è posta particolare attenzione alla descrizione del contenuto meiofaunistico, l'analisi del quale costituisce una parte importante del lavoro svolto: il presente lavoro di tesi ha infatti contemplato l'analisi quantitativa dei foraminiferi bentonici e qualitativa degli ostracodi presenti in VADA 1 (*Paragrafo 3.2; Appendici A-D*). A completamento dello studio di dettaglio effettuato su VADA 1 è stato preso in considerazione anche il dato meiofaunistico qualitativo fornito dalla Dott.ssa Rossi per 21 campioni del sondaggio VADA 3 (*Paragrafo 3.3*). Per ognuna delle otto associazioni è infine proposta un'interpretazione dell'ambiente deposizionale ad esse associato.

4.1.1 Spiaggia ghiaiosa (Sg)

Descrizione: sedimento costituito da sabbia grossolana e ghiaia fine in matrice sabbiosa fine di colore variabile tra grigio scuro e giallo ocraceo, privo di elementi accessori. Questa associazione è presente unicamente nel sondaggio VADA 1, dove mostra uno spessore di poco inferiore al metro e un andamento granulometrico *fining upward*.

Questa associazione di facies non presenta meiofauna autoctona; sono tuttavia presenti rari esemplari mal preservati, con guscio abraso e/o parzialmente rotto, di foraminiferi bentonici appartenenti a vari generi (e.g., *Ammonia*, *Elphidium* e *Criboelphidium*, *Cancriis*, *Haynesina*, *Lobatula*, *Textularia* e vari miliolidi).

Interpretazione: l'associazione di facies è stata attribuita ad un ambiente di spiaggia ghiaiosa, possibilmente battigia-spiaggia sommersa superiore, sulla base della granulometria del deposito e della presenza di foraminiferi marino-costieri trasportati. L'assenza di elementi accessori quali resti vegetali, gusci di molluschi e valve di ostracodi è compatibile con un ambiente deposizionale ad altissima energia, come la porzione superiore di una spiaggia.

4.1.2 Spiaggia sabbiosa (Ss)

Descrizione: sabbia fine di colore grigio chiaro, localmente screziata, caratterizzata dalla presenza di gusci di molluschi, sia interi (soprattutto bivalvi) che frammentati e, saltuariamente, da elementi più grossolani sparsi (i.e. ghiaia) e concrezioni carbonatiche; sono localmente presenti livelli millimetrici di concentrazione di materia organica.

Dove sono presenti foraminiferi autoctoni, essi sono piuttosto abbondanti e mostrano un'elevata diversità interspecifica; nello specifico in VADA 1 superano i 200 esemplari per

grammo e mostrano indici di diversità elevati (*Tabella 4*). Le specie autoctone sono dominate da *Ammonia gr. beccarii*, la cui abbondanza relativa raggiunge il 25%, e *Textularia* spp. (in particolare *T. aciculata* e *T. agglutinans*), che raggiunge circa il 15%. Anche il gruppo delle specie epifite, includendo gli *Elphidium*, raggiunge percentuali ragguardevoli (circa 15%); in particolare risultano dominanti *Elphidium crispum*, *Reussella spinulosa* e *Buccella granulata*. Con percentuali nettamente minori (inferiori al 10%) sono presenti numerosi altri *taxa*, fra i quali *Valvulineria bradyana*, *Bulimina* spp., *Fursenkoina* spp., i gruppi di *Criboelphidium*, i miliolidi e *Cancris auriculus*. Sono molto numerosi anche gli esemplari mal preservati (trasportati) di foraminiferi bentonici, che sono rappresentati principalmente da esemplari di grandi dimensioni della famiglia dei miliolidi (in particolare i generi *Adelosina* e *Quinqueloculina*) insieme ai *taxa* precedentemente citati (soprattutto *Ammonia gr. beccarii* e *Elphidium crispum*).

La meiofauna a ostracodi, che appare in generale piuttosto scarsa, vede come specie dominanti *Aurila convexa* e *Xestoleberis communis*, mentre compaiono secondariamente *Loxoconcha gr. rhomboidea*, *Cytheridea neapolitana*, *Hiltermannicythere turbida*, *Semicytherura incongruens*, *Pontocythere turbida* e *Cytheretta subradiosa*.

Tale associazione è presente in tutti i sondaggi ad esclusione di VADA 2, raggiungendo spessori di poco superiori al metro.

Interpretazione: l'associazione di facies sabbiosa sopra descritta è stata attribuita ad un ambiente di spiaggia sommersa, principalmente sulla base del segnale dato dalla litologia e dalla meiofauna autoctona. L'elevata diversità interspecifica, soprattutto fra i foraminiferi, e la dominanza di *taxa* marini tipici di ambienti marino-costieri con fondali sabbiosi (i.e. *Ammonia gr. beccarii* e *Textularia* spp.; *A. convexa*) sono forti indicatori di un ambiente di spiaggia sommersa, presumibilmente inferiore. A sostegno di questa ipotesi interpretativa le specie epifite ialine (gruppo di specie epifite compreso *Elphidium* e *X. communis*), indicative di un'elevata copertura vegetazionale al fondo, mostrano percentuali elevate, mentre sono poco rappresentati i *taxa* che prediligono ambienti più profondi (al di sotto del limite di azione delle onde) con fondali prevalentemente fangosi (e.g. *Bulimina* spp., *Valvulineria bradyana* e *Fursenkoina* spp.). La presenza di meiofauna trasportata, anch'essa principalmente costituita da specie tipiche della zona infralitorale-circalitorale superiore, è tipica di un ambiente di spiaggia; inoltre, gli esemplari non presentano forti segni di alterazione, segno che hanno subito un trasporto di lieve entità e che il processo non è avvenuto in un ambiente ad altissima energia.

4.1.3 Piattaforma interna (Pi)

Descrizione: sedimento fine di granulometria variabile da limo a argilla limosa e di colore grigio chiaro con frequenti screziature ocracee. Sono presenti gusci di molluschi perlopiù frammentati e, unicamente nel sondaggio VADA 3, è presente sabbia fine organizzata in livelli centimetrici con elementi ghiaiosi disseminati. L'associazione compare nei sondaggi esterni al sito archeologico, VADA 1 e 3 (*Figura 10*), con uno spessore massimo di 1,5 m in VADA 1.

I foraminiferi bentonici autoctoni sono ben rappresentati in questa associazione di facies, sebbene la loro abbondanza sia molto variabile, da una decina a un centinaio di esemplari per grammo secondo i conteggi effettuati su VADA 1.

I campioni appartenenti a questa associazione mostrano tutti un'elevata diversità interspecifica (*Tabella 4*) e un dominio delle specie appartenenti al genere *Textularia* (in particolare *T. aciculata* e *T. agglutinans*), con percentuali che variano fra 24-34%, e dei taxa marini infaunali quali *Valvulineria bradyana*, *Bulimina* spp. (principalmente *B. marginata*) e *Fursenkoina* sp. 1. (21-32%). È presente, inoltre, con percentuali leggermente inferiori, *Ammonia* gr. *beccarii* (dal 25 al 10%), mentre le specie epifite ialine (dominate da *Elphidium crispum*), il gruppo dei *Criboelphidium* e *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana* si attestano su frequenze relative inferiori al 10%. I miliolidi risultano praticamente assenti lungo tutta l'associazione, ad eccezione di rari esemplari di *Adelosina*, *Miliolinella* e *Siphonaperta*.

L'ostracofauna appare piuttosto scarsa ed è dominata dalle specie appartenenti al genere *Semicytherura*, da *Leptocythere multipunctata* e *Aurila convexa*. Secondariamente, sono presenti numerose altre specie fra le quali *Cytheridea neapolitana*, *Pterygocythereis* sp., *Palmoconcha turbida* e *Xestoleberis communis*.

Interpretazione: tale associazione di facies è stata attribuita ad un ambiente di piattaforma interna poco fluvio-influenzato, presumibilmente la sua porzione superiore, sulla base della litologia e, prevalentemente, del contenuto in meiofauna. L'elevata diversità interspecifica sia della fauna a foraminiferi sia della ostracofauna, unitamente alla co-dominanza di specie solitamente abbondanti in contesti marino-costieri (*Textularia* spp. e *Ammonia* gr. *beccarii*; *A. convexa*) e specie tipiche di fondali fangosi della zona infralitorale-circalitorale superiore (*Valvulineria bradyana*, *Bulimina marginata* e *Fursenkoina* sp. 1; *Semicytherura* spp. e *Leptocythere multipunctata*) denotano, infatti, una vicinanza con tali ambienti poco profondi.

4.1.4 Baia (B)

Descrizione: sedimento fine con granulometria variabile da argilla limosa a limo sabbioso, talvolta laminato e di colore da grigio chiaro a grigio scuro. Sono localmente presenti elementi ghiaiosi disseminati, livelli sabbiosi millimetrici, materia organica concentrata in orizzonti millimetrici, gusci e frammenti di gusci di molluschi (sia bivalvi che gasteropodi) e concrezioni carbonatiche. Sono presenti, inoltre, rare screziature ocracee. L'associazione di facies è stata riscontrata in tutti e quattro i sondaggi VADA con spessore variabile da un minimo di 60 cm (VADA 1) a un massimo di 2 m (VADA 3).

La meiofauna a foraminiferi bentonici è piuttosto abbondante (circa 60 foraminiferi per grammo in VADA 1) e mostra una elevata diversità interspecifica (*Tabella 4*). I gruppi dominanti sono *Ammonia* gr. *beccarii* (circa 23%), i taxa marini infaunali (circa 23%) che includono principalmente *Valvulineria bradyana*, *Bulimina* spp. e *Fursenkoina* spp. e, in tono minore, *Textularia* spp. (circa 16%). Le specie ialine epifite, dominate da *Elphidium crispum*, sono presenti anche se in percentuali nettamente inferiori ai taxa precedenti (<10%), così come i gruppi di *Criboelphidium* e *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*. Rara

(circa 1%) ma presente la specie *Haynesina germanica*, mentre risultano praticamente assenti i miliolidi, ad eccezione di rarissimi esemplari di *Adelosina*.

L'ostracofauna è piuttosto scarsa e dominata dalla specie *Cytheridea neapolitana*. Figurano, come *taxa* secondari, specie appartenenti al genere *Semicytherura*, *Cytheropteron* e *Cytherella*, oltre al *Leptocythere multipunctata*.

Interpretazione: l'associazione di facies sopra descritta è stata attribuita ad un ambiente costiero poco confinato quale una baia, sulla base delle caratteristiche sedimentologiche (litologia argilloso-limosa e presenza di laminazioni) e del contenuto in meiofauna. Infatti, sebbene siano dominanti *taxa* marino-costieri (*A. gr. beccarii*) e specie marine tipiche di fondali fangosi (*Valvulineria bradyana*, *Bulimina* spp. e *Fursenkoina* spp.), è estremamente informativa la presenza in percentuali ragguardevoli della specie eurialina per eccellenza fra i foraminiferi (i.e. *A. tepida*-*A. parkinsoniana*). Fra i *taxa* secondari è importante segnalare la co-presenza di *Textularia* spp., tipico dei fondali sabbiosi della zona infralitorale, e di *H. germanica*, specie dominante in ambienti confinati *sensu* Debenay & Guillou (2002) (i.e. grado di confinamento = tasso di scambio fra le acque marine e quelle del bacino costiero), ad indicare un ambiente costiero solo parzialmente protetto. Questa interpretazione è in accordo con la presenza di materiale grossolano probabilmente messo in posto dall'azione del moto ondoso e delle correnti litoranee. Un segnale paleoambientale concorde è dato dalla ostracofauna, in particolare dalla specie dominante (*C. neapolitana*), ritenuta tipica di fondali fangosi di mare basso.

4.1.5 Laguna (L)

Descrizione: sedimento molto fine, a granulometria argilloso-limosa, caratterizzato da un colore grigio che varia da scuro a molto scuro con rare e localizzate screziature ocracee. Il sedimento mostra frequenti laminazioni e sono abbondanti i gusci di molluschi (gasteropodi e bivalvi) interi e frammentati, con diverse morfologie: sono stati osservati sia gusci sottili e sprovvisti di ornamentazione, sia gusci caratterizzati da forte ornamentazione tra i quali il *Cerastoderma glaucum*. Il sedimento contiene abbondanti frustoli vegetali, mentre localmente sono presenti frammenti di carboncini e disseminazioni e orizzonti di materia organica decomposta. All'interno di questa facies sono stati prelevati il guscio di *Loripes* e il carboncino datati tramite radiocarbonio (*Paragrafo 3.3*).

La meiofauna risulta relativamente abbondante e diversificata (*Tabella 4*). I foraminiferi bentonici presentano un'abbondanza molto variabile, compresa tra un minimo di 18 e un massimo di 250 foraminiferi per grammo. Le specie meglio rappresentate sono quelle appartenenti al gruppo *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, che compaiono in tutti i campioni e raggiungono percentuali molto elevate (quasi sempre >20%) fino ad un massimo del 72%, e al gruppo dei miliolidi, dominato da *Triloculina* spp. e *Quinqueloculina* spp., le quali localmente superano il 40%. È secondaria la presenza di *A. gr. beccarii* e dei gruppi di *Criboelphidium* ed *Elphidium* (entrambi solitamente <5%), mentre risultano completamente assenti nella maggior parte di questa associazione le specie appartenenti ai generi *Bulimina*, *Fursenkoina*, *Textularia*, *Valvulineria* e altre specie marine *mud lover* (*C. carinata*, *C. pachyderma* e *N. turgida*). Si osservano due picchi localizzati rispettivamente

di *Planorbulina mediterraneensis* (inclusa nel gruppo “*Specie epifite ialine escluso genere Elphidium*”) e di *Haynesina germanica*.

L'ostracofauna, osservata qualitativamente, è piuttosto abbondante e risulta essere dominata quasi sempre da *Cyprideis torosa*; solo localmente il *C. torosa* è secondario in un'ostracofauna dominata dalle specie di *Xestoleberis* (*Xestoleberis communis*, *X. decipiens* e *X. dispar*). Compagno come specie accessorie, fra le altre, *Loxoconcha elliptica*, *Loxoconcha gibberosa*, *Loxoconcha stellifera*, *Heterocypris salina*, *Leptocythere lagunae* ed *Aurila arborescens*.

Tale associazione di facies compare unicamente nel sondaggio di riferimento VADA 1, dove raggiunge uno spessore pari a 2,40 m.

Interpretazione: sulla base delle caratteristiche sedimentologiche (litologia argilloso-limosa, colore scuro e presenza di resti vegetali e materia organica decomposta, laminazioni) e fossilifere, tale associazione di facies è stata attribuita ad un ambiente di *back-barrier* con un grado di confinamento (*sensu* Debenay & Guillou, 2002) medio. In particolare, la dominanza di specie eurialine quali *A. tepida*-*A. parkinsoniana* e *C. torosa*, indica chiaramente un ambiente lagunare. La presenza in percentuali ragguardevoli ma variabili di *taxa* caratteristici di zone marino-costiere (e.g. *A. gr. beccarii* e specie di *Triloculina* e *Quinqueloculina*) suggerisce una variazione nel grado di confinamento dell'ambiente lagunare fra momenti di maggiore e minore influenza marina; inoltre, la presenza localizzata in un solo intervallo di forme epifite ialine, forse trasportate, come la *Planorbulina mediterraneensis*, potrebbe suggerire la presenza di saltuari eventi di tempesta in laguna. Unica eccezione, un campione mostrante un picco in specie eurialine (*A. tepida*-*A. parkinsoniana*, *H. germanica* e *C. torosa*) e la presenza di ostracodi dulciacquicoli-oligoalini (*Heterocypris salina*), ad indicare un momento di maggior confinamento della laguna.

4.1.6 Cordone litorale (CI)

Descrizione: sedimento di colore variabile (grigio-ocraceo) costituito da granulometrie che spaziano da sabbia grossolana e ghiaietto in matrice sabbiosa fino a sabbia media. Localmente sono riscontrati livelli di ghiaia fine e ciottoli. Il deposito è interessato da diffusa presenza di frammenti di gusci levigati/abrasivi di molluschi marini e, localmente, da frustoli vegetali e materia organica. Risulta totalmente assente la meiofauna autoctona. Sono però presenti esemplari non in posto di foraminiferi bentonici marini con evidenti segni di trasporto. In particolare, nei campioni di VADA 1 di questa facies compaiono i seguenti *taxa* trasportati: *Ammonia beccarii* (in netta prevalenza), *Elphidium crispum*, miliolidi e raramente *Buccella granulata* e *Planorbulina mediterraneensis*. L'ostracofauna risulta totalmente assente.

Il corpo raggiunge uno spessore massimo di circa 2,5-3 m nei sondaggi VADA 2, 3 e 4, mentre risulta spesso solo 1 m e più fine come granulometria in VADA 1. Nei sondaggi interni al sito archeologico (2 e 4) sono stati riconosciuti, all'interno di questa associazione, reperti antropici di varia natura (e. g. resti ceramici, frammenti di malta e di laterizio).

Interpretazione: tale associazione, prevalentemente sabbiosa, è stata attribuita ad un generico ambiente di cordone litorale principalmente sulla base delle caratteristiche sedimentologiche (inclusa la presenza di frammenti levigati di molluschi) e del contenuto in meiofauna marino-costiera non autoctona. I dati a disposizione non consentono di effettuare un'analisi di facies più accurata, tuttavia la presenza in VADA 1 di una successione sabbiosa spessa circa 1 metro contenente numerosi (per questa tipologia di facies) esemplari di *taxa* che prediligono i fondali sabbiosi della zona infralitorale, *A. beccarii* e miliolidi, permette di supporre che nel contesto del cordone si sia potuta verificare la messa in posto di uno o più ventagli di *washover*. La presenza di materiale di origine antropica rinvenuto in VADA 2 e 4 implica una frequentazione antropica dei cordoni fin dall'età etrusca.

4.1.7 Retrocordone (Rc)

Descrizione: deposito costituito da limi e limi sabbiosi tendenzialmente arrossati e localmente screziati, con presenza di clasti ghiaiosi disseminati in modo irregolare all'interno del sedimento. Sono frequenti frustoli vegetali e, localmente, sono stati segnalati reperti in laterizio. Tale associazione, contrariamente alla successiva (*Paragrafo 4.1.8*), è riscontrata solamente nei sondaggi esterni all'area archeologica e occupa i primi 40-70 cm della successione.

Interpretazione: il deposito è stato interpretato genericamente come retrocordone con segni di non intensa antropizzazione rappresentati da laterizi.

4.1.8 Deposito antropico (Da)

Descrizione: il deposito è costituito da sedimento con granulometria variabile da limo a sabbia fine, di colore rossastro, con localizzate screziature ocracee; è interessato dalla presenza di ghiaia e ciottoli, distribuiti irregolarmente all'interno del sedimento. Sono frequenti frustoli vegetali, reperti ceramici, frammenti di laterizio e malta. È presente, inoltre, un livello localizzato ricco di carbone. Tale associazione di facies compare esclusivamente nei sondaggi prelevati internamente al sito archeologico e occupa il primo metro di spessore dei sondaggi.

Interpretazione: tale deposito è stato interpretato come deposito antropico in quanto interessato, lungo tutto lo spessore, da una importante presenza di reperti archeologici.

Tabella 4 Indici statistici riferiti ai campioni di VADA 1, suddivisi secondo l'associazione di facies corrispondente. Per il significato degli indici si veda il Sottoparagrafo 3.2.1.

		N. campione di VADA 1														
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Indici	S	23	8	26	24	24	24	30	50	30	26	26	21	37		
	D	0,1777	0,5126	0,259	0,2993	0,1804	0,5175	0,2204	0,07355	0,08818	0,1033	0,09185	0,1327	0,09442		
	H	2,116	0,9119	1,94	1,884	2,155	1,409	2,275	3,194	2,86	2,594	2,693	2,362	2,896		
	α	5,788	1,506	6,578	6,086	6,06	5,968	8,2	17,05	8,044	6,826	6,664	5,085	10,53		
		L										B	Pi			Ss
		Associazioni di facies														

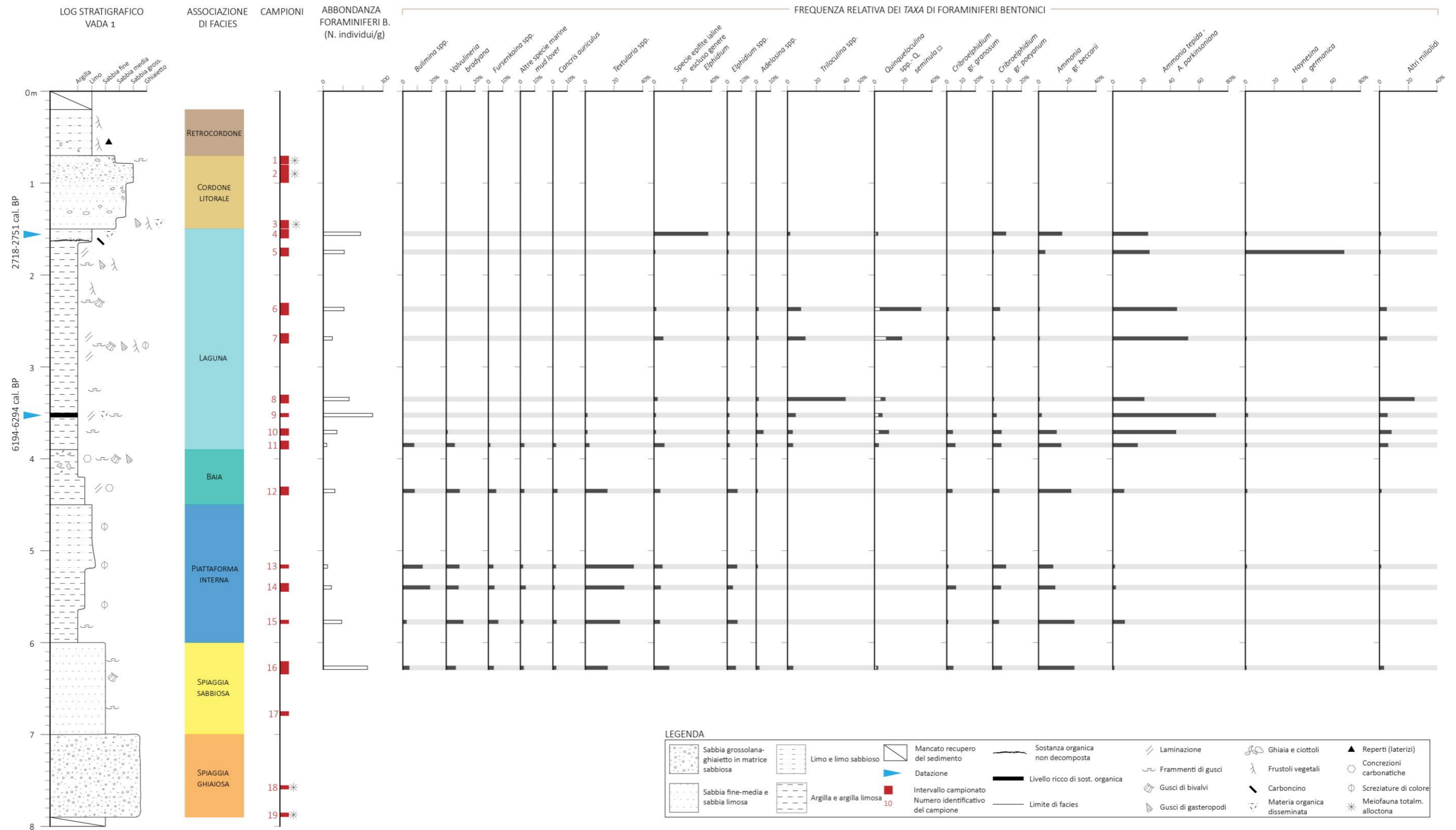


Figura 12 Log stratigrafico di dettaglio del sondaggio VADA 1 a cui sono affiancate, rispettivamente: le associazioni di facies riconosciute (Paragrafo 4.1); gli intervalli campionati; la curva di abbondanza dei foraminiferi bentonici; le curve di frequenza relativa dei taxa di foraminiferi bentonici conteggiati (Appendice C). Alcune specie minori risultano raggruppate secondo il loro genere e le loro caratteristiche autoecologiche. Il gruppo "Altre specie marine mud lover" comprende *Cassidulina carinata*, *Cibicidoides pachyderma* e *Nonionella turgida*; "Specie epifite ialine escluso il genere *Elphidium*" comprende *Asterigerinata mamilla*, *Buccella granulata*, *Lobatula lobatula*, *Planorbulina mediterraneensis*, *Reussella spinulosa*, *Rosalina bradyi*, *Rosalina globularis*; "*Criboelphidium* gr. *granosum*" comprende le forme *granosum* (sensu Jorissen) e *lidoense*; "*C. gr. poeyanum*" comprende le forme *poeyanum* e *decipiens*; "*Ammonia* gr. *beccarii*" comprende le forme *beccarii* e *inflata* (sensu Jorissen); "Altri miliolidi" comprende *Cycloforina* spp., *Miliolinella* spp., *Sigmoilinita* spp., *Siphonaperta aspera*, *Spiroloculina* spp.

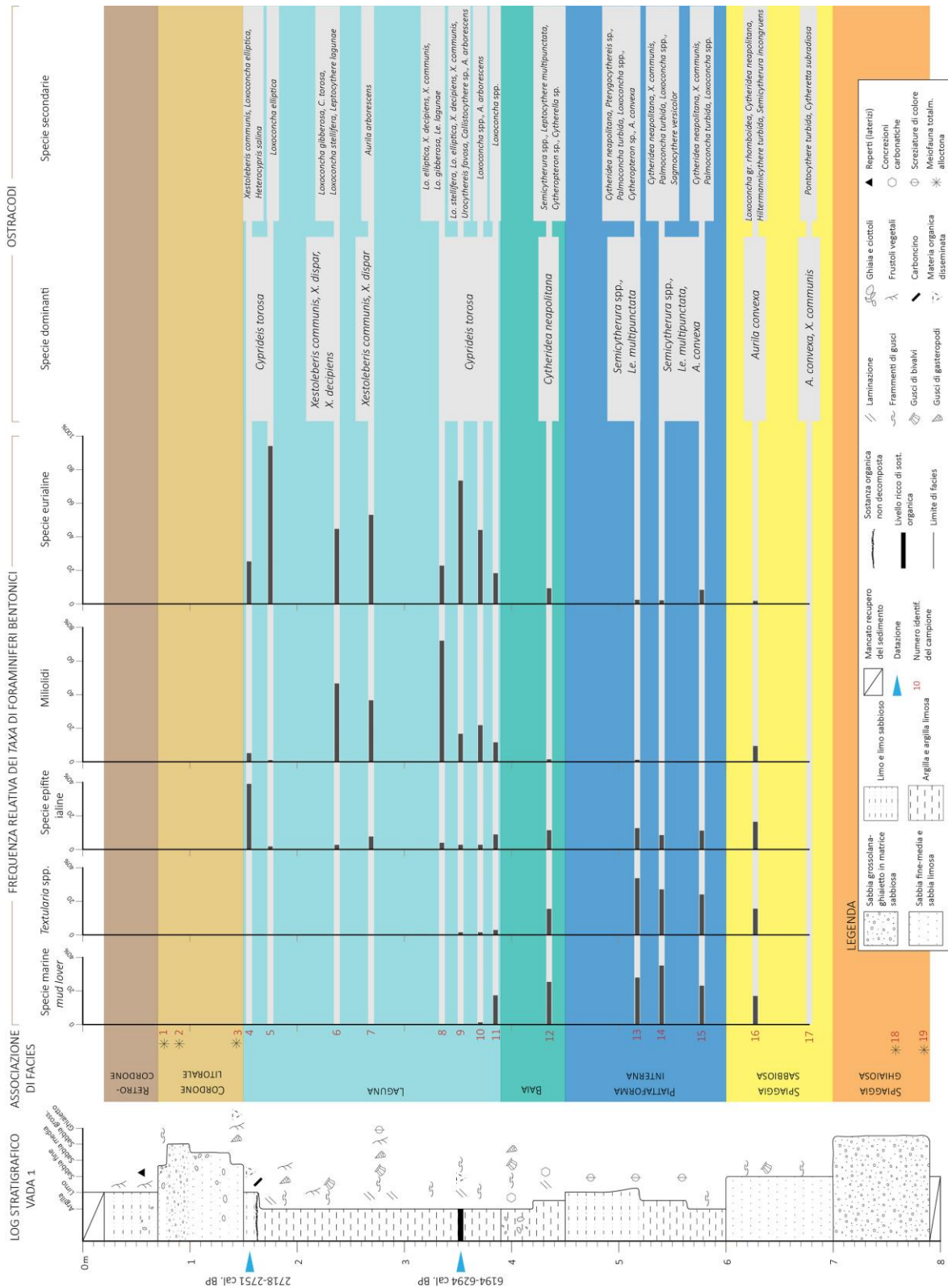


Figura 13 Riassunto delle informazioni ottenute mediante l'analisi della meiofauna di VADA 1. Sono qui riportate, oltre ad alcuni elementi visibili nella precedente figura, le curve di frequenza relativa dei gruppi di foraminiferi bentonici che hanno inciso maggiormente nella definizione delle associazioni di facies. In particolare, "Specie marine mud lover" comprende *Bulimina* spp., *Valvulineria bradyana*, *Fursenkoina* spp., "altre s. m. l."; "Specie epifite ialine" comprende il genere *Elphidium* unitamente al gruppo delle altre specie epifite ialine; "Miliolidi" comprende *Adelosina* spp., *Triloculina* spp., *Quinqueloculina* spp., unitamente al gruppo "Altri miliolidi"; "Specie eurialine" include *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana* e *Haynesina germanica*. A lato sono indicate le specie dominanti versus secondarie di ostracodi.

4.2 Stratigrafia del primo sottosuolo nell'area di San Gaetano di Vada

L'identificazione delle associazioni di facies, presentate nel *Paragrafo 4.1*, unitamente all'analisi della successione verticale delle stesse ha permesso di ricostruire la stratigrafia di dettaglio del primo sottosuolo dell'area di San Gaetano di Vada, fino a una profondità massima di 8 m dal piano campagna. In particolare, data la peculiarità dell'area in esame interessata da uno scavo archeologico (*Paragrafo 2.3*) e gli scopi del presente lavoro di tesi, si è deciso di presentare separatamente la stratigrafia presente nelle zone esterne al sito archeologico (sondaggi VADA 1 e 3; *Figura 10*) e quella all'interno del sito (sondaggi VADA 2 e 4; *Figura 10*). Sebbene una visione d'insieme dell'evoluzione deposizionale e paleoambientale dell'area di San Gaetano di Vada sarà fornita nel *Capitolo 5*, è utile già in questo paragrafo evidenziare che i dati cronologici e stratigrafici a disposizione (in particolare due datazioni al radiocarbonio nel sondaggio VADA 1; *Figura 14*) suggeriscono un'età olocenica per l'intera successione analizzata.

4.2.1 Successione stratigrafica esterna al sito archeologico di San Gaetano



Figura 14 Associazioni di facies e relativi limiti nel sondaggio VADA 1 (fotografia acquisita sul campo dal gruppo di ricerca di Geomorfologia del DST dell'Università di Pisa).

La successione stratigrafica presente nel primo sottosuolo dell'area esterna al sito archeologico è caratterizzata in generale da una doppia tendenza granulometrica: partendo dal basso stratigrafico si nota dapprima un *trend* tendenzialmente *fining upward* che, procedendo verso il top della successione, si inverte poco prima della base dell'associazione parzialmente antropizzata di cordone litorale (*Paragrafo 4.1.6; Figura 15*). La sommità della successione presenta depositi di retrocordone spessi circa 40-70 cm e con tracce di frequentazione antropica (*Paragrafo 4.1.7; Fig. 15*).

Sia nella zona extra-sito settentrionale (sondaggio VADA 3) che in quella meridionale (sondaggio VADA 1, *Figura 14*) la successione delle associazioni di facies evidenzia come la diminuzione verso l'alto della granulometria rifletta, almeno per la porzione inferiore (8-4,5 m in VADA 1 e 8-5,6 m in VADA 3), il progressivo approfondimento di un sistema deposizionale marino-costiero. Tale approfondimento si esplicita con il passaggio da un ambiente di spiaggia ghiaiosa di probabile battigia-spiaggia sommersa superiore (registrata solo in VADA 1) ad uno di spiaggia sabbiosa di probabile spiaggia sommersa superiore-inferiore, passante a sua volta ad un ambiente di piattaforma interna.

Questo *trend* di approfondimento delle facies è documentato molto bene dal contenuto in meiofauna in VADA 1 (*Figura 12; Figura 13*), dove specie prettamente costiere come *Ammonia gr. beccarii* e *Aurila convexa* sono progressivamente sostituite da *taxa* tipici della zona infralitorale e circalitorale superiore del Mediterraneo (i.e. *Textularia* spp., *Valvulineria bradyana*, *Bulimina* spp. e *Fursenkoina* spp. per i foraminiferi; *Semicytherura* spp. e *Leptocythere multipunctata* per gli ostracodi). In particolare, il campione prelevato a circa 5,2 m di profondità nel sondaggio VADA 1 pare registrare la massima profondità raggiunta dal sistema deposizionale, in quanto mostra la percentuale maggiore di *taxa* di foraminiferi tipici della zona infralitorale e circalitorale superiore in concomitanza del minimo valore di *Ammonia gr. beccarii* (*Figura 12*).

Al tetto dei depositi di piattaforma si impostano depositi di baia, caratterizzati da granulometria argilloso-limosa (sebbene leggermente più sabbiosa nella zona settentrionale - sondaggio VADA 3) e da una meiofauna peculiare (*Paragrafo 4.1.4*), contenente sia *taxa* tipicamente marini sia *taxa* eurialini (*Ammonia tepida-parkinsoniana* e *Haynesina germanica*) in percentuali ragguardevoli (*Figura 12; Figura 13*). I primi mostrano un'abbondanza relativa nettamente minore rispetto a quella che caratterizza l'associazione di facies sottostante di piattaforma interna, ad indicare, insieme alla presenza di specie eurialine, l'impostarsi di un ambiente costiero semi-protetto.

Verso l'alto i depositi di baia passano ad argille limose di laguna nella zona meridionale (VADA 1) e a depositi sabbiosi di cordone litorale nella zona settentrionale (VADA 3). Da questo momento in poi, datato post ~6250 anni cal. fa, le due zone extra-sito mostrano una differente stratigrafia (*Figura 15*).

In VADA 1 la successione di laguna occupa tutta la porzione centrale del sondaggio, con uno spessore pari a 2,4 m depositatosi fra circa 6250 e 2730 anni fa. L'impostarsi di depositi lagunari, e quindi di un ambiente *back-barrier*, è evidenziato principalmente da un cambio inizialmente piuttosto graduale (campione 11 in *Figura 12*) e poi brusco in meiofauna (*Figura 13*). Attraverso il passaggio baia-laguna si assiste, infatti, ad un *turnover* quasi totale dei foraminiferi bentonici e totale degli ostracodi. Nei primi diventano predominanti le specie eurialine (*Ammonia tepida-A. parkinsoniana* e *Haynesina germanica*) a svantaggio delle specie marine, in particolare delle specie tipiche della zona infralitorale-circalitorale superiore (*Textularia* spp., ad esempio, scompare). Unica eccezione rappresentata dai miliolidi, che compaiono proprio nella facies lagunare indicando un grado di confinamento del bacino costiero non eccessivamente elevato; ciò è confermato anche dal fatto che fra gli stessi miliolidi risulta essere sempre poco rappresentata la specie tipica di ambienti ad alto grado di confinamento: *Quinqueloculina seminula* (*Figura 12; Debenay & Guillou, 2002*). L'ostracofauna vede la comparsa, spesso come specie dominante, della specie eurialina-lagunare per eccellenza in Mediterraneo: il *Cyprideis torosa* (*Figura 13; Montenegro & Pugliese, 1995*). Al top della successione lagunare è registrato un picco in specie eurialine (dato da *H. germanica*; *Figura 12*) immediatamente seguito da una diminuzione delle stesse e da un picco delle specie epifite (essenzialmente *Planorbulina mediterraneensis*; *Figura 12*) registrato entro un intervallo leggermente più sabbioso, al passaggio con il sovrastante corpo sabbioso di cordone litorale. Il picco in *H. germanica* suggerisce una fase molto recente (prossima a ~2730 anni fa) di aumento del grado di confinamento della laguna, in quanto questa specie risulta estremamente tollerante a condizioni ristrette e ricche in materia organica (Debenay & Guillou, 2002). Successivamente la laguna si chiude definitivamente ad opera di depositi sabbiosi di

cordone litorale ed in particolare è possibile ipotizzare lo sviluppo di ventagli di tempesta, come suggerito dagli abbondanti esemplari di *Planorbulina mediterraneensis*, per i quali è possibile ipotizzare anche un'origine alloctona sulla base del loro stato di conservazione non ottimale.

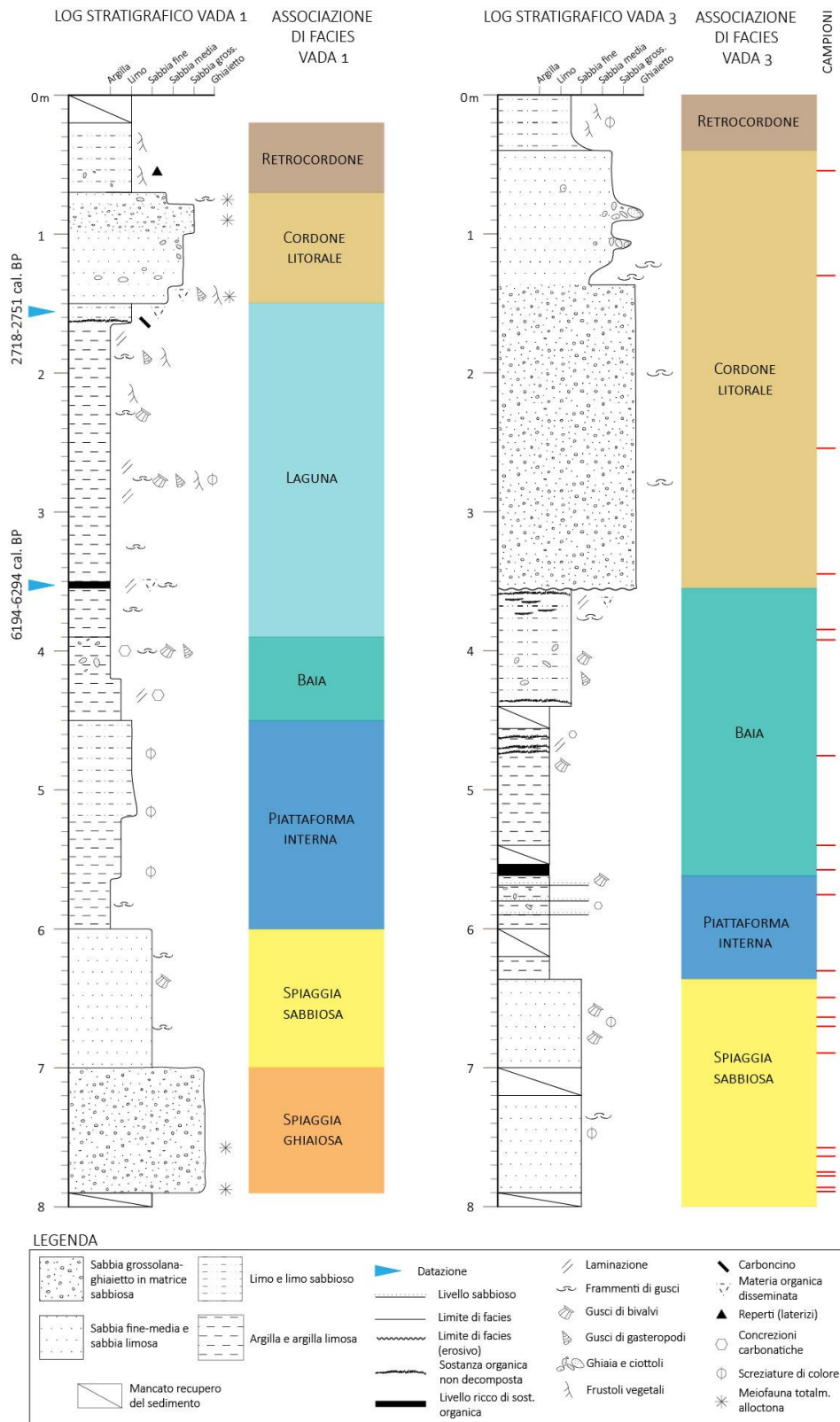


Figura 15 Stratigrafia e relative associazioni di facies dei sondaggi esterni al sito archeologico, VADA 1 e VADA 3.

4.2.2 Successione stratigrafica entro il sito archeologico di San Gaetano

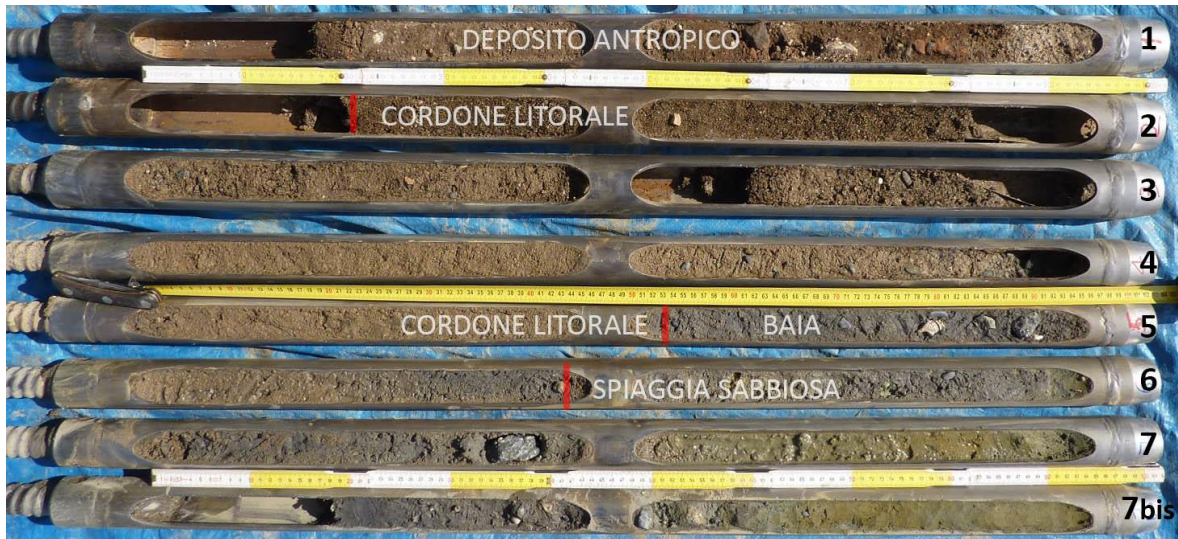


Figura 16 Associazioni di facies e relativi limiti nel sondaggio VADA 4 (fotografia acquisita sul campo dal gruppo di ricerca di Geomorfologia del DST dell'Università di Pisa).

Nei due sondaggi prelevati internamente al sito archeologico di San Gaetano sono presenti solo alcune delle associazioni di facies identificate nel *Paragrafo 4.1* e sono state identificate sulla base del solo dato sedimentologico, in quanto su queste carote non è stata eseguita un'analisi della meiofauna. I sondaggi mostrano una stratigrafia pressoché identica ad eccezione del fatto che in VADA 2 non sono presenti depositi sabbiosi di spiaggia alla base, forse a causa del mancato recupero dell'ultimo metro.

Al di sopra di circa 1,5 metri di depositi di spiaggia sabbiosa, presenti nel sondaggio VADA 4 (*Figura 16*; *Figura 17*) si imposta una successione argilloso-limosa di colore grigio-grigio scuro, localmente laminata e contenente gusci e frammenti di guscio di molluschi interpretata come facies di baia (*Sottoparagrafo 4.1.4*). Lo spessore di questa successione costiera varia da circa 80 cm in VADA 4 a circa 1,4 m in VADA 2, dove mostra anche una lieve tendenza *coarsening-upward*.

Questa tendenza trova il suo completamento nel deposito posto stratigraficamente a tetto dei depositi di baia: sabbia grossolana e ghiaietto in matrice sabbiosa fine in facies di cordone litorale (*Sottoparagrafo 4.1.6*). Questa successione raggiunge spessori superiori ai 2 m e contiene, oltre a frammenti di gusci di organismi marini, indicativi della sua natura costiera, reperti antropici di varia tipologia (e.g. ceramica, laterizi e malta), disseminati entro la sua porzione superiore (primo metro circa). La localizzazione all'interno del sito archeologico è coerente con la grande quantità di reperti riscontrati.

Chiude la successione di sottosuolo il deposito antropico Da (*Sottoparagrafo 4.1.8*). È l'associazione intra-sito corrispondente all'associazione Rc rinvenuta in VADA 1 e 3 e, come tale, presenta caratteristiche litologiche analoghe: è costituita da sedimento sabbioso-limoso con ghiaia e ciottoli disseminati, elementi vegetazionali e frequenti screziature di colore oca. Lo spessore nei sondaggi interni al sito, visibile in particolare in VADA 2, che presenta un recupero migliore del sedimento, raggiunge 1,25 m. In entrambi i sondaggi, inoltre, l'associazione presenta una quantità di reperti molto maggiori rispetto a Rc, a causa della maggiore esposizione dell'area a frequentazioni antropiche (si veda il *Paragrafo 2.3*).

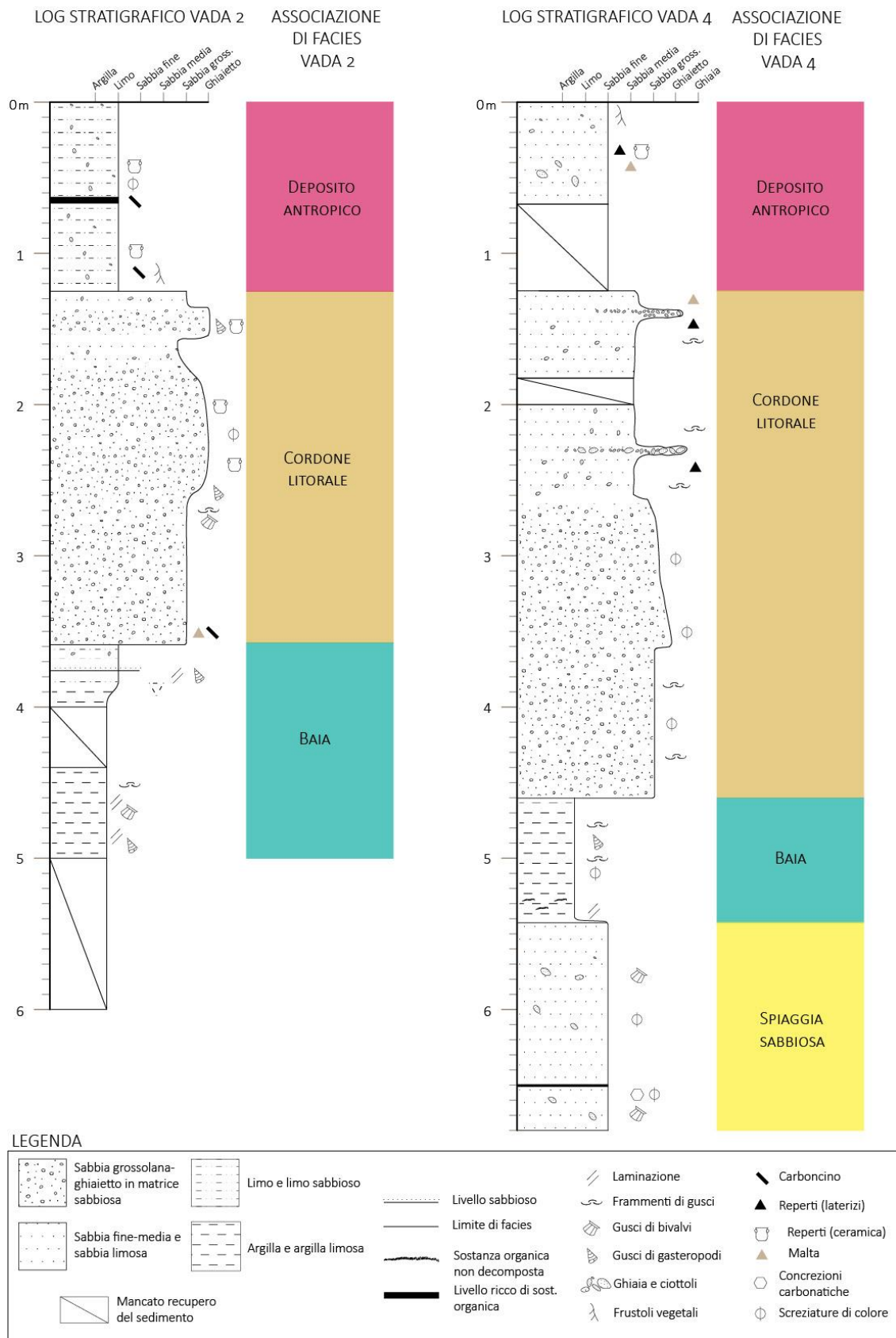


Figura 17 Stratigrafia e relative associazioni di facies dei sondaggi interni al sito archeologico, VADA 2 e VADA 4.

5. DISCUSSIONE

5.1 Evoluzione deposizionale e paleoambientale

L'analisi stratigrafica integrata, condotta tramite il riconoscimento e l'individuazione delle associazioni di facies e del loro sviluppo in verticale nei sondaggi VADA 1-4 (*Paragrafo 4.1 e 4.2*), ha permesso di ricostruire l'architettura deposizionale dei primi 8 metri circa di sottosuolo nell'area della pianura costiera di Vada interessata dal sito archeologico di S. Gaetano (*Figura 18*). Questa ricostruzione, seppur limitata arealmente, permette il riconoscimento delle principali dinamiche deposizionali-paleoambientali oloceniche del settore costiero in esame, anche da un punto di vista stratigrafico-sequenziale, e di metterle per quanto possibile in relazione con la storia di *Vada Volaterrana* e del suo porto antico.

Sono di seguito discusse le quattro fasi evolutive ricostruite per l'area in esame. La presenza di sole 2 datazioni assolute (*Figura 18*) non consente al momento di fornire un inquadramento cronologico certo per le prime 2:

1. Fase trasgressiva olocenica (TST) – la presenza diffusa in sottosuolo, attorno ai 6 m sotto il livello del mare (s.l.m.), di un corpo di spiaggia mostrante una tendenza *deepening upward* documenta lo sviluppo di un ambiente di mare basso, soggetto all'azione del moto ondoso, in risposta presumibilmente alla forte risalita del livello del mare durante l'Olocene (Vacchi et al., 2016). L'approfondimento progressivo del sistema, evidenziato sia dalle litologie sia dal contenuto in meiofauna (*Paragrafo 4.2*), culmina nello sviluppo di un ambiente di piattaforma interna scarsamente fluvio-influenzato (come documentato dalle bassissime frequenze relative delle specie eurialine; *Figura 12*) supportando questa interpretazione in termini di fattori di controllo e cronologia. L'analisi della meiofauna autoctona si è rivelata fondamentale per il posizionamento in sezione della *Maximum Flooding Surface* (MFS) a circa 4-4,5 metri sotto il livello del mare. Infatti le curve riportate in *Figura 13* evidenziano un *climax* delle specie marine più profonde (rappresentate principalmente da *Bulimina* spp., *Valvulineria bradyana*, *Fursenkoina* spp. e *Textularia* spp.) in corrispondenza del campione 13 in VADA 1. Tuttavia non è da escludere un ulteriore approfondimento nei 50-60 cm superiori entro la successione di Pi, in quanto non sono disponibili campioni in quell'intervallo stratigrafico in VADA 1 (*Figura 13*).
2. Prima fase progradazionale (HST) e sviluppo di una baia – superato il momento di massima ingressione marina (i.e., massima retrogradazione delle facies), la seconda fase segna l'inizio della progradazione costiera nell'area di Vada con lo sviluppo di una estesa zona di baia. Lo svilupparsi di un ambiente parzialmente confinato come una baia, testimoniato in particolar modo da un *turnover* della meiofauna in VADA 1 (*Paragrafo 4.2; Figura 13*), potrebbe essere relazionabile ad un primo impulso progradante del sistema del Fiume Fine. L'influenza fluviale, seppur di entità limitata in quanto indiretta, è registrata dall'aumento delle specie eurialine capaci di sopportare variazioni anche ampie della salinità nonché notevoli quantità di

materia organica di origine fluviale (i.e., *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana* e *H. germanica* in *Figura 12*). Il carico sedimentario del F. Fine, ridistribuito verso sud dalla corrente lungo costa, ha plausibilmente causato l'inizio del parziale confinamento del litorale antistante l'area di San Gaetano di Vada. Questo meccanismo può essere solo ipotizzato al momento, in quanto sono necessari ulteriori dati di sondaggio e sezioni stratigrafiche per dettagliare questa fase evolutiva.

3. Seconda fase progradazionale (HST) e sviluppo di una laguna nella zona a sud – la terza fase è datata attorno ai 6200 anni fa (età al radiocarbonio calibrata in VADA 1; *Figura 18*), quindi ampiamente dentro alla fase di *highstand* del l.m. iniziata nel Mar Mediterraneo occidentale circa 7500 anni fa (Vacchi et al., 2016). Essa registra un secondo impulso progradazionale del sistema costiero di Vada tramite la chiusura della baia a nord (VADA 3, 2 e 4 in *Figura 18*) e la sua trasformazione in una laguna a sud (VADA 1 in *Figura 18*). L'incremento del grado di confinamento è tracciato chiaramente da un quasi completo *turnover* delle faune in VADA 1 con conseguente esplosione delle specie eurialine (*Figura 13*). Possiamo ipotizzare che l'apporto di sedimento a mare da parte del F. Fine abbia presumibilmente determinato la formazione di una piana sabbiosa, costituita da cordoni litorali, nella zona nord dell'area studio. Più a sud, invece, l'avanzamento dei cordoni avrebbe garantito le condizioni per la formazione di bacino costiero più protetto (i.e., laguna). Tuttavia la (paleo)morfologia costiera unitamente alla peculiare presenza delle Secche di Vada potrebbero aver favorito non solo la formazione ma anche il mantenimento di suddetta laguna fino a circa 2700 anni fa (età al radiocarbonio calibrata in VADA 1; *Figura 18*).
4. Colmatazione della laguna – l'inizio del processo di riempimento della laguna, che è comunque rimasta "attiva" per almeno 3500 anni in VADA 1 (*Figura 18*), è documentato dal contenuto in meiofauna della porzione superiore della successione lagunare (*Paragrafo 4.2*; *Figura 12* e *Figura 13*). Ad un picco in *Haynesina germanica*, specie eurialina abbondante in ambienti salmastri molto confinati, segue infatti un picco in esemplari di dubbia autoctonia di *Planorbulina mediterraneensis* (*Paragrafo 4.2*; *Figura 12*), specie tipicamente marina che predilige i fondali ricchi in *Posidonia* (Langer et al., 1993). Questa stratigrafia potrebbe essere espressione del susseguirsi di più eventi di tempesta in una porzione di laguna già confinata; essi potrebbero aver causato l'ingresso in laguna di sabbie provenienti da oltre il cordone e contenenti specie marine (ventagli di *washover*). In questa ottica lo stesso corpo sabbioso al top di VADA 1 (*Figura 18*) potrebbe rappresentare, nello specifico, un ventaglio di *washover* connesso ad un cordone che proteggeva la laguna. Il ridotto numero di sondaggi disponibili per l'area in esame non consente di risolvere in modo esaustivo la presente questione.

Riassumendo, la sezione stratigrafica (*Figura 18*) evidenzia la presenza nel primo sottosuolo della piana costiera di S. Gaetana di Vada di un cuneo trasgressivo-regressivo (ciclo T-R) olocenico in un contesto scarsamente fluvio-influenzato. I fattori che hanno maggiormente

influenzato lo sviluppo di questo ciclo T-R sono probabilmente glacio-eustatici, anche se ulteriori datazioni sarebbero opportune per confermare questa ipotesi. A scala di osservazione minore, altri fattori tipicamente autoctoni/locali quali dinamiche fluviali e correnti litoranee, conformazione costiera e dei fondali hanno determinato una complessa evoluzione della linea di costa e dei suoi (paleo)ambienti durante la fase di *highstand*. Si rende ovviamente necessario per futuri studi il reperimento di nuovi sondaggi al fine di comprendere meglio tale dinamiche e definire l'evoluzione spazio-temporale della laguna, "oggetto" di particolare interesse anche in chiave geoarcheologica (si veda paragrafo successivo).

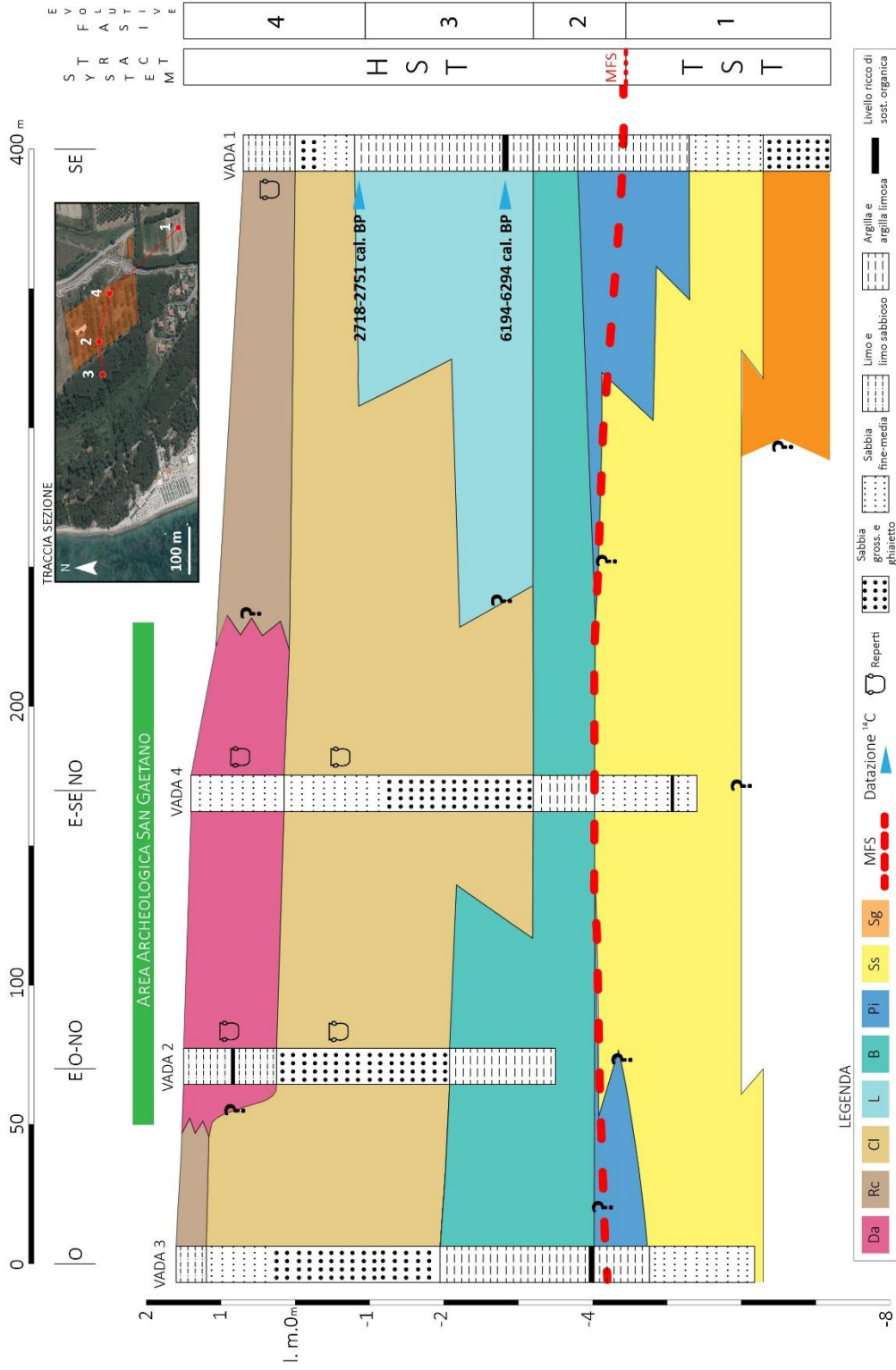


Figura 108 Sezione stratigrafica passante per i sondaggi VADA 3, 2, 4 e 1. Lungo la sezione sono tracciati i principali corpi sedimentari ed è fornita un'interpretazione degli stessi in senso stratigrafico-sequenziale (TST – *Transgressive System Tract*; HST – *Highstand System Tract*). Sono inoltre indicate le fasi evolutive descritte nel *Paragrafo 5.1*. L'ubicazione dei sondaggi e la traccia della sezione rispetto anche al sito di San Gaetano (poligono arancione) sono riportati nell'inserito in alto a destra. I log stratigrafici di dettaglio dei sondaggi sono riportati nel *Paragrafo 4.2*.

5.2 Implicazioni geoarcheologiche

Gli elementi stratigrafici che denotano una forte presenza antropica nell'area di San Gaetano di Vada sono localizzati nel tratto superiore dei depositi messi in posto durante le ultime fasi di progradazione del sistema costiero, presentate nel *Paragrafo 5.1*.

La sezione in *Figura 18* mostra chiaramente che al di sopra di depositi di cordone litorale si imposta un'importante successione di depositi antropici in corrispondenza del sito archeologico, coerentemente con la presenza del quartiere retroportuale di Vada antica risalente al I sec. a. C. (*Paragrafo 2.3*; Pasquinucci, 2013). Tuttavia, la presenza di numerosi reperti ceramici all'interno del corpo stesso di cordone litorale nel sondaggio VADA 2 fornisce una ulteriore conferma dell'intensa frequentazione dell'area anche in epoche precedenti (si veda il *Paragrafo 2.3*).

Probabili segni di frequentazione sono visibili anche al tetto della successione lagunare nella zona meridionale, dove è stato rinvenuto un frammento ligneo alterato (carboncino) che, come precedentemente specificato, è stato oggetto di datazione (*Paragrafo 3.3*), risultando risalente all'inizio del periodo etrusco.

Nonostante la presenza, evidenziata dal sondaggio di riferimento VADA 1, di un ambiente lagunare rimasto stabile oltre tremila anni, l'inquadramento cronologico fornito dalle datazioni al radiocarbonio ha permesso di stabilire che l'area oggetto di questo studio non può essere la medesima in cui sorgeva l'antico porto di *Vada Volaterrana*, rimasto in uso fino a ben oltre l'epoca alla quale risale la datazione più recente. Tuttavia, l'analisi stratigrafica integrata dei quattro sondaggi VADA ha permesso di avvalorare la supposizione sostenuta da Pasquinucci (2003), secondo la quale l'antico porto sarebbe dovuto sorgere qualche centinaio di metri a sud-ovest degli scavi di San Gaetano, a causa di numerosi rinvenimenti di reperti sul fondale marino prossimo a questa località (*Paragrafo 2.3*). I sondaggi VADA 2, 3 e 4 evidenziano, infatti, come la porzione settentrionale dell'area di studio fosse inadeguata al mantenimento di un'area naturalmente protetta destinata a svolgere la funzione di *portus*, con tutte le implicazioni strategiche e commerciali del termine.

L'analisi svolta in questa sede permette inoltre di stabilire un eventuale piano di avanzamento della ricerca dell'area dell'antico porto di *Vada Volaterrana*, mediante la realizzazione di due ulteriori sondaggi (*Figura 19*):

- Il primo, posto poche centinaia di metri a sud-ovest di VADA 1 (*Proposta 1* in *Figura 19*) al fine di ricostruire l'evoluzione spazio-temporale dell'ambiente lagunare sondando una posizione più distale;
- Il secondo, situato verso l'entroterra (*Proposta 2* in *Figura 19*), per definire meglio l'estensione della laguna in zona prossimale e ottenere nuovi dati sulle dinamiche di riempimento della laguna, verificando o meno l'eventuale sviluppo di aree salmastre potenzialmente sfruttabili come saline, come riportato da Rutilio Namaziano (*Paragrafo 2.3*).

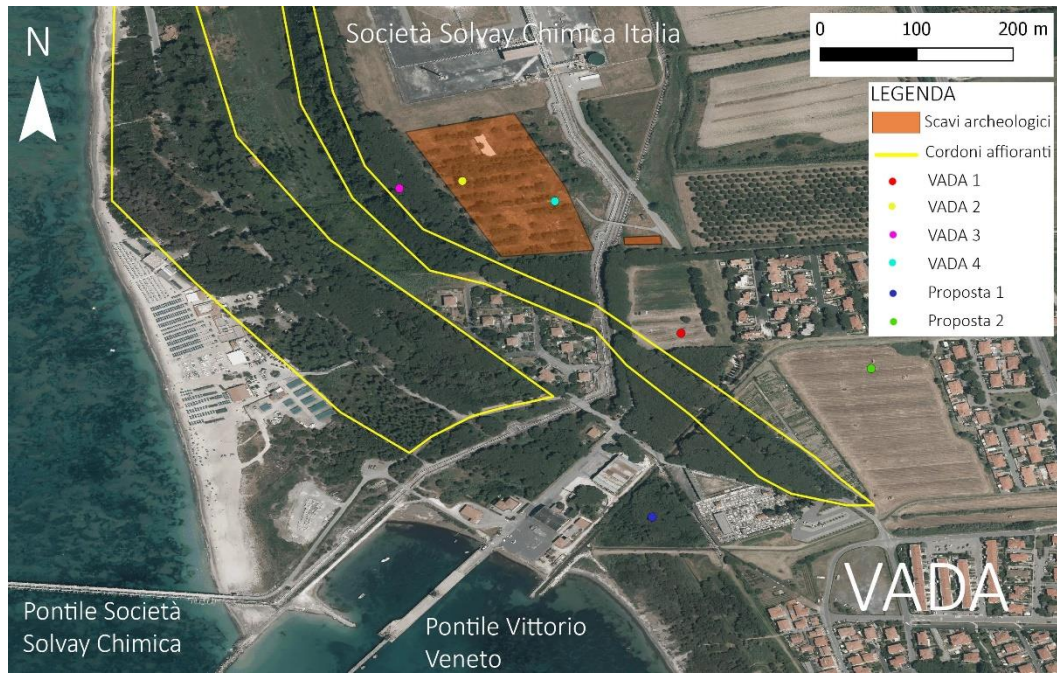


Figura 19 Mappa dell'area di studio con proposte di nuovi sondaggi per l'evoluzione della ricerca in oggetto.

6. CONCLUSIONI

L'analisi stratigrafica integrata, condotta nell'area di San Gaetano di Vada e basata sullo studio delle facies attraverso un approccio *multiproxy*, ha permesso di elaborare una proposta di evoluzione deposizionale-paleoambientale olocenica evidenziando la presenza nel primo sottosuolo (primi 8 metri – 4 sondaggi analizzati VADA 1-4) di un cuneo trasgressivo-regressivo. In particolare questo lavoro di tesi ha consentito di:

- Riconoscere otto associazioni di facies: Spiaggia ghiaiosa (Sg), Spiaggia sabbiosa (Ss), Piattaforma interna (Pi), Baia (B), Laguna (L), Cordone litorale (Cl), Retrocordone (Rc), Deposito antropico (Da);
- identificare una fase trasgressiva registrata da una successione retrogradazionale spessa almeno 2 metri e composta da depositi di spiaggia sormontati da argille e limi di piattaforma interna poco fluvio-influenzata; l'analisi del contenuto meiofaunistico sul sondaggio di riferimento VADA 1 ha inoltre permesso l'identificazione della MFS-*Maximum Flooding Surface*;
- identificare due principali fasi progradanti del sistema costiero, che hanno visto lo sviluppo prima di una baia e poi di una piana costiera sabbiosa nella zona settentrionale e di una laguna nella zona a sud (sondaggio VADA 1) degli scavi di San Gaetano;
- circoscrivere ulteriormente l'area, attualmente sconosciuta, in cui sorgeva il bacino dell'antico porto di *Vada Volaterrana*, probabilmente situato a sud-ovest dell'area indagata con il sondaggio VADA 1 dove la laguna "nata" circa 6500 anni fa si chiude all'inizio dell'età etrusca.
- confermare la presenza antropica e l'impostarsi di un sito sulla successione di cordone.

Possibili sviluppi futuri della ricerca vedono la realizzazione, e la successiva analisi, di un numero minimo di due sondaggi nella zona S-SO rispetto al sito archeologico per garantire una migliore definizione della dinamica costiera e dello scenario paleoambientale nel quale sorgeva l'antico porto di Vada.

7. BIBLIOGRAFIA

- Aiello E., Bartolini C., Gabbani G., Mazzanti R., Pranzini E., Valleri G., 1981. Morfologia e geologia delle secche di Vada (provincia di Livorno). *Bollettino della Società Geologica Italiana* 100: 339-368.
- Albani A.D., Serandrei Barbero R., 1990. I foraminiferi della laguna e del golfo di Venezia. *Memorie della Società Geologica di Padova* 42: 271-341.
- Amorosi A., Bini M., Giacomelli S., Pappalardo M., Ribecai C., Rossi V., Sammartino I., Sarti G., 2013. Middle to late Holocene environmental evolution of the Pisa coastal plain (Tuscany, Italy) and early human settlements. *Quaternary International* 308: 93-106.
- Amorosi A., Rossi V., Scarponi D., Vaiani S.C., Ghosh A., 2014. Biosedimentary record of postglacial coastal dynamics: high-resolution sequence stratigraphy from the northern Tuscan coast (Italy). *Boreas* 43: 939–954.
- Athersuch J., Horne D.J., Whittaker J.E., 1989. *Marine and Brackish Water Ostracods*. The Linnean Society of London, London, 361 p.
- Barbieri G., Vaiani S.C., 2018. Benthic foraminifera or Ostracoda? Comparing the accuracy of palaeoenvironmental indicators from a Pleistocene lagoon of the Romagna coastal plain (Italy). *Journal of Micropalaeontology* 37: 203-230.
- Bartoletti E., Bossio A., Esteban E., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G., Sanesi G., Squarci P., 1986. Studio geologico del territorio comunale di Rosignano Marittimo in relazione alla carta geologica alla scala 1:25000. *Supplementi ai Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno* 6: 33-127.
- 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.
- Bonaduce G., Ciampo G., Masoli M., 1975. Distribution of Ostracoda in the Adriatic Sea. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli* 40 (suppl.): 1-304.
- Boschian G., Bossio A., Dall'Antonia B., Mazzanti R., 2006. Il Quaternario della Toscana costiera. *Studi costieri* 12: 3-207.
- Bosellini A., 2005. *Storia geologica d'Italia*. Zanichelli, Bologna, 183 p.
- Bossio A., Cerri R., Costantini A., Gandin A., Lazzarotto A., Magi M., Mazzanti R., Mazzei R., Saggi M., Salvatorini G., Sandrelli F., 1992. I bacini distensivi neogenici e quaternari della Toscana. *Guide all'escursione post-congresso, 76^a riunione estiva della Società Geologica Italiana*, pp. 199-277.
- Bossio A., Costantini A., Lazzarotto A., Liotta D., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G., Sandrelli F., 1993. Rassegna delle conoscenze sulla stratigrafia del Neoautoctono toscano. *Memorie della Società Geologica Italiana* 49: 17-98.

- Cantini P., Testa G., Zanchetta G., Cavallini R., 2001. The Plio-Pleistocene evolution of extensional tectonics in northern Tuscany, as constrained by new gravimetric data from the Montecarlo Basin (lower Arno Valley, Italy). *Tectonophysics* 330: 25-43.
- Carmignani L., Decandia F.A., Fantozzi P., Lazzarotto A., Liotta D., Meccheri M., 1994. Tertiary extensional tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy). *Tectonophysics* 238: 295-315.
- Cheli B., Luzzati T., 2010. La Solvay in Val di Cecina. Ricadute socio-economiche e ambientali di una grande industria chimica sul suo territorio. Plus Editore, 294 p.
- Ciaranfi N., Di Stefano E., Lirer F., Maiorano P., Marino M., Rio D., Sprovieri R., Stefanelli S., Vai G., 2008. Il piano Calabriano. *Italian Journal of Quaternary Sciences* 21 (1A): 23-28.
- Debenay J.P., Guillou J.J., 2002. Ecological transitions indicated by foraminiferal assemblages in paralic environments. *Estuaries* 25: 1107-1120.
- Doderlein P., 1872. Note illustrative della carta geologica del Modenese e del Reggiano. Memoria III, 74 p.
- Ellis B.F., Messina A.R., 1940 (e segg.). Catalogue of Foraminifera. American Museum of Natural History, New York.
- Fiorini F., Vaiani S.C., 2001. Benthic foraminifers and transgressive-regressive cycles in the Late Quaternary subsurface sediments of the Po Plain near Ravenna (Northern Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana* 40 (3): 357-403.
- Fisher R.A., Corbet A.S., Williams C.B., 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology* 12: 42-58.
- Gignoux M., 1913. Les formations marines pliocenes et quaternaires de l'Italie du sud et de la Sicilie. *Annales de l'Université de Lyon* 36.
- Langer M.R., 1993. Epiphytic foraminifera. *Marine Micropaleontology* 20: 235-265.
- Jorissen F.J., 1988. Benthic foraminifera from the Adriatic Sea; Principles of phenotypic variation. *Utrecht Micropaleontological Bulletins* 37, 174 p.
- Kaniewski D., Marriner N., Morhange C., Vacchi M., Sarti G., Rossi V., Bini M., Pasquinucci M., Allinne C., Otto T., Luce F., Van Campo E., 2018. Holocene evolution of Portus Pisanus, the lost harbour of Pisa. *Scientific Reports* 8: 11625.
- Marcellini S., 2008. Carta geologica – Comune di Rosignano Marittimo, Regolamento Urbanistico, scala 1:10000.
- Marco-Barba J., Holmes J.A., Mesquita-Joanes F., Miracle M.R., 2013. The influence of climate and sea-level change on the Holocene evolution of a Mediterranean coastal lagoon: Evidence from ostracod palaeoecology and geochemistry. *Geobios* 46: 409-421.

- Mauz B., 1999. Late Pleistocene records of littoral processes at the Tyrrhenian Coast (Central Italy): depositional environments and luminescence chronology. *Quaternary Science Reviews* 18: 1173-1184.
- Mazzanti R., 2016. Note illustrative alla carta geologica d'Italia alla scala 1:50000: foglio 284, Rosignano Marittimo. Servizio geologico d'Italia, 189 p.
- Milker Y., Schmiedl G., 2012. A taxonomic guide to modern benthic shelf foraminifera of the western Mediterranean Sea. *Palaeontologia Electronica* 15 (2): 1-134.
- Montenegro M.E., Pugliese N., 1995. Ostracodi della laguna di Orbetello: tolleranza ed opportunismo. *Atti del museo Geologico-Paleontologico di Monfalcone* 3: 71-80.
- Moratti G., 2005. Carta geologica regionale in scala 1:10000, sezione 294020. Servizio Geologico Regionale, Toscana.
- Pasquinucci M., Mazzanti R., 1987. La costa tirrenica da Luni a Portus Cosanus. In: Conchon O. (a cura di), *Déplacements des lignes de rivage en méditerranée d'après les données de l'archéologie*, C.N.R.S., Parigi, pp. 96-102.
- Pasquinucci M., Menchielli S., Del Rio A., 2003. Archeologia subacquea a Vada Volaterrana. In: Benini A., Giacobelli M. (a cura di), *Atti del II Convegno Nazionale di Archeologia Subacquea*, Bari, pp. 35-42.
- Pasquinucci M., Menchelli S., 2010. Il sistema portuale di Pisa: dinamiche costiere, import-export, interazioni economiche e culturali (VII sec. a.C.-I sec. d.C.). In: Malnati L. (a cura di), *Bollettino di Archeologia online*, 1/2010, International Congress of Classical Archaeology, Roma, pp. 1-13.
- Pasquinucci M., Ducci S., Menchelli S., Ribolini A., Bianchi A., Bini M., Sartini S., 2012. Ground Penetrating Radar Survey of Urban Sites in North Coastal Etruria: *Pisae, Portus Pisanus, Vada Volaterrana*. In: Vermeulen F., Burgers G., Keay S., Corsi C. (a cura di), *An offprint from Urban Landscape Survey in Italy and the Mediterranean*, Oxbow Books, pp. 149-159.
- Pasquinucci M., 2013. Guida all'archeologia delle coste livornesi. Nardini Editore, Livorno, 271 p.
- Pasquinucci M., Baroni C., Bini M., Menchelli S., Morelli G., Pappalardo M., Ribolini A., Salvatore M.C., Sangriso P., 2013. Vada Volaterrana (Tuscany – Italy). High-resolution Ground Penetrating Radar in Geoarchaeology: the application of STREAM X multichannel system. Radio Past Conference, Radiography of the past, Ghent.
- Pasquinucci M., 2014. An efficient communication network: Roman land, sea and river routes in north-western Etruria. In: *Honest mission. Festschrift für Barbara Pferdehirt* (Monographien des Römisch-Germanischen Zentralmuseum Mainz 100), Mainz, pp. 33-48.

- Patacca E., Sartori R., Scandone P., 1990. Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: kinematic relations since late-Tortonian times. *Memorie della Società Geologica Italiana* 45: 425-451.
- Pranzini E., 1985. *La gestione delle aree costiere*. Edizioni delle Autonomie, Roma, 237 p.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., van der Plicht J., 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55 (4): 1869-1887.
- Rossi V., Amorosi A., Sarti G., Mariotti S., 2017. Late Quaternary multiple sized valley systems: An unusually well-preserved stratigraphic record of two interglacial valley-fill successions from the Arno Plain (Northern Tuscany, Italy). *Sedimentology* 64: 1901-1928.
- Ruggieri G., Selli R., 1949. Il Pliocene ed il Post Pliocene dell'Emilia. *Giornale di Geologia* 20: 1-14.
- Ruggieri G., Sprovieri R., 1975. La definizione dello stratotipo del Piano Siciliano e le sue conseguenze. *Rivista di Mineralogia Siciliana* 26: 151-153.
- Ruggieri G., Sprovieri R., 1977. Ricerche sul Siciliano di Palermo: Le argille del fiume Oreto. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 94: 1613-1622.
- Sarti G., Bertoni D., Capitani M., Ciampalini A., Ciulli L., Cerrina Feroni A., Andreucci S., Zanchetta G., Zembo I., 2017. Facies analysis of four superimposed transgressive-regressive sequences formed during the two last interglacial-glacial cycles (central Tuscany, Italy). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie Serie A* 124: 133-150.
- Sgarrella F., Moncharmont Zei M., 1993. Benthic foraminifera of the gulf of Naples (Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana* 32 (2): 145-264.
- Shannon C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27: 379-423.
- Vaiani S.C., Pennisi M., 2014. Tracing freshwater provenance in palaeo-lagoons by boron isotopes and relationship with benthic foraminiferal assemblages. A comparison from late Quaternary subsurface successions in Northern and Central Italy. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana* 53: 55-66.
- Vacchi M., Marriner N., Morhange C., Spada G., Fontana A., Rovere A., 2016. Multiproxy assessment of Holocene relative sea-level changes in the western Mediterranean: Sea-level variability and improvisements in the definition of the isostatic signal. *Earth-Science Reviews* 155: 172-197.

Wentworth C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology* 30: 377-392.

APPENDICE A

Descrizione qualitativa dei campioni ed elenco delle specie che costituiscono la meiofauna trasportata di VADA 1

Le descrizioni riportate di seguito dei campioni di VADA 1, qui ordinati secondo la numerazione progressiva del campione e, quindi, a partire dall'alto stratigrafico, sono date da elementi qualitativamente osservati in sede di tesi con l'ausilio di uno stereoscopio. Per ogni campione è inoltre riportata la lista delle specie trasportate.

All'interno dei campioni che non risultano rappresentati in Figura 12, laddove si fa riferimento ad una scarsa presenza di foraminiferi bentonici autoctoni si intende che tale numero non raggiunge i 300 esemplari all'interno dell'intera massa del campione.

Per informazioni quantitative circa la massa delle frazioni granulometriche e i valori di foraminiferi per grammo si rimanda il lettore alla appendice B; per le informazioni quantitative sugli esemplari di foraminiferi bentonici si rimanda alla appendice C.

Associazione di facies di Cordone litorale (Cl)

VADA 1/1

Profondità: 0,70-0,80 m

Campione costituito in prevalenza da clasti. Contenuto in meiofauna scarso: sono presenti unicamente foraminiferi trasportati, mentre gli ostracodi risultano assenti. Presenza saltuaria di frammenti di gusci di molluschi con ornamentazione. Completamente assenti elementi accessori di origine vegetale.

Foraminiferi trasportati: *Adelosina*, *Ammonia gr. gr. beccarii*, *Sigmoilinita costata*, *Buccella granulata*, *Quinqueloculina seminula*, *Quinqueloculina poeyana*, altri miliolidi.

VADA 1/2

Profondità: 0,80-1,00 m

Sedimento costituito da clasti monomineralici e frammenti litici, rari filamenti vegetali di colore chiaro e frammenti levigati di gusci ornamentati di molluschi. I foraminiferi autoctoni risultano quasi totalmente assenti: sono riscontrati esemplari trasportati di grandi dimensioni di *A. gr. beccarii* e *E. crispum*. La meiofauna alloctona appare intensamente frammentata e levigata.

Foraminiferi trasportati: *Ammonia gr. beccarii*, *Cassidulina carinata*, *Elphidium crispum*, *Textularia aciculata*.

VADA 1/3

Profondità 1,40-1,50 m

Campione costituito in prevalenza da clasti. Sono frequenti gusci di molluschi (gasteropodi e bivalvi) trasportati: i frammenti risultano appartenenti a guscimolto spessi ed ornamentati, ma appaiono levigati. La meiofauna risulta mal conservata: si ha totale

assenza di ostracodi; rarissimi foraminiferi autoctoni, localizzati nella frazione fine. Fibre vegetali sono presenti ma molto rare.

Foraminiferi trasportati: *Ammonia* gr. *beccarii*, *Cibicoides pachyderma*, planctonici, *Planorbulina mediterraneensis*, *Rosalina globularis*, *Textularia agglutinans*, *Valvulineria bradyana*.

Associazione di facies di Laguna (L)

VADA 1/4

Profondità 1,50-1,60 m

Campione costituito da abbondanti filamenti e fibre vegetali alterate (carboncini). I clasti risultano in numero subordinato rispetto alle fibre vegetali. Meiofauna alloctona abbondante, con rapporto foraminiferi bentonici/ostracodi ≈ 1 . I foraminiferi bentonici appartenenti al genere *Ammonia* presentano, quasi sempre, l'ultima camera danneggiata; le valve di ostracodi risultano saltuariamente unite. Si riscontra presenza di gasteropodi a guscio sottile traslucido liscio o leggermente ornamentato.

Foraminiferi trasportati: *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, *Ammonia* gr. *beccarii*, *Cibicoides jenseni*, *Rosalina globularis*, *Cibicoides decipiens*, *Cibicoides*, *Lobatula lobatula*, altri miliolidi, planctonici, *Quinqueloculina* spp.

VADA 1/5

Profondità 1,70-1,80 m

Campione costituito da clasti di colore grigiastro; sono abbondanti le valve di ostracodi, in alcuni casi ancora sovrapposte; sono presenti, ma non frequenti, valve annerite di ostracodi e gusci di bivalvi e gasteropodi di piccole dimensioni non ornamentati e in stato di conservazione discreto. I foraminiferi trasportati risultano prevalentemente di piccole dimensioni. Sono presenti fibre vegetali ma subordinate. Il campione presenta poche specie di meiofauna con abbondante numero di individui.

Foraminiferi trasportati: *Ammonia* gr. *beccarii*, *Elphidium jenseni*, *Haynesina germanica*, *Rosalina globularis*.

Ostracodi trasportati: *Cyprideis torosa*.

VADA 1/6

Profondità 2,30-2,43 m

Campione caratterizzato da una abbondante presenza di fibre vegetali e molluschi (frammenti/esemplari di piccole dimensioni) con gusci spessi e ornamentati (marini/salmastri). La meiofauna autoctona risulta abbondante; sono presenti numerosi ostracodi con due valve ancora sovrapposte e chiuse. rapporto F/O ≈ 1 .

Foraminiferi trasportati: *Cycloforina contorta*, *Quinqueloculina* spp., *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*.

Ostracodi trasportati: *Leptocythere lagunae*.

VADA 1/7

Profondità 2,63-2,75 m

Campione costituito da una abbondante presenza di filamenti algali e fibre vegetali; sono presenti abbondanti gusci di molluschi con evidente ornamentazione (marini/salmastri) interi e frammentati. La meiofauna è data da esemplari autoctoni e trasportati. Alto rapporto foraminiferi bentonici/ostracodi, circa 5/1.

Foraminiferi trasportati: *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, varie specie di miliolidi.

VADA 1/8

Profondità 3,30-3,40 m

Campione costituito da abbondante presenza di filamenti e fibre vegetali, frammenti di gusci ornamentati di molluschi (prevalentemente gasteropodi) e gusci interi di gasteropodi di piccole dimensioni. La meiofauna autoctona è rappresentata da abbondanti foraminiferi e ostracodi subordinati.

Foraminiferi trasportati: *Adelosina* cf. *A. ferrussacii*, *Ammonia* gr. *beccarii*, *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, *Elphidium complanatum*, *Elphidium macellum*, *Planorbulina mediterraneensis*, *Quinqueloculina seminula*, *Rosalina globularis*, *Sigmoilinita costata*, *Triloculina inflata*.

VADA 1/9

Profondità 3,50-3,55 m

Campione costituito da sedimento di colore nettamente scuro, tendente al nero. Sono abbondanti i frammenti di gusci, fortemente ornamentati, di bivalvi e gasteropodi; si nota una forte presenza di carboncini. La meiofauna autoctona è abbondante e costituita prevalentemente da foraminiferi bentonici.

Foraminiferi trasportati: *Adelosina* cf. *A. ferrussacii*, *Adelosina pulchella*, *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, *Elphidium crispum* (arrossato), *Elphidium complanatum*, *Elphidium macellum*, *Planctonici*, *Quinqueloculina disparilis*, *Quinqueloculina padana*, *Quinqueloculina poeyana*, *Reussella spinulosa*, *Sigmoilinita costata*, *Spiroloculina* cf. *S. excavata* (annerita), *Siphonaperta aspera*, *Triloculina adriatica*, *Triloculina inflata*.

VADA 1/10

Profondità 3,67-3,75 m

Campione costituito in prevalenza da clasti bianco-grigiastri. Le fibre vegetali sono presenti ma in quantità subordinata, così come frammenti di gusci ornamentati di molluschi. La meiofauna risulta poco abbondante e costituita prevalentemente da specie di miliolidi e ostracodi.

Foraminiferi trasportati: *Elphidium crispum*, *Valvulineria bradyana*, specie di miliolidi di grandi dimensioni.

Ostracodi trasportati: *Loxoconcha gibberosa*, *Urocythereis favosa*, *Xestoleberis dispar*.

VADA 1/11

Profondità 3,80-3,90 m

Campione costituito da sedimento di colore grigiastro, prevalentemente chiaro. Il campione è costituito da una prevalenza di clasti. Sono frequenti frammenti di gusci di molluschi spessi e fortemente ornamentati. Gli elementi vegetali risultano scarsamente presenti. I foraminiferi autoctoni risultano scarsamente abbondanti rispetto al sedimento totale; la maggior parte degli individui è di piccole dimensioni, mentre si ha presenza sporadica di individui trasportati di grandi dimensioni. Gli ostracodi risultano molto rari, con esemplari trasportati talvolta anneriti. Nella frazione >1mm sono presenti conglomerati scuri con diametro fino a 2 cm, contenenti numerosi frammenti di gusci di molluschi ornamentati e gusci di bivalvi ornamentati fino a 2 cm di diametro.

Foraminiferi trasportati: Prevalenti: *Textularia* cf. *T. agglutinans*, *Textularia aciculata*, *Ammonia beccarii*. Secondari: *Ammonia* gr. *beccarii* (forma inflata molto comune), *Adelosina* cf. *A. ferrussacii*, *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, *Buccella granulata*, *Bulimina marginata*, *Cassidulina carinata*, *Lobatula lobatula*, *Cibicidoides*, *Cibicidoides pachyderma*, *Cycloforina*, *Criboelphidium decipiens*, *Criboelphidium granosum*, *Elphidium crispum*, *Elphidium depressulum*, *Elphidium jenseni*, *Elphidium macellum*, *Elphidium maiorcense*, *Elphidium sp.*, *Haynesina germanica*, *Miliolinella* cf. *M. subrotunda*, *Miliolinella elongata*, *Nonionella turgida*, planctonici, *Quinqueloculina*, *Quinqueloculina* cf. *Q. seminula*, *Quinqueloculina poeyana*, *Quinqueloculina seminula*, *Sigmoilinita costata*, *Fursenkoina* sp. 1, *Spiroloculina excavata*, *Siphonaperta aspera*, *Textularia aciculata*, *Textularia* cf. *T. agglutinans*, *Triloculina adriatica*, *Triloculina* cf. *T. inflata*, *Valvulineria bradyana*.

Ostracodi trasportati: *Aurila convexa*.

Associazione di facies di Baia (B)

VADA 1/12

Profondità 4,30-4,40 m

Campione con colore globale chiaro, giallastro-ocraceo. La meiofauna è costituita da abbondanti foraminiferi, anche trasportati, di grandi dimensioni, frequentemente mal conservati e sbiancati. Risultano abbondanti le specie di miliolidi. Gli ostracodi sono presenti, ma in numero molto minore rispetto ai foraminiferi bentonici; sono riscontrati esemplari anneriti. Sono presenti filamenti algali e gusci di molluschi ornamentati e non.

Foraminiferi trasportati: *Ammonia* gr. *beccarii*, *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, *Bolivina spathulata*, *Buccella granulata*, *Bulimina marginata*, *Cycloforina* sp., *Criboelphidium decipiens*, *Criboelphidium granosum*, *Criboelphidium traslucens*, *Elphidium advenum*, *Elphidium crispum*, *Elphidium macellum*, *Haynesina depressula*, *Haynesina germanica*

(anche annerita), *Miliolinella subrotunda annerita*, *Nonionella turgida*, planctonici, *Quinqueloculina padana*, *Quinqueloculina seminula*, *Reussella spinulosa*, *Fursenkoina* sp. 1, *Textularia aciculata*, *Textularia* cf. *T. aciculata*, *Triloculina adriatica*, *Valvulineria bradyana*.

Ostracodi trasportati: *Cytheridea neapolitana*, *Aurila convexa*, *Carinocythereis whitei*.

Associazione di facies di Piattaforma interna (Pi)

VADA 1/13

Profondità 5,15-5,20 m

Campione con un generale aspetto ocraceo-ossidato. Il campione è costituito in prevalenza da clasti, frammenti di molluschi ornamentati smussati, 1 fibra vegetale di lunghezza centimetrica. La meiofauna autoctona è data soprattutto da foraminiferi bentonici; sono frequenti foraminiferi di grandi dimensioni trasportati. Gli ostracodi sono presenti, ma molto scarsi in numero.

Foraminiferi trasportati: *Adelosina* spp., *Ammonia* gr. *beccarii*, *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, *Buccella granulata*, *Bulimina marginata*, *Cancris auriculus*, *Cassidulina carinata*, *Cibicidoides pachyderma*, *Criboelphidium decipiens*, *Criboelphidium lidoense*, *Criboelphidium poeyanum*, *Elphidium crispum*, *Elphidium jenseni*, *Elphidium macellum*, *Haynesina germanica*, *Lagena elongata*, vari miliolidi, planctonici, *Quinqueloculina seminula*, *Reussella spinulosa*, *Textularia aciculata*, *Textularia* cf. *T. agglutinans*, *Triloculina adriatica*, *Valvulineria bradyana*.

Ostracodi trasportati: *Pterigocythereis* sp., *Aurila convexa*, *Carinocythereis whitei*, *Cytheridea neapolitana*, *Loxoconcha* sp.

VADA 1/14

Profondità 5,35-5,45 m

Sedimento di colore ocraceo recante abbondanti tracce di ossidazione. I foraminiferi bentonici prevalgono nettamente sugli ostracodi; presenza saltuaria di frammenti levigati di gusci di molluschi, assenza completa di elementi accessori di origine vegetale.

Foraminiferi trasportati: *Adelosina longiostra*, *Ammonia* gr. *beccarii*, *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, *Buccella granulata*, *Bulimina aculeata*, *Bulimina marginata*, *Cancris auriculus*, *Lobatula lobatula*, *Criboelphidium decipiens*, *Criboelphidium granosum*, *Criboelphidium* sp. 1, *Elphidium crispum*, *Elphidium macellum*, *Fursenkoina* sp. 1, *Haynesina germanica*, planctonici, *Reussella spinulosa*, *Rosalina globularis*, *Textularia aciculata*, *Textularia* cf. *T. agglutinans*, *Valvulineria bradyana*.

Ostracodi trasportati: *Aurila convexa*, *Leptocythere multipunctata*, *Semicytherura* sp.

VADA 1/15

Profondità 5,75-5,80 m

Campione costituito da abbondanti foraminiferi; si ha presenza subordinata di clasti, frammenti di molluschi con lieve ornamentazione e ostracodi. Completa assenza di elementi accessori di origine vegetale. Il sedimento appare localmente ossidato.

Foraminiferi trasportati: *Elphidium crispum*, varie specie di miliolidi, planctonici.

Ostracodi trasportati: *Aurila convexa*, *Cytheridea neapolitana*, *Leptocythere multipunctata*, *Semicytherura aenariensis*, *Semicytherura incongruens*.

Associazione di facies di Spiaggia sabbiosa (Ss)

VADA 1/16

Profondità 6,20-6,35 m

Campione di colore globalmente grigio chiaro, costituito da abbondanti frammenti di gusci di molluschi (bivalvi e gasteropodi) spessi e ornamentati, abbondanti foraminiferi (esemplari di *A. gr. beccarii* ed *E. crispum* di grandi dimensioni e trasportati), ostracodi (talvolta anneriti). I clasti risultano subordinati agli elementi accessori; non sono stati rivevuti elementi accessori di origine vegetale.

Foraminiferi trasportati: *Adelosina* spp., *Ammonia* gr. *beccarii*, *Bolivina* sp., *Buccella granulata*, *Bulimina marginata*, *Cancris auriculus*, *Cibicidoides pachyderma*, *Criboelphidium* spp., *Elphidium crispum*, *Elphidium macellum*, *Fursenkoina* spp., *Haynesina germanica*, varie specie di miliolidi, planctonici, *Quinqueloculina padana*, *Rosalina globularis*, *Textularia aciculata* (annerita), *Textularia agglutinans*, *Triloculina* sp.1, *Valvulineria bradyana* (annerita).

Ostracodi trasportati: *Carynocythereis carinata*, *Cytheridea neapolitana*, *Loxoconcha* gr. *rhomboidea*, *Pterigocythereis* sp., *Xestoleberis communis*, *Aurila convexa*, *Cytheretta* sp., *Pontocythere turbida*.

VADA 1/17

Profondità 6,75-6,80 m

Campione costituito per la maggior parte da frammenti di gusci ornamentati di molluschi e abbondanti foraminiferi con basso stato di conservazione e leve sfumatura bluastra dei gusci, che risultano spesso danneggiati (prevalenti: *Elphidium crispum*, *Ammonia* gr. *beccarii*, *Buccella granulata*, *Criboelphidium* spp., *Adelosina* spp., *Cancris auriculus*). L'ostracofauna risulta moto scarsa, totalmente trasportata.

Foraminiferi trasportati: *Adelosina* cf. *A. ferrussacii*, *Adelosina ferrussacii*, *Adelosina pulchella*, *Adelosina duthiersi*, *Adelosina italica*, *Ammonia* gr. *beccarii*, *Bolivina spathulata*, *Buccella granulata*, *Bulimina marginata*, *Cancris auriculus*, *Cibicidoides pachyderma*, *Criboelphidium lidoense*, *Criboelphidium granosum*, *Elphidium crispum*, *Elphidium advenum*, *Elphidium macellum*, *Elphidium punctatum*, *Elphidium jenseni*, *Fursenkoina* sp. 1, *Haynesina depressula*, planctonici, *Planorbulina mediterraneensis*, *Quinqueloculina seminula*, *Quinqueloculina vulgaris*, *Quinqueloculina padana*, *Quinqueloculina poeyana*,

Reussella spinulosa, *Rosalina floridiana*, *Sigmoilinita distorta*, *Textularia aciculata*, *Triloculina adriatica*, *Valvulineria bradyana*.

Ostracodi trasportati: *Cytheridea neapolitana*, *Aurila convexa*, *Carinocythereis whitei*, *Hiltermannicythere turbida*, *Loxoconcha gr. rhomboidea*.

Associazione di facies di Spiaggia ghiaiosa (Sg)

VADA 1/18

Profondità 7,55-7,60 m

Il campione risulta costituito in prevalenza da clasti. Sono presenti, ma non abbondanti, frammenti levigati di gusci di molluschi ornamentati e di esemplari di piccole dimensioni. Si osserva una scarsissima presenza di foraminiferi autoctoni; assenza totale di ostracodi e fibre vegetali.

Foraminiferi trasportati: *Adelosina* cf. *A. ferrussacii*, *Adelosina cliarensis*, *Ammonia* gr. *beccarii*, *Ammonia tepida*-*A. parkinsoniana*, *Bolivina spathulata*, *Buccella granulata*, *Bulimina aculeata*, *Bulimina marginata*, *Cancris auriculus*, *Cassidulina carinata*, *Lobatula lobatula*, *Cibicidoides pachyderma*, *Cycloforina contorta*, *Criboelphidium granosum*, *Criboelphidium* sp. 1, *Criboelphidium decipiens*, *Criboelphidium lidoense*, *Criboelphidium poeyanum*, *Elphidium macellum*, *Fursenkoina* sp. 1, *Miliolinella subrotunda*, *Nonion politum*, *Quinqueloculina lata*, *Quinqueloculina padana*, *Quinqueloculina poeyana*, *Quinqueloculina seminula*, *Rosalina brady*, *Sigmoilinita costata*, *Siphonaperta aspera*, *Textularia aciculata*, *Triloculina adriatica*.

VADA 1/19

Profondità 7,85-7,90 m

Campione di colore globale giallastro, costituito da abbondanti clasti angolosi e ben classati. I foraminiferi autoctoni risultano estremamente scarsi: si notano specie varie di miliolidi ed *Elphidium* trasportati di grandi dimensioni. Gli ostracodi risultano del tutto assenti.

Foraminiferi trasportati: *Adelosina pulchella*, *Adelosina* cf. *A. ferrussacii*, *Ammonia* gr. *beccarii*, *Bulimina aculeata*, *Bulimina marginata*, *Cancris auriculus*, *Cibicidoides pachyderma*, *Criboelphidium* spp., *Cycloforina contorta*, *Elphidium crispum*, *Fursenkoina* sp. 2, *Haynesina germanica*, planctonici, *Quinqueloculina* spp., *Siphonaperta aspera*, *Textularia* spp., *Triloculina adriatica*, *Valvulineria Bradyana*

APPENDICE B

Massa delle frazioni esaminate nel sondaggio VADA 1

Core	N. campione	Profondità (m)	Quartatura	Massa (g)								Frazione contata	Totale
				<0,063 mm	>0,063 mm	>0,079 mm	>0,125 mm	>0,250 mm	>0,500 mm	>1,000 mm			
VADA 1	1	0,70-0,80	1/16	7,09	1,72	3,82	13,16	35,98	31,33	64,78	5,70	157,88	
VADA 1	2	0,80-1,00	1/8	11,76	1,57	7,23	15,64	52,87	56,60	119,59	14,32	265,26	
VADA 1	3	1,40-1,50	1/16	4,84	1,08	3,31	7,14	27,27	35,74	53,72	5,82	133,10	
VADA 1	4	1,50-1,60	1/8	3,76	0,48	4,41	6,30	9,01	4,56	1,03	1,08	29,55	
VADA 1	5	1,70-1,80	1/8	51,48	0,66	2,60	6,32	12,28	6,01	16,15	0,73	95,50	
VADA 1	6	2,30-2,43	1/8	67,44	2,39	5,19	3,24	7,91	5,63	16,51	0,49	108,31	
VADA 1	7	2,63-2,75	1/8	63,37	2,07	4,33	2,74	2,27	3,25	16,21	0,56	94,24	
VADA 1	8	3,30-3,40	1/8	12,85	1,46	5,62	9,75	13,45	10,71	9,71	1,27	63,55	
VADA 1	9	3,50-3,55	1/8	9,49	3,61	10,52	5,88	1,80	1,00	3,25	0,32	35,55	
VADA 1	10	3,67-3,75	1/8	33,94	2,59	8,44	6,32	2,35	1,87	1,01	0,83	56,52	
VADA 1	11	3,80-3,90	1/8	25,97	1,47	2,90	2,11	2,23	3,33	83,99	1,06	122,00	
VADA 1	12	4,30-4,40	1/8	41,77	13,67	5,02	1,67	0,62	0,72	19,17	0,20	82,64	
VADA 1	13	5,15-5,20	1/8	55,75	4,78	1,63	0,11	0,58	0,43	0,70	0,23	63,98	
VADA 1	14	5,35-5,45	1/8	89,91	2,26	1,83	0,35	0,63	0,43	0,09	0,11	95,50	
VADA 1	15	5,75-5,80	1/8	67,36	3,18	3,96	0,70	0,48	0,21	0,39	0,06	76,28	
VADA 1	16	6,20-6,35	1/8	37,10	15,31	34,89	3,38	1,69	2,12	16,08	0,10	110,57	
VADA 1	17	6,75-6,80	1/8	18,15	10,55	72,09	5,13	1,75	1,61	12,13	0,25	121,41	
VADA 1	18	7,55-7,60	1/8	1,54	1,02	7,49	3,16	4,52	13,00	34,03	2,57	64,76	
VADA 1	19	7,85-7,90	1/8	3,38	3,99	29,42	65,51	3,60	0,30	1,39	9,05	107,59	

APPENDICE C

Numero di foraminiferi bentonici contenuti nei campioni di VADA 1

Profondità media (m)		1,55	2,75	2,37	2,69	3,35	3,56	3,71	3,85	4,35	5,18	5,40	5,78	6,23
N. campione		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Foraminiferi bentonici		Numero di esemplari												
<i>Adelosina</i>	cf. <i>A. elegans</i>										1			
<i>Adelosina</i>	cf. <i>A. ferussacii</i>			1	3	4	2	16		1				2
<i>Adelosina</i>	<i>italica</i>									1				
<i>Adelosina</i>	<i>mediterraneensis</i>													1
<i>Adelosina</i>	<i>pulchella</i>			1										4
<i>Adelosina</i>	sp.								2					1
<i>Ammonia</i>	gr. <i>beccarii</i>	49	14	1	1	1	7	39	48	74	30	38	77	85
<i>Ammonia</i>	<i>perlucida</i>	15						6				1		
<i>Ammonia</i>	<i>tepida-A. parkinsoniana</i>	74	77	150	161	68	234	136	52	26	3	7	26	3
<i>Asterigerinata</i>	<i>mamilla</i>	2							5					
<i>Bolivina</i>	<i>cathanensis</i>								4					
<i>Bolivina</i>	sp.								5					
<i>Bolivina</i>	<i>spathulata</i>								2					
<i>Buccella</i>	<i>granulata</i>								10	13	6	8	8	15
<i>Bulimina</i>	<i>aculeata</i>								2	6	7	5	1	
<i>Bulimina</i>	<i>elongata</i>								2	3		7		
<i>Bulimina</i>	<i>marginata</i>								19	17	34	48	7	15
<i>Cancris</i>	<i>auriculus</i>								7	10	6	3	8	8
<i>Cassidulina</i>	<i>carinata</i>								2	2	2	8	2	1
<i>Cibicidoides</i>	<i>pachyderma</i>								1	3				5
<i>Criboelphidium</i>	cf. <i>C. decipiens</i>								9					
<i>Criboelphidium</i>	cf. <i>C. poeyanum</i>				2									
<i>Criboelphidium</i>	<i>decipiens</i>	21	1	11	2		7	13	6	15	26	16	13	12
<i>Criboelphidium</i>	<i>depressulum</i>		1											
<i>Criboelphidium</i>	<i>excavatum</i>						2							
<i>Criboelphidium</i>	<i>granosum sensu Jorriksen</i>			3				2	11	10	3	17	3	11
<i>Criboelphidium</i>	<i>lidoense</i>			3	5		1	12	8	4		5		6
<i>Criboelphidium</i>	<i>poeyanum</i>	7		6		1	1	6	3		2	2		10
<i>Criboelphidium</i>	sp.1								15	5		6	2	1
<i>Cycloforina</i>	cf. <i>C. costata</i>								1					
<i>Cycloforina</i>	<i>contorta</i>				2									
<i>Elphidium</i>	<i>advenum</i>					2	3	2		7		3		
<i>Elphidium</i>	cf. <i>C. jenseni</i>			1	1									
<i>Elphidium</i>	<i>crispum</i>							1		13	11	6	16	16
<i>Elphidium</i>	<i>jenseni</i>								1	3	6			3
<i>Elphidium</i>	<i>macellum</i>					1					3	2	6	
<i>Elphidium</i>	<i>macellum aculeatum</i>					1								
<i>Elphidium</i>	sp.							1				1		
<i>Elphidium</i>	<i>complanatum</i>	2						1		1				

Profondità media (m)		1,55	2,75	2,37	2,69	3,35	3,56	3,71	3,85	4,35	5,18	5,40	5,78	6,23
N. campione		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Foraminiferi bentonici		Numero di esemplari												
<i>Elphidium</i>	<i>incertum</i>								1					
<i>Elphidium</i>	<i>pulverenum</i>								1					
<i>Fursenkoina</i>	sp. 1								2	11	10	13	21	9
<i>Fursenkoina</i>	sp. 2								1	6				3
<i>Haynesina</i>	cf. <i>H. germanica</i>		6											
<i>Haynesina</i>	<i>depressula</i>	1				1	5		4	2			1	
<i>Haynesina</i>	<i>germanica</i>	2	203		1	2	7		2	4	3			1
<i>Lobatula</i>	<i>lobatula</i>	9			1				2		1			1
Miliolide			1						3					
<i>Miliolinella</i>	cf. <i>M. subrotunda</i>	1		9	7	6	1	1	3					
<i>Miliolinella</i>	<i>circularis elongata</i>							1						
<i>Miliolinella</i>	<i>elongata</i>			1			1	3	2					
<i>Miliolinella</i>	sp. 2				1	33								
<i>Miliolinella</i>	<i>subrotunda</i>			4		23	7	11	5		1			
<i>Nonion</i>	sp.	1												
<i>Nonionella</i>	<i>turgida</i>								5	3	3	4	3	2
<i>Planorbulina</i>	<i>mediterraneensis</i>	85		2	2	7								
<i>Quinqueloculina</i>	<i>bosciana</i>	1		5		5		6	4					
<i>Quinqueloculina</i>	cf. <i>Q. neapolitana</i>				5									
<i>Quinqueloculina</i>	cf. <i>Q. seminula</i>			1										
<i>Quinqueloculina</i>	<i>lachella</i>			1										
<i>Quinqueloculina</i>	<i>lata</i>							1						
<i>Quinqueloculina</i>	<i>padana</i>								1					3
<i>Quinqueloculina</i>	<i>poeyana</i>	3		74	26	4	7	9	3					
<i>Quinqueloculina</i>	<i>pseudoreticulata</i>				1									
<i>Quinqueloculina</i>	<i>seminula</i>	2		11	25	13	9	9						4
<i>Quinqueloculina</i>	<i>subpoligona</i>			1										
<i>Quinqueloculina</i>	<i>viennensis</i>							1						
<i>Quinqueloculina</i>	<i>vulgaris</i>	1		15	1	1	1	5						1
<i>Reussella</i>	<i>spinulosa</i>										6	3	4	17
<i>Rosalina</i>	<i>bradyi</i>	16		2	15		3	1	3	1	1		1	1
<i>Rosalina</i>	<i>globularis</i>	2	1		2			2	2		4	3		2
<i>Sigmoilinita</i>	cf. <i>S. costata</i>					1			1					
<i>Sigmoilinita</i>	<i>costata</i>	2		1	4	12	3	9						
<i>Siphonaperta</i>	<i>aspera</i>			2		1			2	3	1			9
<i>Spiroloculina</i>	cf. <i>S. excavata</i>				2		6	1						
<i>Spiroloculina</i>	<i>excavata</i>													1
<i>Spiroloculina</i>	<i>rostrata</i>								1					1
<i>Stainforthia</i>	<i>complanata</i>											1		
<i>Textularia</i>	<i>aciculata</i>						1		6	19	58	37	59	34
<i>Textularia</i>	<i>agglutinans</i>						1	2		20				2
<i>Textularia</i>	cf. <i>T. agglutinans</i>								2	12	44	50	16	17
<i>Textularia</i>	<i>spathulata</i>								1					

Profondità media (m)	1,55	2,75	2,37	2,69	3,35	3,56	3,71	3,85	4,35	5,18	5,40	5,78	6,23	
N. campione	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Foraminiferi bentonici		Numero di esemplari												
<i>Triloculina</i>	<i>adriatica</i>			1		1	7	3	1					13
<i>Triloculina</i>	<i>cf. T. inflata</i>								7					
<i>Triloculina</i>	<i>inflata</i>	2		24	25	102	10	6		2				
<i>Triloculina</i>	<i>schreiberiana</i>					1								
<i>Triloculina</i>	sp. 1			5	13	21		1	3					
<i>Uvigerina</i>	<i>peregrina</i>	3												
<i>Valvulineria</i>	<i>bradyana</i>							4	19	31	29	29	37	23
		Totale esemplari												
		301	304	336	308	312	327	310	303	327	301	323	311	343

APPENDICE D
Tavole fotografiche

Le seguenti tavole fotografiche contengono gli esemplari ritenuti chiave al fine di condurre la ricostruzione paleoambientale oggetto della presente tesi. Per ogni esemplare fotografato è indicato il campione di VADA 1 di appartenenza.

La barra di scala corrisponde a 100 µm.

Tavola 1

- Figg. 1-2 *Textularia agglutinans*. 1) vista laterale, c. 16; 2) vista frontale, c. 15.
- Fig. 3 *Textularia aciculata*. 3) vista laterale, c. 16.
- Fig. 4 *Adelosina* cf. *A. ferrussacii*. 4) lato con 3 camere, c. 6.
- Fig. 5 *Quinqueloculina poeyana*. 5) lato con 4 camere, c. 10.
- Figg. 6-7 *Quinqueloculina seminula*. 6) lato con 4 camere, c. 16; 7) lato con 3 camere, c. 16.
- Fig. 8 *Siphonaperta aspera*. 8) lato con 3 camere, c. 16.
- Figg. 9-10 *Triloculina inflata*. 9) lato con 3 camere, c. 7; 10) lato con 2 camere, c. 7.
- Fig. 11 *Miliolinella subrotunda*. 11) lato con 3 camere, c. 9.
- Fig. 12 *Spiroloculina* cf. *S. excavata*. 12) vista laterale, c. 9.
- Figg. 13-15 *Fursenkoina* sp. 1 13) vista laterale, c. 15; 14) particolare dell'apertura, c. 15; 15) vista frontale, c. 16.

Tavola 1

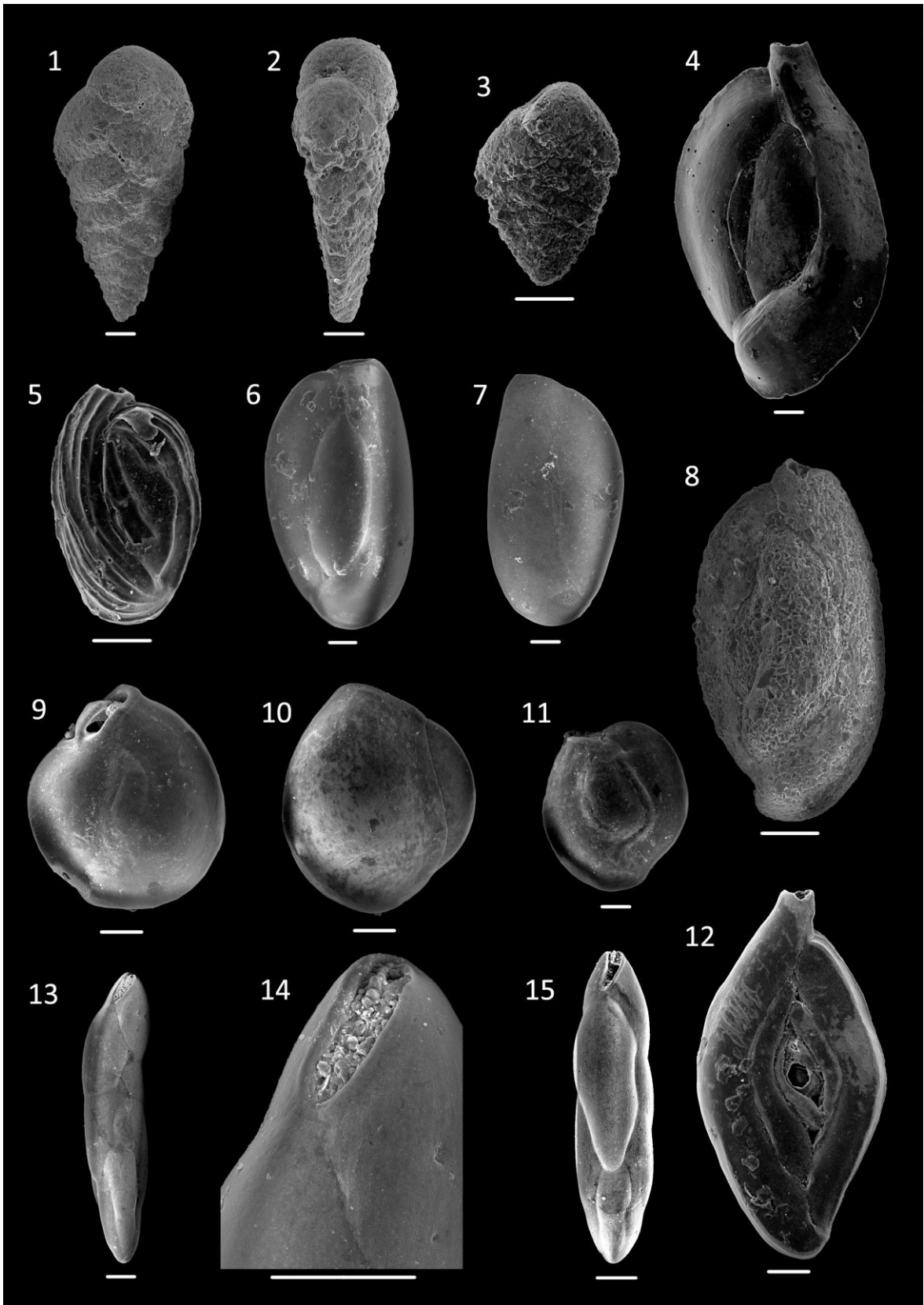


Tavola 2

- Fig. 1 *Bulimina marginata*. 1) vista frontale, c. 16.
- Figg. 2-3 *Nonionella turgida*. 2) vista laterale 1, c. 16; 3) vista laterale 2, c. 15.
- Fig. 4 *Cassidulina carinata*. 4) vista laterale, c. 14.
- Fig. 5 *Reussella spinulosa*. 5) vista frontale, c. 15.
- Fig. 6 *Cancris auriculus*. 6) lato spirale, c. 15.
- Figg. 7-8 *Buccella granulata*. 7) lato spirale, c. 16; 8) lato ombelicale, c. 9.
- Figg. 9-10 *Valvulineria bradyana*. 9) lato spirale, c. 14; 10) lato ombelicale, c. 14.
- Figg. 11-12 *Planorbulina mediterraneensis*. 11) lato spirale, c. 7; 12) lato ombelicale, c. 4.
- Figg. 13-14 *Rosalina globularis*. 13) lato spirale, c. 13; 14) lato ombelicale, c. 16.

Tavola 2

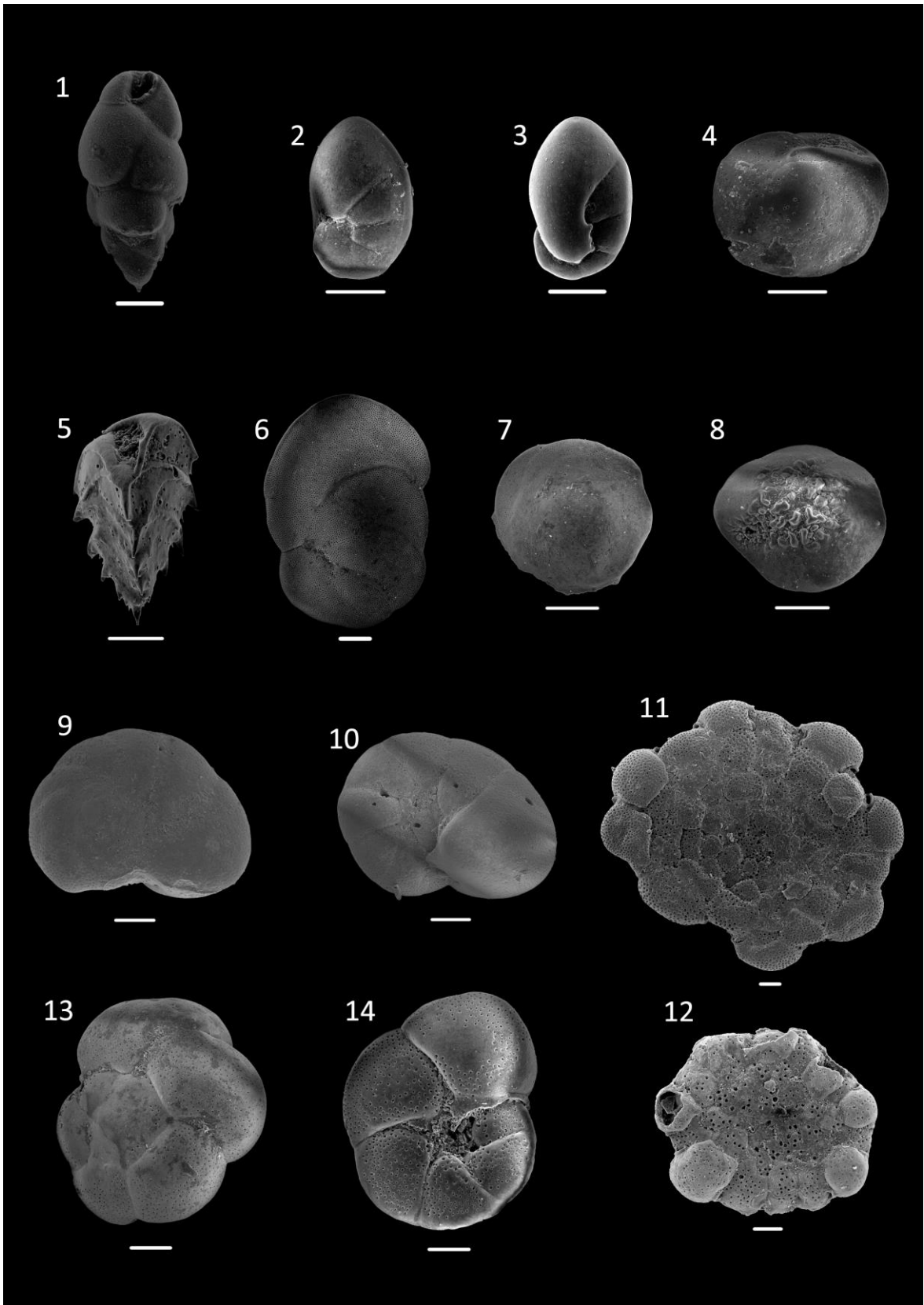


Tavola 3

- Figg. 1-2 *Elphidium crispum*. 1) Vista laterale, c. 16; 2) vista frontale, c. 15.
- Figg. 3-5 *Criboelphidium granosum*. 3) vista laterale, c. 16; 4) vista frontale, c. 16; 5) particolare della sutura, c. 16.
- Figg. 6-8 *Criboelphidium decipiens*. 6) vista laterale, c. 6; 7) vista frontale, c. 7; 8) particolare dell'apertura, c. 7.
- Figg. 9-10 *Ammonia beccarii*. 9) Lato spirale, c. 15; 10) lato ombelicale, c. 10.
- Fig. 11 *Haynesina germanica*. 11) vista laterale, c. 5.
- Figg. 12-13 *Ammonia tepida*. 12) lato spirale, c. 9; 13) lato ombelicale, c. 9.

Tavola 3

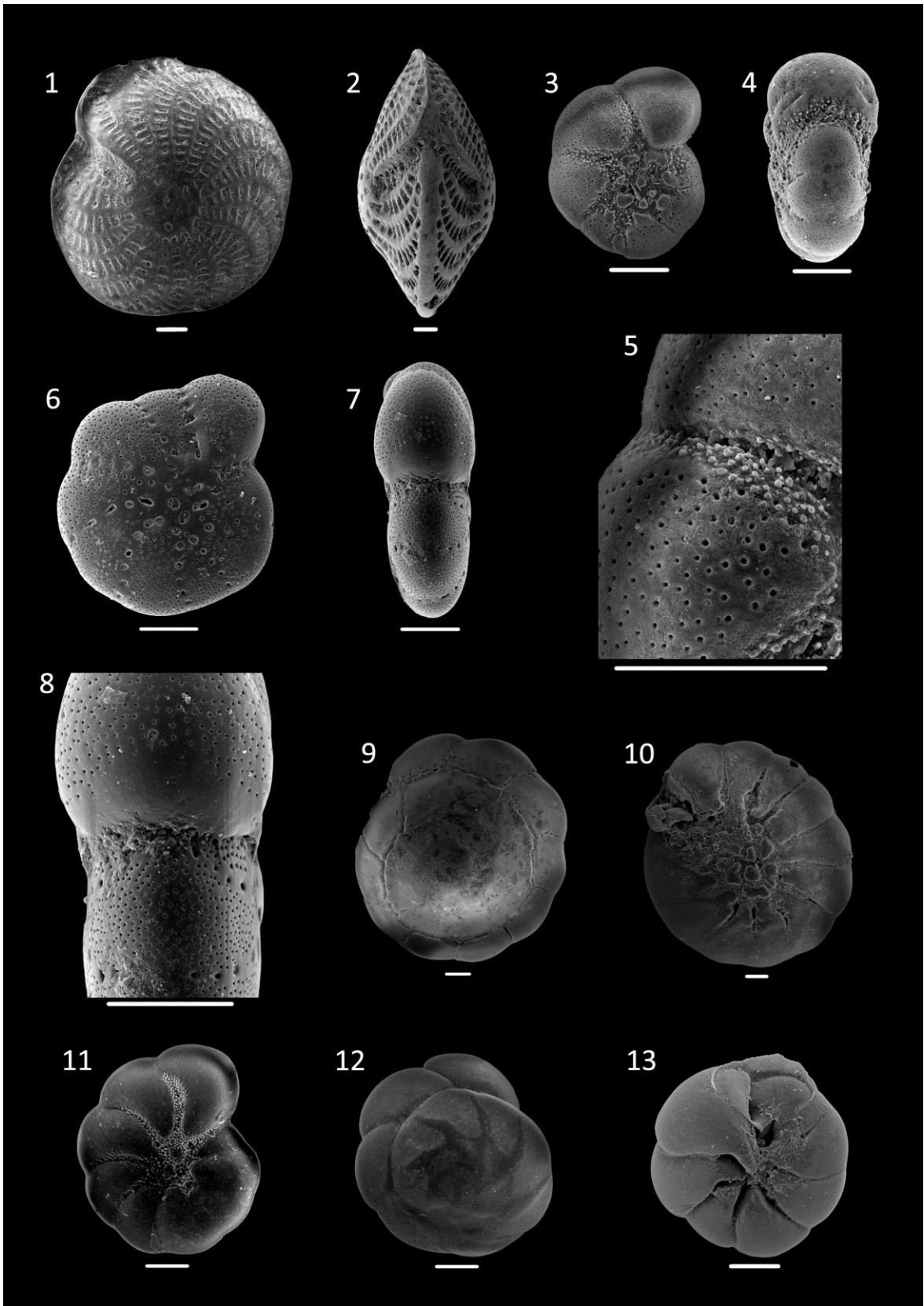


Tavola 4

- Fig. 1 *Loxoconcha elliptica*. 1) vista laterale esterna, c. 9.
- Fig. 2 *Loxoconcha gibberosa*. 2) vista laterale esterna, c. 8.
- Fig. 3 *Cytheridea neapolitana*. 3) vista laterale esterna, c. 12.
- Fig. 4 *Aurila convexa*. 4) vista laterale esterna. C. 17.
- Fig. 5 *Xestoleberis communis*. 5) vista laterale esterna, c. 6.
- Fig. 6 *Leptocythere lagunae*. 6) vista laterale esterna, c. 8.
- Figg. 7-8 *Cyprideis torosa*. 7) vista laterale esterna, c. 4; 8) vista laterale interna, c. 4.

Tavola 4

