

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento dei Beni Culturali:
archeologia, storia dell'arte, del cinema e della musica.

Corso di Laurea Magistrale in Scienze Archeologiche (LM-2)

Ricostruzione dell'evoluzione paleoambientale della laguna nell'antica città di Nora (Sardegna). Analisi e risultati del sondaggio NR1 eseguito durante la campagna di carotaggi 2020-2021.

Reconstruction of the paleoenvironmental evolution of the lagoon in the ancient city of Nora (Sardinia). Analysis and results of the NR1 survey realized during the 2020-2021 coring campaign.

Relatore: Chiar.mo Prof. Jacopo Bonetto

Correlatori: Dott. Matteo Vacchi e Dott.ssa Veronica Rossi

Laureanda: Alice Venturoli

Matricola: 1238552

Anno Accademico: 2020/2021

A tutti coloro che ancora oggi sono al mio fianco,
camminano e sognano con me.

A Nora, città che contiene il suo passato, presente e futuro, città di dei e destini
incrociati, sorta sotto il sole e sopra il mare che affascina e corrompe.

“Μεράκι”

*“Notre vie est un voyage
Dans l'hiver et dans la Nuit.
Nous cherchons notre passage
Dans le Ciel où rien ne luit”.*

(Voyage au bout de la nuit, Louis Ferdinand Céline)

Indice

Abstract	3
Introduzione	5
Capitolo I	
Il contesto di studio: la città antica di Nora e il suo territorio	11
Inquadramento geografico, geologico e geomorfologico	11
Inquadramento storico e archeologico	25
- Le prime frequentazioni e il periodo fenicio-punico	25
- La conquista e la lunga dominazione romana	37
- L'arrivo dei Vandali e la successiva presenza bizantina	48
- Gli ultimi anni e l'abbandono definitivo della città	52
Capitolo II	
Le indagini geomorfologiche e paleoambientali nella laguna di Nora	53
Organizzazione e obiettivi del lavoro	53
La scelta di un approccio geoarcheologico	56
- Scienze naturali e archeologia: un binomio duraturo e proficuo	56
- Individuazione ed esame di un contesto geoarcheologico	59
- Indagare il rapporto tra uomo e ambiente dagli archivi sedimentari: i tipi di impatto e le tre domande geoarcheologiche.....	62
Capitolo III	
La ricognizione 2020 dell'area umida retrostante la laguna di Nora.....	65
Il sondaggio NR4	65
La beachrock di Sant'Efisio	70
Capitolo IV	
La campagna di carotaggio 2021. Analisi del primo sondaggio NR1.....	71
Materiali e Metodi in campo	71
Operazioni e strumenti di carotaggio	71

Analisi Litostratigrafica	74
Campionamento per le diverse analisi	78
Materiali e Metodologie in laboratorio	79
Preparazione dei lavati per le analisi paleontologiche	79
Il contenuto in meiofauna	82
- Gli Ostracodi	83
- I Foraminiferi bentonici	88
- L'uso della meiofauna nelle ricostruzioni paleoambientali: un caso di studio esemplare	90
Analisi palinologica e palinostratigrafica	94
Analisi al radiocarbonio (C14).....	98

Capitolo V

Risultati delle analisi del primo sondaggio NR1	107
Individuazione e descrizione delle litofacies	107
Osservazione e descrizione qualitativa dei campioni	112
“Picking” del contenuto in meiofauna	119
I taxa presenti nei campioni: diversità e assemblaggi degli ostracodi e dei foraminiferi bentonici	125
Prime considerazioni dalle analisi paleontologiche	131
Primi risultati relativi al contenuto pollinico	134
Datazioni al radiocarbonio (C14): ipotesi di lavoro e risultati complessivi	137

Capitolo VI

Proposta di ricostruzione paleoambientale della laguna norense	143
Ipotesi dell'evoluzione paleoambientale dell'area	143
Ricostruzione paleovegetazionale con riferimenti alla paleodieta.....	153
Discussione dei dati e ricostruzione del paleolivello del mare	158

Conclusioni	173
--------------------------	------------

Bibliografia	179
---------------------------	------------

Ringraziamenti	191
-----------------------------	------------

Abstract

Ricostruzione dell'evoluzione paleoambientale della laguna nell'antica città di Nora (Sardegna). Analisi e risultati del sondaggio NR1 eseguito durante la campagna di carotaggi 2020-2021.

Nel 2011, a partire dall'individuazione di una serie di strutture sommerse in prossimità della costa, il Dipartimento dei Beni Culturali dell'Università di Padova, in collaborazione con la SABAP di Cagliari, ha attivato il progetto "Nora e il mare" finalizzato alla ricostruzione dell'assetto costiero dell'antica città di Nora (CA). In particolare si è esaminato e valutato il rapporto spaziale e funzionale tra il sito archeologico e lo spazio marittimo circostante e l'entità dell'innalzamento del livello marino che, congiuntamente al processo costiero distruttivo dell'erosione, minaccia e modella, oggi come in passato, il litorale costringendo l'uomo a adattarsi.

L'indagine archeologica, attraverso un approccio multidisciplinare, si è basata su una serie di dati derivati dallo studio di materiale edito e di ricerche precedenti, dalla cartografia e dalle immagini aeree del secolo scorso, dalla fotogrammetria da drone, dalla ricostruzione della batimetria dei fondali tramite ecoscandaglio e rilievo manuale e infine dall'ispezione subacquea diretta con registrazione e rilevamento tramite stazione totale di tutte le strutture sommerse. L'esito finale è stato lo sviluppo su piattaforma GIS di un rilievo topografico funzionale alla costruzione di un modello digitale del terreno e dei fondali, sul quale sono state poi applicate le stime di SLR per l'età antica.

Attualmente è in corso di sviluppo e svolgimento una nuova fase del progetto incentrata su un approccio geoarcheologico e interdisciplinare, grazie anche al contributo del Dott. Vacchi dell'Università di Pisa, della Dott.ssa Rossi dell'Università di Bologna e al Dott. Di Rita della Sapienza. Tale ricerca ha previsto innanzitutto una campagna di ricognizione nel 2020 e successivamente nel mese di ottobre 2021 la realizzazione di una campagna di carotaggi nelle zone umide retrostanti la laguna della città antica di Nora ai fini della ricostruzione del paleoinsediamento e delle dinamiche paleoambientali.

In modo particolare in questo lavoro di tesi viene presentato la carota NR4, realizzata durante le operazioni di ricognizione, e il primo sondaggio NR1 della campagna tramite l'esposizione sia dei metodi e dei materiali utilizzati in campo e successivamente in laboratorio sia dei primi risultati in termini di lettura litostratigrafica, contenuto in meiofauna, ovvero ostracodi e foraminiferi bentonici, e contenuto in macrofauna, ossia gasteropodi e bivalve. Ulteriori importanti dati che verranno illustrati derivano dallo studio palinologico e palinostratigrafico, fondamentale per una ricostruzione

paleovegetazionale dell'area, e dalle analisi al carbonio-14 su alcuni campioni prelevati dalla carota al fine di ottenere sia delle datazioni assolute sia delle prime indicazioni riguardanti il paleolivello del mare, la sua evoluzione nel corso dei diversi periodi storici e il rapporto funzionale e spaziale con le strutture archeologiche attualmente sia visibili sulla linea di riva sia parzialmente o completamente sommerse.

L'obiettivo di questo studio consiste, una volta compresa l'evoluzione paleoambientale dell'area e ricostruita la variazione del livello del mare, nel tentare di fornire e descrivere lo scenario ambientale antico in cui è nata e si è sviluppata come centro florido culturale e commerciale del Mediterraneo occidentale la città di Nora.

Concludendo da ultimo questo lavoro vuole rappresentare un punto di partenza solido per la ricerca del porto della città antica, il quale rimane ancora oggi una questione irrisolta e complicata dall'ulteriore assenza di chiare evidenze archeologiche.

Introduzione

“Il paesaggio non ha linguaggio e la luce, l’acqua e il vento non hanno grammatica, eppure milioni di libri e studi cercano di raccontarli e ricostruirne la storia ed evoluzione”.
(R. Macfarlane)

Il mare e la città di Nora costituiscono una simbiosi, ovvero in accordo con il significato letterale del termine greco *συμβίωσις*, queste due entità vivono insieme sia dal punto di vista fisico sia da quello logico, fin dai tempi antichi.

Ormai la città, non solo agli occhi di noi archeologi ma anche al primo sguardo dei nuovi visitatori, risulta incompleta e perde la sua identità se considerata al di fuori dell’elemento marino. Dal mare definito a volte “ponte” a volte “risorsa”, in cui sono transitate flotte, merci e idee e in cui si sono incontrate e scontrate civiltà, non sono giunti unicamente i miti più ancestrali, i primi coloni ma anche i principali pericoli. Poco è cambiato da allora.

Proprio per questo, a fianco della lunga attività di scavo stratigrafico, condotta nel sito archeologico a partire dal 1990 dalle Università di Padova, Milano, Genova, Viterbo e Cagliari in collaborazione con la Soprintendenza archeologia belle arti e paesaggio per la città metropolitana di Cagliari e le province di Oristano e sud Sardegna, si è aggiunta negli ultimi anni una forte attenzione al contesto ambientale, inteso sia come il territorio dell’*hinterland* sia come lo spazio marino, in cui la penisola e la città si collocano. L’intenzione, quindi, era quella di integrare e rivitalizzare la lunga tradizione di studi, avviati nel corso di una grande stagione di scavi promossa da G. Pesce a partire dal 1952, i quali, malgrado la coeva riscoperta e l’interesse per le realtà antiche sommerse e per i fondali a cui venne anche dedicato un cortometraggio intitolato *Città Sommersa*¹, avevano riservato poco se non alcun interesse agli spazi circostanti periurbani.

In particolare, per quanto riguarda il rapporto con il mare che circonda la città, la percezione del rischio idrogeologico² oltre all’individuazione e al riconoscimento di una serie di strutture ed evidenze archeologiche sommerse o fortemente danneggiate in prossimità della costa lungo la battigia – primo fra tutti il lato di chiusura meridionale del foro affacciato verso il mare e indagato tra il 1997 e il 2007³ nel corso delle ricerche archeologiche e architettoniche dell’intero complesso. Durante tale periodo di indagine, a seguito di ripetute attività di ricognizione, pulizia e rilievo sia

¹ https://www.youtube.com/watch?v=W8AsYk_g-Bk&t=187s

² Una Carta del rischio idrogeologico per la penisola di Nora era già stata prodotta da Di Gregorio *et alii*, 2010, ma risultava limitata poiché essa si fondava unicamente sulle osservazioni dello stato dei resti e della dinamica idraulica marina e perciò mancava del rilievo delle presenze archeologiche sommerse o semi-sommerse.

³ Ghiotto, 2009; Bonetto *et alii*, 2012.

della battigia sia della fascia intertidale, è stato anche possibile mettere in luce il cavo di fondazione del lungo muro che sosteneva il limite meridionale del portico – hanno indotto il Dipartimento di Beni Culturali dell'Università di Padova in cooperazione con la SABAP di Cagliari ad attivare nel 2011 un ampio e sistematico progetto, noto come “Nora e il mare”⁴.

Questo programma di ricerca, di cui si possono riconoscere immediatamente le potenzialità e l'utilizzo di metodi scientifici all'avanguardia, è nato dunque con degli obiettivi precisi: in primo luogo comprendere l'entità della variazione del livello marino e della sua progressiva ingressione; in secondo luogo indagare i rapporti fisici, funzionali e storici tra l'abitato antico e lo spazio marittimo per ricostruire, innanzitutto, l'originario perimetro costiero e dunque cogliere da un lato l'estensione complessiva della penisola e dall'altro i veri limiti a mare della città antica; infine, fornire indicazioni precise dello stato di fatto dei vari settori ed elaborare previsioni di rischio future nell'ottica di una tutela e successiva valorizzazione del patrimonio archeologico sia sommerso sia costiero, costantemente minacciato dall'inarrestabile innalzamento del livello marino e dalla forza erosiva e deleteria delle violente mareggiate stagionali.

Pertanto, volendo precisare quest'ultimo punto, tutte le evidenze recuperate, come ad esempio le anfore o i materiali ceramici e metallici, oppure rilevate e studiate in situ, quali gli elementi strutturali o infrastrutturali e i resti degli edifici, possono rientrare nell'ambito del patrimonio sottomarino. Facendo infatti riferimento alla “Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage”, adottata nella Conferenza Generale dell'UNESCO a Parigi nel 2001 e ratificata anche dall'Italia, il termine "patrimonio culturale subacqueo" non comprende solo le creazioni artistiche e gli oggetti di valore presenti nei fondali ma è usato per designare "qualsiasi traccia dell'esistenza umana avente carattere culturale, storico o archeologico che sia stata sott'acqua parzialmente o completamente, periodicamente o permanentemente, per almeno cento anni”⁵.

Dal momento che il progetto Noramar fonda le sue radici su studi ed esperienze passate, la prima operazione del progetto ha previsto la ripresa e lo studio critico di materiale sia edito sia inedito, delle ricognizioni dei fondali, risalenti a una stagione ancora pionieristica delle ricerche subacquee, e delle indagini precedenti basate su interpretazioni fotografiche. I dati ottenuti sono stati quindi utili al fine di capire i metodi applicati, i risultati, le lacune e quindi stabilire un punto di partenza. A titolo d'esempio, nonostante i risultati conseguiti da G. Schmiedt, dal gruppo francese guidato da M. Cassien nel corso di sette stagioni (1978-1984) o ancora da altri gruppi di sommozzatori amatoriali come il team anglosassone, mentre i primi interventi di archeologia subacquea si occupavano prevalentemente della ricerca di relitti e del recupero di reperti mobili sommersi al

⁴ Carraro e Metelli, 2016.

⁵ UNESCO 2001 Convention, Art. 1 by 1(a).

largo, l'approccio del presente programma invece si distingue per il predominante interesse allo spazio di interfaccia tra la terra e il mare⁶, che da un lato non costituisce oggetto di studio esclusivo né dell'archeologia urbana né dell'archeologia subacquea e dall'altro risulta complesso a causa dei persistenti cambiamenti ambientali.

Al fine di individuare dei riferimenti topografici dell'area in esame e avere una prima idea dell'evoluzione dell'assetto costiero nel tempo, l'indagine archeologica è poi proseguita con l'acquisizione di tutte le fotografiche aeree storiche, la documentazione d'archivio e le cartografie prodotte disponibili dalla fine dell'Ottocento ad oggi che sono state digitalizzate, sovrapposte e georeferenziate. Dopodiché si è passati dall'esame documentario all'attività diretta sul terreno e sui fondali con l'avvio dell'attività di rilievo e la realizzazione di una rete topografica per l'intera penisola di Nora, basata su venti caposaldi individuati a terra tramite antenne GPS e posizionati entro una maglia topografica in coordinate UTM-WGS 84 e Gauss-Boaga⁷. Questa operazione ha così permesso di svolgere con assoluta precisione un completo rilievo batimetrico condotto eseguendo tracciati perpendicolari alla costa ad intervalli regolari tramite ecoscandaglio multifrequenza e con GPS integrato fino alla profondità di -4 m s.l.m. Tuttavia, per ottenere un lavoro accurato e dettagliato sono state avviate, accanto all'esplorazione subacquea diretta, diverse campagne di rilievo, sia manuali sia con stazione totale, che in primo luogo hanno integrato i dati in alcuni punti e zone di minima profondità antistanti la riva, che infatti non erano state raggiunte dai mezzi marini, e in secondo luogo hanno permesso di registrare tutte le presenze antropiche e le strutture archeologiche sommerse e semi-sommerse. Tutti i risultati e l'intero rilievo delle strutture, da cui sono state prodotte 17 tavole planimetriche e 43 tavole in sezione accompagnate da una scheda descrittiva di inquadramento storico-architettonico⁸, sono stati prima posizionati nella cartografia edita in modo da verificarla ed aggiornarla con integrazioni e successivamente, per simulare la paleotopografia della penisola, inseriti in un sistema cartografico nuovo costruito in ambiente ArcGis, denominato NoraGis⁹. Infine è stato incluso nel sistema il modello digitale del terreno (DTM) con i dati batimetrici, con la fotogrammetria da drone e con indicazione delle stime di SLR, acquisite per l'età antica dalle recenti ricerche legate all'innalzamento del livello del mare e conseguentemente ai cambiamenti ambientali e climatici.

Dunque, in breve, la lettura delle prime relazioni, dei documenti e delle carte storiche, l'analisi delle foto aeree, l'esecuzione dei rilievi sul campo, le ricognizioni e le indagini morfologiche sia del terreno sia dei fondali e, infine, l'elaborazione di tutti i dati in ambiente GIS hanno permesso

⁶ Bonetto *et alii*, 2015.

⁷ Carraro e Metelli, 2016.

⁸ Bonetto *et alii*, 2017.

⁹ Carraro e Metelli, 2016.

di ricostituire il paesaggio naturale e antropico antico creando delle riproduzioni storico-ambientali e storico-urbanistiche. In modo particolare, sulla base dei dati raccolti, che suggeriscono una possibile posizione del livello del mare a -1,40 m s.l.m., e delle ipotesi ricostruttive della linea di costa antica, che allora poteva collocarsi avanzata anche di 30-50 m¹⁰ rispetto a quella odierna, il risultato più grande, oltre a un modello predittivo delle future dinamiche costiere, è stato sicuramente la dimostrazione che l'estensione e la morfologia della penisola apparissero in passato alquanto diverse dall'attuale sia per quanto riguarda la forma sia in merito all'estensione. Questa significativa variazione della relazione tra gli spazi emersi e sommersi tra l'età antica e l'epoca contemporanea costringe pertanto a ripensare i rapporti tra la città e il mare.

Alla luce di ciò, attualmente è in corso una nuova fase di elaborazione e sviluppo del progetto "Nora e il mare" focalizzato principalmente su un approccio geomorfologico, grazie alla collaborazione tra il Dipartimento dei Beni Culturali dell'Università di Padova, diretto dal prof. J. Bonetto, e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, di cui fa parte il prof. M. Vacchi i cui interessi di ricerca spaziano dalla geomorfologia alla paleoclimatologia, con un particolare interesse per l'ambiente costiero.

Questo ulteriore campo di studio, organizzato e basato sulla realizzazione di una campagna di carotaggi, i cui campionamenti si sono svolti in due momenti tra i mesi di settembre e ottobre del 2020 e del 2021, non solo rafforza l'impostazione interdisciplinare dell'intera ricerca, coinvolgendo istituzioni e ricercatori afferenti ad ambiti disciplinari diversi come l'archeologia costiera e subacquea, la geologia, la geomorfologia, la topografia, la biostratigrafia e la palinologia, ma si rivela molto utile al fine di ricostruire il profilo geomorfologico della penisola e perciò comprendere il paleoinsediamento e le dinamiche paleoambientali che hanno condizionato l'evoluzione di questo sito costiero nel corso della sua lunga vita, dall'VIII sec. a.C. fino all'VII sec. d.C.

Oltre a ciò, i carotaggi potrebbero essere uno strumento valido per mettere in luce, in ulteriori studi futuri, la localizzazione e la configurazione dell'area portuale della città antica, la quale rappresenta ancora oggi una questione irrisolta e alquanto complicata. Se da un lato presupporre l'esistenza di un porticciolo o almeno di un'area d'approdo per la città di Nora sorge spontaneo da un punto di vista topografico, economico-commerciale e politico poiché l'attività marittima delle comunità fenicie prima e puniche poi è innegabile e quella romana è una certezza, dall'altro, tuttavia, al riguardo vi è una totale assenza di evidenze archeologiche.

Pertanto, in considerazione di quanto esposto, il presente elaborato vuole collocarsi, non come ultimo ma forse come più recente lavoro, all'interno di una lunga e fruttuosa stagione di studi

¹⁰ Bonetto *et alii*, 2015.

dedicati al mare di Nora. L'obiettivo principale consiste nel presentare e descrivere le nuove indagini in termini di metodologia e di risultati e secondariamente di proporre all'interno della ricostruzione della storia paleoambientale e dell'evoluzione del paleolivello del mare dell'area considerata o una diversa teoria o ulteriori spunti di riflessione riguardo al porto e alla sua collocazione, andando in tal modo a riprendere e ad approfondire lo stato dell'arte dell'archeologia costiera e portuale della città.

Nello specifico si cercherà innanzitutto di inquadrare il contesto di studio, ovvero la penisola e l'abitato, sia dal punto di vista storico-archeologico sia dal punto di vista geografico, geologico e geomorfologico, mettendone in luce trasformazioni, dinamiche, aspetti favorevoli e problematiche ecologiche.

In un secondo momento, entrando nel cuore stesso di questo lavoro, in primo luogo si presenterà la ricognizione dell'area lagunare d'interesse prospiciente alla città antica e i suoi risultati con la carota NR4; in secondo luogo, verrà descritta la campagna di carotaggio 2021, attraverso la presentazione dei ricercatori e studiosi coinvolti, l'esposizione delle scelte strategiche operate, del suo svolgimento in campo e successivamente in laboratorio, dei metodi applicati, degli strumenti utilizzati e dei suoi preliminari esiti.

Un capitolo a parte e introduttivo lo merita inoltre l'approccio scientifico e interdisciplinare necessario per intraprendere e svolgere il lavoro. Al fine di tentare una ricostruzione del paleopaesaggio di Nora, del paleolivello del mare e della sua variazione dettata sia da eventi naturali sia dall'azione umana, l'obiettivo metodologico, infatti, consiste nel cercare di integrare i dati archeologici e i dati geomorfologici e ambientali relativi all'area. Il problema diviene quindi capire i relativi contributi di queste due discipline: quale possa essere l'apporto dato dall'archeologia alla ricostruzione geomorfologica e, viceversa, quale sia l'ausilio della geomorfologia ai dati archeologici. Come affermava Sir M. Wheeler "the archaeologist is digging up, not things, but people" ovvero l'elemento umano è sempre il fine e, nel nostro caso, l'aspetto fondamentale da indagare e decifrare resta sicuramente sempre l'uomo, come figura sociale, ma si evolve appena trasformandosi nella relazione uomo-ambiente. Diventa perciò interessante e doveroso capire all'interno di questo contesto archeologico quali siano stati i cambiamenti ambientali e quanto l'attività antropica abbia influenzato o a sua volta sia stata condizionata dal quadro naturale. Perciò, una volta individuato chiaramente lo scopo ultimo della ricerca, si è scelto di operare attraverso un approccio geoarcheologico, il quale comprende ed integra insieme varie e differenti indagini, quali litostratigrafiche, biostratigrafiche del contenuto in meiofauna, come ostracodi e foraminiferi bentonici, e macrofauna, quali ad esempio bivalve e gasteropodi, cronostatigrafiche grazie alle analisi al C14 del materiale organico raccolto nel sondaggio,

palinologiche e polliniche. Perciò come in tutti i geosistemi con continuità di occupazione ed utilizzo del territorio si tratterà sia di combinazioni complesse, comprensibili grazie all'integrazione dei dati raccolti e successivamente elaborati, sia di fattori e componenti che avvengono con un proprio ritmo, dal lungo termine, come la mobilità del paesaggio, al breve termine, come momenti di instabilità, rottura e trasformazione e ancora stabilità influenzati dall'agire umano.

Capitolo I

Il contesto di studio: la città antica di Nora e il suo territorio

Inquadramento geografico, geologico e geomorfologico

La città antica di Nora si trova sulla costa meridionale della Sardegna a sud-ovest rispetto alla città di Cagliari, ovvero l'antica *Carales*, e occupa il Capo di Pula, ubicato nei pressi della piana costiera di origine alluvionale attualmente inclusa nel territorio del Comune di Pula. Dal punto di vista topografico essa è compresa nella cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM) nelle tavolette in scala 1:25.000: F. 234 III SW, F. 240 IV NW, F. 565 Sez.II – Villa S. Pietro, F.573 Sez.I – Domus de Maria e F. 566 Sez. III – Pula¹¹.

Il sito di Nora rimase sepolto e inesplorato fino al 1952 ma, nonostante ciò, suscitava già l'interesse di numerosi viaggiatori del XIX secolo, come l'ammiraglio Sir Edward Gennys Fanshawe, un ufficiale della Royal Navy che nel giugno del 1857 in crociera nel Mediterraneo dedicò un'opera pittorica non solo al paesaggio costiero tra Cagliari e Nora ma anche al promontorio di Sant'Efisio che presentava un profilo particolare e irregolare. Altre figure, sia appassionati sia studiosi, particolarmente importanti per questa fase iniziale sono rappresentate da Francesco d'Austria-Este, Barone di Maltzan, il Canonico Giovanni Spano o La Marmora. Le prime indagini ufficiali, che avviarono la fase pre-scientifica delle ricerche, presero avvio solo alla fine dell'800 quando una mareggiata particolarmente violenta mise in luce i resti del *tophet* punico. Da allora si sono susseguite varie campagne di scavo promosse grazie alla Soprintendenza, guidata in origine da G. Pesce, e alle Università che hanno permesso di compiere un lavoro sistematico e uno studio stratigrafico e scientifico dell'intera area.

Il centro urbano, oggi area archeologica, sorge su un promontorio di origine vulcanica, il quale costituisce una delle estremità verso il mare dei rilievi montagnosi che fanno capo al Sistema sulcitano¹², con conformazione triangolare circondato dal mare su tutti tre lati, sui quali vi sono tre cale rivolte rispettivamente a nord-est, sud-est ed ovest, ed è collegato alla terraferma solo da uno stretto istmo. Arrivando dall'entroterra, una volta superata questa stretta lingua sabbiosa, si può notare come la penisola si allarghi verso il mare, segni il limite occidentale del golfo di Cagliari e si divida in due punte¹³, una a sud conosciuta come Punta 'e su Coloru (Punta dei serpenti) e una a est nota come Punta del Coltellazzo o promontorio di Sant'Efisio. Quest'ultima zona, a una

¹¹ <http://www.sardegнатerritorio.it/paesaggio/>

¹² Bartoloni, 1979.

¹³ Tronchetti, 2001.

altitudine di 32 m s.l.m su cui sorge anche l'omonima torre spagnola costruita alla fine del XVI sec., e il cd. Colle di Tanit, situato nell'area centrale a 11 m s.l.m, costituiscono i due principali alti morfologici della penisola¹⁴.

Per quanto riguarda la sua formazione sappiamo che in origine erano presenti tre distinte isole vulcaniche in prossimità della linea di costa che col tempo si sono congiunte prima in un unico corpo e poi alla terraferma a seguito di successivi episodi di deposizione costiera che hanno generato un corpo sedimentario con tipica forma a clessidra detto tombolo¹⁵ o istmo sabbioso largo circa 80 m. Quindi da un punto di vista geologico e strutturale (Fig.1) il substrato presente non solo nella penisola – in cui affiora principalmente in tre punti: sul promontorio di Sant'Efisio, in prossimità della Punta 'e su Coloru, e circa al centro della penisola in corrispondenza dell'Alto luogo di Tanit – ma anche nella costa e in alcune zone vicine dell'entroterra è composto da rocce vulcaniche, in particolare andesiti e conglomerati vulcanici di colore o grigio chiaro o bruno nerastro¹⁶, esito dell'attività vulcanica oligo-miocenica, del distretto vulcanico di Sarroch-Pula, avvenuta circa tra i 21.6 e i 24.0 milioni di anni fa¹⁷. Questo vulcanismo è strettamente connesso agli eventi tettonici e geodinamici legati alla rotazione e migrazione antioraria della Sardegna e della Corsica, quindi del blocco sardo-corso, verso sud-est durante l'Oligocene superiore e il Miocene inferiore. Come mette in luce già il La Marmora, il primo studioso a descrivere in maniera dettagliata le caratteristiche geologiche e gli affioramenti dell'area norense nel suo lavoro “Voyage en Sardaigne”, tali rocce, delineate come monticoli conici, malgrado siano indistinguibili dal punto di vista petrografico si presentano sia molto compatte e dure sia conglomeratiche prodotte di colate che hanno inglobato e trascinato altri ciottoli e materiali. Queste rocce sono inoltre visibili, perché lavorate e impiegate come materiale edilizio, nei gradini del teatro, nella pavimentazione stradale e nei muri degli edifici della città.

Oltre agli affioramenti vulcanici prevalenti, nell'area sono visibili anche i depositi pleistocenici marino-litorali, ovvero sia continentali che marini, del Tirreniano. Questi accumuli di origine sedimentaria, che affiorano in modo regolare non più di 3 m s.l.m¹⁸ poggianti su piattaforme o terrazzi di abrasione marina oligo-miocenici, si rinvengono lungo tutta la linea di riva ovvero nel perimetro del promontorio, sulla penisola di Is Fradis e in particolare nel settore settentrionale lungo l'istmo nelle due insenature principali, occidentale e orientale, quale testimonianza

¹⁴ Previato, 2016.

¹⁵ Vd. lo schema di formazione di un tombolo in Ciccacci, 2019.

¹⁶ Di Gregorio *et alii*, 1999; Previato, 2016.

¹⁷ Savelli *et alii* 1979; Di Gregorio *et alii* 1999; Previato, 2016.

¹⁸ Previato, 2016.

dell'iniziale saldatura dell'isolotto vulcanico alla terraferma ma anche della evidente stabilità dell'area in età post-tirreniana¹⁹.

Alla luce dello studio paleontologico condotto dalla docente Ida Comaschi Caria nel 1968 si è osservato che questi affioramenti tirreniani quaternari, che si presentano a un esame macroscopico in modo differente o come conglomerati di spiaggia, o conglomerati arenacei, o arenarie con stratificazioni incrociate e sabbie non consolidate²⁰, contengono abbondanti tracce di fossili, ovvero fauna e flora tirreniana, come per esempio *Strombus bubonius*, *Conus testudinarius*, *Patella ferruginea*. Alcuni di questi fossili, tra tutti quelli individuati, sono tipici dei climi caldi e dei mari tropicali e per questo rientrano nel gruppo dei cosiddetti “ospiti caldi”. Gli studi successivi condotti da Ulzega e Hearty nel 1986 e soprattutto da Kindler, Davaud e Strasser nel 1997, partendo dai dati appena citati e analizzando quattro sezioni stratigrafiche (1-2 nella cala orientale e 3-4 nella penisola di Is Fradis)²¹ ricche anche di fossili, hanno consentito di individuare due sequenze cronologiche (I e II) corrispondenti a due fasi trasgressive eutirreniane²², ovvero caratterizzate dall'innalzamento del livello del mare con episodi deposizionali, datate rispettivamente a 154 e a 120 mila anni fa e interrotte, quindi distinguibili, da periodi di regressione e erosione marina.

Entrambi questi depositi tirreniani, noti anche come “Panchina tirreniana”, insieme costituiscono la prima formazione di beach-rocks sussistente nel sito. La seconda e più recente formazione poggia invece su strati sia tirreniani sia olocenici ed è contraddistinta dalla presenza di frammenti ceramici punici e romani.

Adatte in ambito edilizio sono inoltre altre rocce che affiorano abbondanti a breve distanza dalla città. Si tratta di arenarie della formazione del Cixerri di colore grigio e granulometria variabile rinvenute alternate a livelli di argille rosso-violacee.

Tra i depositi olocenici, vari e ripartiti in quasi tutta l'area interna della baia di Nora, distinguiamo depositi di tipo alluvionale, colluviale, palustre e di tipo sabbioso di spiaggia.

I depositi alluvionali distribuiti uniformemente in tutta la piana sono formati da materiale sciolto a matrice argillosa bruna e ciottoli granitici²³. L'analisi delle foto aeree ha permesso però di interpretare e capire la formazione di alcuni affioramenti alluvionali isolati che si sono rivelati indicatori sul terreno di antichi tracciati fluviali ormai estinti e relitti. Il passo successivo è consistito nel riscoprire un antico reticolo idrografico sviluppato nella zona settentrionale della laguna di S. Efisio tra il Rio Arrieras e il canale Saliu tra la fine dell'800 e la prima metà del '900,

¹⁹ Cherchi *et alii*, 1978; Melis, 2000.

²⁰ Di Gregorio *et alii*, 1999.

²¹ Vd. Kindler, Davaud, Strasser, 1997.

²² Di Gregorio *et alii*, 1999.

²³ Melis, 2013.

cioè prima dell'opera di bonifica e risistemazione della laguna, la quale in antico doveva essere più estesa verso nord. I depositi colluviali sono d'altro canto più recenti e associati agli alti andesitici come esito di una dinamica attiva del versante, mentre i depositi palustri si ritrovano principalmente vicino al Canale Su Cristallu e in tutto il bordo della laguna. Essi sono composti da limi argillosi e sabbiosi di colore grigio-nerastro tendente anche al verde e ricoperti di vegetazione tipica di ambiente salmastro e umido invece nella porzione settentrionale i sedimenti sono costituiti principalmente da sabbie grossolane con abbondante presenza di ciottoli di quarzo. Infine,

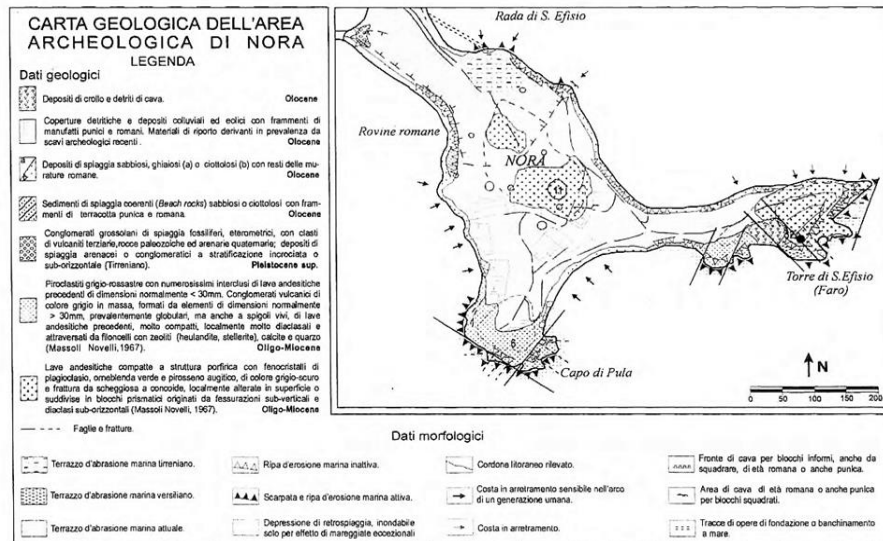


Fig.1. Carta geologica e geomorfologica della penisola di Nora (Di Gregorio, Floris, Matta 1999, Previato 2016).

significativi nel definire il contesto sono ovviamente i depositi sabbiosi che formano le due spiagge principali: quella di Nora estesa tra Punta S. Vittoria e il promontorio e quella di Agumu prolungata tra Fradis Minoris e Punta d'Agumu. Il materiale di cui sono composte tali spiagge deriva non da apporti sedimentari fluviali ma dallo smantellamento degli accumuli quaternari di spiaggia sommersi posti parallelamente alla linea di costa odierna.

Da un punto di vista geomorfologico il contesto territoriale può essere descritto distinguendo tre macroaree principali, morfologicamente distinte da un punto di vista genetico: una fascia pedemontana, la fascia intermedia e la fascia costiera.

La fascia pedemontana, estesa lungo tutto il bordo dei rilievi paleozoici che chiudono la piana occidentale e caratterizzata dalla presenza di depositi di versante legati al prevalere di processi relativi alla gravità, al ruscellamento superficiale e al geliflusso, funziona da raccordo tra la fascia montana e la piana alluvionale. La copertura attuale, composta da falde di detrito e piccoli con di deiezione, risulta però di minore estensione rispetto ai depositi più antichi pleistocenici dal momento che le dinamiche sono state molto più attive in passato. La copertura pleistocenica è

infatti costituita da glacis quaternari²⁴, ovvero forme relitte e non più attive, più o meno incisi e terrazzati che si sono formati in presenza di abbondanti piogge, detrito, copertura vegetale ridotta e in una particolare condizione climatica che è quella periglaciale, la quale ha interessato in più momenti la Sardegna durante le fasi fredde del Quaternario.

La fascia intermedia rappresenta invece la piana alluvionale ovvero l'area nella quale i processi alluvionali hanno prevalso sia durante il Pleistocene, i cui depositi sono per lo più terrazzati, sia nel corso dell'Olocene, i cui depositi possiedono al contrario una distribuzione continua. In generale la morfologia è pianeggiante interrotta solo dalle colline andesitiche che costituiscono gli alti morfologici. A tale proposito la penisola ha una modesta estensione, circa di 2.8 km²⁵, con andamento abbastanza pianeggiante e alcune variazioni di quota in corrispondenza di affioramenti del substrato andesitico²⁶. Essa però, collegata solo da un istmo sabbioso e molto stretto alla terraferma, non è caratterizzata dalla presenza di un reticolo idrografico naturale superficiale ma solamente da acque di ruscellamento per cui se da un lato la carenza di risorse idriche superficiali non ci permette di approfondire il tema della morfologia fluviale dall'altro spiega l'alto numero di pozzi²⁷ e cisterne²⁸ realizzati con differenti forme e tecniche che testimoniano chiaramente il problema dell'approvvigionamento idrico e quindi come l'acqua doveva essere regolata e perfino "tesaurizzata". Infatti l'unica risorsa per il rifornimento d'acqua era la falda acquifera sotterranea, difficile tuttavia da valutare in quanto soggetta in tempi brevi a variazioni di quota e di portata²⁹. Inoltre sulla base di un'indagine dell'Ente Idrografico della Sardegna, il territorio di Pula e la penisola di Nora, oggi come nell'antichità, risulta una delle zone più povere dal punto di vista delle precipitazioni.

Oltre ai fenomeni naturali, la conformazione superficiale della penisola è perciò stata condizionata molto anche dalla presenza antropica sia nel passato, ovviamente ben evidente nelle vestigia archeologiche e nelle preesistenze con valenza storico-culturale realizzate prelevando materiale da costruzione direttamente in situ o nelle immediate vicinanze, sia nel presente attraverso la lunga stagione di campagne di scavo archeologico che hanno comportato invece lo spostamento di terra, pietre e materiale con la creazione di accumuli e discariche moderne. Inoltre, se andiamo a esaminare la Carta d'Uso del Suolo della Regione Sardegna, tutto il territorio da noi qui preso in esame è classificato proprio come Area Archeologica.

Maggiormente evidenti sono invece le forme legate ai processi eolici e ai processi litoranei.

²⁴ Melis, 2013.

²⁵ Di Gregorio *et alii*, 2010.

²⁶ Di Gregorio *et alii*, 1999; Di Gregorio *et alii*, 2010.

²⁷ In Ginouvés, Martin, 1992: "creusé dans le sol et permettant d'atteindre une nappe d'eau souterraine"

²⁸ In Ginouvés, Martin, 1992: "avec parois taillées dans le rocher, construites avec un revêtement hydraulique"

²⁹ Cespa, 2018.

In primo luogo il vento con la sua azione meccanica è in grado sia di trasportare materiale, prevalentemente di granulometria fine come polveri e sabbie, sia di modellare forme di deposizione, per di più caratterizzate dalla presenza di frammenti di manufatti punici e romani e forme di erosione, tra cui distinguiamo le forme di deflazione e le forme di corrosione. Le prime sono riconducibili al processo selettivo di denudazione della superficie tramite la rimozione delle particelle più sottili, cioè in grado di essere coinvolte nel trasporto eolico, e il lascito in posto sul suolo del materiale più grossolano; le seconde invece sono originate dall'azione di levigazione, cesellatura e smantellamento delle strutture da parte delle particelle solide trasportate dal vento che colpiscono violentemente le superfici delle rocce.

In secondo luogo non è possibile pensare a Nora senza considerare lo spazio marino che la circonda quasi completamente. Arriviamo perciò a dover necessariamente considerare la fascia costiera. Infatti tra tutti i fattori, l'azione morfodinamica del mare, che si esplica attraverso i processi costieri quali l'azione del moto ondoso, le correnti litoranee e le maree in combinazione con i processi dell'ambiente continentale, è quella predominante.

Innanzitutto è possibile affermare con sicurezza che la conformazione della penisola e l'attuale zona costiera, ovvero la fascia di interfaccia fra il mare e la terra che comprende sia il fondale marino poco profondo in cui si risente dell'azione morfologica del moto ondoso (fino alla profondità di chiusura di $\lambda/2$) sia il tratto dell'entroterra interessato dagli effetti morfologici dei movimenti del mare³⁰ in cui si posiziona il litorale e la linea di riva, non corrispondano a quelle antiche. Tale consapevolezza è soprattutto legata all'individuazione di una serie di strutture ed evidenze archeologiche sommerse in prossimità della costa lungo la battigia quale segno tangibile di una modificazione del paesaggio: infatti, giungendo alla città lungo la moderna strada asfaltata si può notare nell'estremità settentrionale della rada di Sant'Efisio e verso il mare l'area del *tophet* punico scoperto nel 1889 a seguito di una forte mareggiata; lungo il fronte orientale dell'odierna spiaggia è facilmente visibile, soprattutto in condizioni di bassa marea, una struttura muraria sommersa a una profondità variabile tra -0,20 e -0,50 m s.l.m., lunga circa 15 m, conservata solo a livello delle fondazioni che per spessore e posizione doveva forse possedere una valenza pubblica e difensiva³¹ mentre, più avanti, appena sotto il pelo d'acqua sono percettibili ancora altre tracce di un edificio antico (Fig.2); rimanendo sempre sul costone roccioso di levante dell'istmo vi è anche la necropoli fenicia-punica orientale in parte celata e in parte crollata in mare a causa dell'erosione marina e delle violente mareggiate invernali³²; seguendo invece il percorso turistico all'interno del

³⁰ Ciccacci, 2019.

³¹ Bonetto *et alii*, 2015.

³² Di queste tombe e della loro posizione rispetto alla linea di costa ne faceva già menzione il Patroni nel 1904 mentre il Pesce nel 1972 scriveva: "Nella balza rocciosa, formante il litorale, che guarda a NE là erano scavate le tombe più

parco archeologico verso la cala orientale, si notano in acqua fino a una profondità di 0,60 m o addirittura affioranti in condizioni di bassa marea alcune strutture murarie parallele alla costa tra cui i resti di un grande muro il quale, secondo la lettura attualmente accolta e condivisa, doveva essere in connessione con oltre dieci cisterne e fare parte di un sistema di terrazze a mare realizzate per ampliare la superficie urbana fruibile, regolarizzare il profilo costiero e delimitare le Terme di Levante; la cala meridionale, compresa tra il Coltellazzo e Punta 'e su Coloru, che si presenta come un'insenatura bassa e poco ripida doveva possedere un assetto a sostruzioni e terrazze ma è stata modificata nel tempo sia nella linea di riva sia nella fisionomia del fondale da vari fattori tra cui, specificatamente, la costante erosione marina e le violente tempeste stagionali che hanno danneggiato e cancellato parte del Foro romano e del quartiere residenziale meridionale ad ovest di esso, ovvero le cd. Case a Mare; continuando verso il fronte occidentale si notano dunque due grandi strutture. Dapprima si incontrano le Terme a Mare, il più grande degli edifici termali presenti a Nora, fortemente intaccate dall'azione del mare. In particolare il lato occidentale, ora eroso dall'azione del mare, doveva ospitare in antico un corridoio di servizio dove si trovavano i forni per il riscaldamento degli ambienti³³ (Fig.3). Dinanzi a circa 1 m di profondità e 90 m di distanza dalla ristretta spiaggia, composta prevalentemente da ciottoli su cui si vedono ancora i ruderi dell'edificio, vi è una lunga struttura con andamento obliquo in grandi blocchi arenitici squadrati, comunemente nota come "Molo Schmiedt"³⁴, forse esempio tangibile di un primo intervento ingegneristico a limitazione e a protezione dai forti venti occidentali e di conseguenza dal moto ondoso e per cui posizionata, in modo con casuale, presso un gradino naturale di approfondimento del fondale³⁵. Poco più a nord lungo la strada del porto si trova la Basilica cristiana (Fig.4) che attualmente termina a picco sul mare poiché le mareggiate hanno eroso la costa su cui poggiava l'edificio antico e dove in origine poggiava l'abside portando di conseguenza al crollo di quasi due terzi dell'edificio. Attualmente, infatti, si trovano crollati a mare e visibili solo come affioramenti le fondazioni dell'abside e alcuni muri appartenenti alle navate laterali, mentre molti dei ciottoli presenti sulla riva poco sabbiosa sono presumibilmente dovuti all'azione di erosione e trasporto del mare. Gli ultimi rilevamenti geologici hanno altresì precisato che l'edificio religioso venne edificato su un substrato costituito prevalentemente da sabbie e limi. Tali sedimenti permettono

cospicue, varianti di un medesimo tipo di sepoltura ch'era uno dei più antichi usati dai fenici [...] le mareggiate hanno fatto franare la parete esterna del ciglione roccioso ed oggi chi vada giù e cammini sulla spiaggia può vedere queste celle sepolcrali, tagliate in sezione". Una descrizione precisa di queste strutture viene data anche dal Bartoloni, vd. Bartoloni 1985, e da una serie di ricercatori impegnati nel progetto di ricognizione archeologica sul territorio, vd. Botto, Rendeli, 1993.

³³ Tronchetti, 1985.

³⁴ La struttura è stata identificata tramite foto aeree per la prima volta nel 1965 da G. Schmiedt.

³⁵ Bonetto *et alii*, 2015.

quindi di supporre che contemporaneamente all'erosione per scalzamento siano intervenuti fenomeni di subsidenza dovuti alla compattazione del sedimento³⁶.



Fig.2. Fotografia panoramica del lato orientale dell'istmo di Nora con dettaglio di resti murari e strutturali sommersi (Nora 2021).



Fig.3. Fotografia della cala occidentale con dettaglio dei resti murari presenti in mare in condizione di bassa marea delle Terme a mare o dette Grandi Terme (Nora, 2021).



Fig.4. Fotografia panoramica del lato occidentale della penisola con rappresentazione della Basilica cristiana crollata a mare (Nora, 2021)

³⁶ Melis, 2013.

Infine, considerando sempre l'area di nord-ovest, per completezza sottolineiamo un ulteriore modificazione della morfologia del paesaggio antico dovuta però in questo contesto non tanto a fattori naturali quanto all'intervento antropico più recente. Difatti impattante ma significativa è stata la costruzione nel 1957 di una diga carrabile³⁷ a collegamento della penisola di Is Fradis Minoris con l'istmo di Nora. La realizzazione di quest'opera infrastrutturale, tuttavia, non permette subito di comprendere l'assetto che il territorio aveva in passato e soprattutto il vero rapporto in antico tra la cava e la città. Precedentemente, ovvero dall'epoca antica fino a metà del XIX secolo, nell'insenatura, oggi trasformata in laguna e utilizzata come peschiera, doveva infatti collocarsi un grande bacino riparato, il quale, a fronte di determinate caratteristiche favorevoli, viene ritenuto tutt'oggi il luogo ideale dove aveva sede il porto della città.

Perciò il riconoscimento di queste evidenze appena descritte e la percezione del rischio idrogeologico hanno indotto il Dipartimento di Beni Culturali dell'Università di Padova in cooperazione con la SABAP di Cagliari, tramite l'attivazione nel 2011 del progetto "Nora e il mare", ad indagare in primo luogo i rapporti fisici e funzionali tra l'abitato antico e lo spazio marittimo per ricostruire l'originario perimetro costiero e i limiti della città e in secondo luogo ad elaborare previsioni di rischio future nell'ottica della tutela del patrimonio archeologico costiero e sommerso.

I due principali rischi che in passato hanno causato la sommersione e lo smantellamento delle strutture e di porzioni di edifici punici e romani e che oggi continuano a minacciare e a modellare la costa costringendo il sito a adattarsi sono infatti l'innalzamento del livello del mare e l'erosione costiera.

All'interno dei cambiamenti ambientali e climatici la variazione del livello del mare oltre ad essere un tema di ricerca "giovane", del quale il mondo scientifico ha cominciato ad occuparsi solo a partire della seconda metà del Novecento, risulta anche complesso e globale.

Gli studi di recente effettuati o ripresi in alcuni casi, per approfondire o completare precedenti indagini in varie località costiere della Sardegna, nel ricostruire l'antico paesaggio costiero e nel valutare i cambiamenti del livello marino, partendo dal presupposto che l'isola sia stabile dal punto di vista tettonico almeno a partire dal Tirreniano in accordo con i dati ottenuti da precedenti studi di Neotettonica, hanno individuato principalmente come cause le variazioni sia isostatiche sia eustatiche e si sono basati sugli ultimi e attendibili modelli eustatici e isostatici³⁸.

In breve, durante il periodo geologico del Quaternario, diviso nelle epoche geologiche del Pleistocene e dell'Olocene, sono intervenute alterne variazioni climatiche con trasgressioni e

³⁷ Previato, 2016.

³⁸ Antonioli *et alii*, 2007; Lambeck *et alii*, 2011.

successive regressioni marine. In particolare durante il Pleistocene superiore o Tardo Pleistocene o noto anche come Tarantiano vi sarebbero state dapprima una trasgressione marina durante l'interglaciale Riss-Würm (120.000-110.000anni fa) corrispondente al Tirreniano e caratterizzato da temperature molto simili a quelle attuali e dalla formazione di depositi litorali, già menzionati precedentemente che hanno generato anche la cd. Panchina tirreniana e poi una fase successiva di regressione nel corso della glaciazione Würm (110.000-10.000 anni fa) nella quale si registra per di più una fase di massima espansione dei ghiacci conosciuta come Ultimo Massimo Glaciale (LGM). È invece da ricollegare all'ultima fase di trasgressione tuttora in corso, ovvero quella Versiliana iniziata con l'Olocene, l'attuale livello del mare il quale, anche se in continuo innalzamento, negli ultimi 4.000 anni circa ha diminuito la sua velocità di risalita e 3.000 anni fa si è assestato su valori che hanno consentito la formazione di grandi pianure costiere e dei grandi delta fluviali³⁹.

Per quanto riguarda la costa sarda meridionale, sulla base di un sistema di markers sia archeologici sia geologici e biologici, presi come riferimento al fine di quantificare l'entità dell'innalzamento, possiamo dire che il periodo punico e romano repubblicano sarebbero stati caratterizzati da un livello del mare inferiore di circa 2 m rispetto all'attuale⁴⁰ mentre per la fase romana imperiale, interessata da un incremento tra i 0,70 e 0,80 m, il livello del mare sarebbe attestato a circa -1,20 m s.l.m.⁴¹. In merito a Nora, quale specifico caso studio, la linea di costa di epoca romana, sulla base di fondazioni murarie, cave e frangiflutti le cui quote registrate si dispongono intorno a -0,50 m e -0,89 m in un caso⁴², è stata collocata intorno alla quota di -1,40 m sul livello del mare attuale e quindi essa doveva situarsi in una posizione avanzata di circa 30-50 m⁴³ rispetto all'attuale (Fig.5), con l'eccezione chiaramente dei due alti promontori. È inoltre logico e indubbio ritenere che anche per la penisola norense, al pari degli altri siti analizzati sulla costa meridionale, le fasi più antiche di epoca arcaica fossero contraddistinte da un livello del mare addirittura inferiore e, di conseguenza, da una maggiore estensione del suolo fruibile e della costa. Tali valori, malgrado ciò che oggi siamo portati a supporre da uno sguardo veloce e globale del territorio della penisola, ci permettono da un lato di percepire e comprendere meglio sia l'effettiva forma ed estensione della città antica che il verosimile tracciato dell'antico litorale e dall'altro di rivalutare il reale rapporto

³⁹ Lambeck *et alii*, 2004; 2011; Antonioli *et alii*, 2010.

⁴⁰ I valori di quota proposti sono calcolati sul livello del mare attuale (2012), corrispondente ad una quota di +0,18 m sul livello medio del mare stabilito dal mareografo di Cagliari nel 1956.

⁴¹ I dati qui presentati, sia cronologici sia di quota rispetto al livello del mare attuale, costituiscono un resoconto a seguito di un'analisi basata su indicatori sia archeologici sia geomorfologici individuati e studiati in contesti e siti posti sulla costa meridionale della Sardegna: Capo Malfatano, l'isola di Sant'Antioco e la Laguna di Santa Gilla. Per maggiori approfondimenti si veda Orrù *et alii*, 2004; Antonioli *et alii*, 2007; Orrù *et alii*, 2011; Antonioli *et alii*, 2012; Orrù *et alii*, 2014; Lambeck *et alii*, 2004 e 2011.

⁴² Bonetto *et alii*, 2017.

⁴³ Bonetto *et alii*, 2015.

tra abitato e il mare sia a livello urbanistico, progettuale sia sul piano funzionale ed economico se pensiamo allo sfruttamento delle cave o del porto.

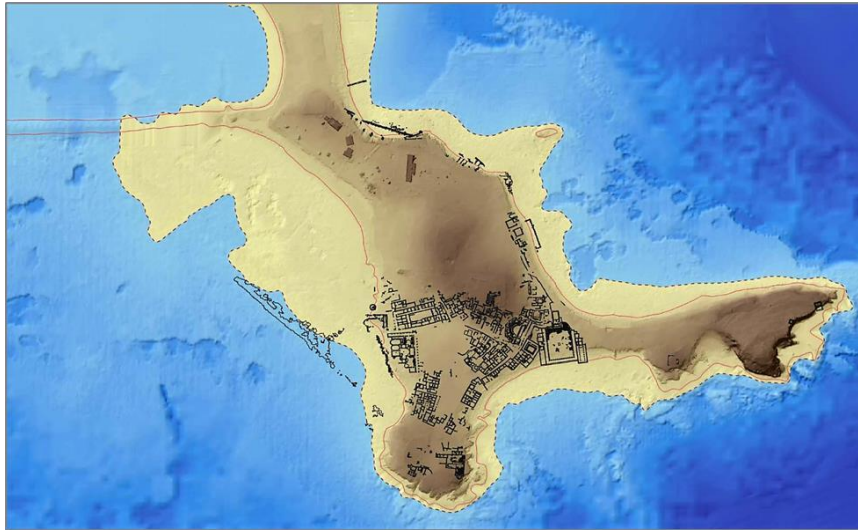


Fig.5. Modello digitale del terreno della penisola con indicazioni archeologiche, altimetriche e batimetriche. In particolare viene precisata sia la linea di costa attuale (in rosso) sia l'antica linea di costa (tratteggiata) collocata a -1,40 s.l.m. (Bonetto, Carraro, Metelli, Sanna, 2017).

L'arretramento della linea di costa per il fenomeno dell'innalzamento del mare è accentuato significativamente dal secondo problema, ovvero l'erosione che rappresenta una minaccia maggiore e altrettanto grave. L'erosione marina, ovvero l'azione distruttiva operata dal mare, rientra tra i processi costieri esito del moto ondoso, delle mareggiate, violente soprattutto nel caso delle onde di tempesta, e delle correnti marine e si esplica attraverso una serie di azioni che comprendono: la degradazione operata dalle acque marine al contatto con le rocce e i sedimenti litorali; la presa in carico di detriti sciolti; l'azione meccanica associata all'urto dell'onda; l'azione di abrasione esercitata dai detriti presi in carico e scagliati con alta energia contro la costa.

Nel nostro caso specifico, la morfologia della costa è quella di baie alternate a promontori mentre l'intero promontorio è classificato come "falesie e versanti costieri ad alta energia"⁴⁴. Nella penisola norense gli effetti dell'aggressione del mare sono infatti ampiamente evidenti poiché hanno determinato danneggiamenti al sito e modifiche consistenti alla morfologia costiera causando crolli nei conglomerati e nelle arenarie del Tirreniano, intagliando falesie sulle andesiti e ricavando nelle zone sommerse antistanti degli spianamenti conosciuti come piattaforme o terrazzi di abrasione antiche e altre recenti in formazione con estensioni anche notevoli a testimonianza di un'azione demolitrice da parte del mare molto pronunciata. In particolar modo alla base della ripa d'erosione o falesia in corrispondenza del livello del mare, da cui l'utilità come marker, vi è anche la formazione di una nicchia, detta solco di battente, che approfondendosi provoca il franamento

⁴⁴ Definizione presente nello studio preliminare ambientale per gli interventi per la messa in sicurezza dell'area archeologica di Nora (Capo di Pula).

della parte soprastante e la caduta dalle pareti di grossi blocchi, dando così luogo a un continuo arretramento. Inoltre è necessario sottolineare che, essendo presenti al di sotto della porzione superiore meglio cementata depositi di spiaggia quaternari spesso sciolti e per lo più sabbiosi mentre ancora inferiormente limi, argille e strati alluvionali poco addensati e compressibili, a lungo termine ne può conseguire non solo instabilità ma anche compattazione dei sedimenti sotto il loro stesso peso e perciò un abbassamento progressivo del deposito verso mare causa di declino delle strutture⁴⁵. L'energia delle onde ha infine creato spiagge di granulometria sabbiosa o ciottolosa nei tratti costieri costituiti da litologie più facilmente erodibili e meno resistenti.

Entrando nel dettaglio dal punto di vista morfologico lungo l'istmo sul lato orientale è visibile una scarpata e una ripa d'erosione marina attiva. Nello studio degli ambienti costieri molti autori hanno dato il loro contributo fornendo una loro propria classificazione delle coste: descrittiva, genetica e morfodinamica. In particolar modo all'interno di quest'ultima categorizzazione principale riferimento è il Diagramma di Valentin⁴⁶ che si riferisce al rapporto tra emersione e sommersione rispetto a erosione e deposizione, ovvero consente di individuare la posizione della costa in un diagramma ad assi cartesiani tenendo in considerazione sia gli spostamenti orizzontali sia quelli verticali. Applicando allora questo schema al nostro specifico caso la costa, in erosione e in sommersione, appare perciò in arretramento. Dall'ingresso dell'area archeologica fino alla base della Torre di S. Efisio, secondo una classificazione invece descrittiva del profilo, la costa è bassa caratterizzata da un gradino di retrospiaggia – inciso ora su materiale detritico continentale e ora sulle arenarie e i conglomerati di spiaggia tirreniani – e da inizialmente sabbiosa diventa poi ciottolosa, costituita da ciottoli in prevalenza vulcanici. La zona sottostante il Coltellazzo, su cui sorge la Torre spagnola di S. Efisio che nonostante il recente restauro si trova in condizioni precarie per via della stabilità statica della struttura stessa, si presenta invece come una vera e propria falesia marina attiva a strapiombo, cioè a picco sul mare, con costa frastagliata e contrassegnata da un sistema di fratture di natura tettonica. Inoltre in questo settore il moto ondoso nel tempo ha inciso i fronti rocciosi costituiti da lastre e cunei, per alcuni tratti anche consistenti in conglomerati vulcanici più facilmente erodibili⁴⁷, provocando crolli e fenomeni franosi, molto pericolosi, con conseguente accumulo di blocchi alla base della falesia e arretramento della stessa. Tra il promontorio di S. Efisio e l'estremità meridionale della penisola, ovvero il Capo di Pula, il tratto di costa, su cui si affaccia il limite di chiusura australe del Foro romano, si sviluppa, a causa dell'arretramento, a insenatura con spiaggia prima ciottolosa e poi sabbiosa esito dell'intensa

⁴⁵ Melis, 2002.

⁴⁶ Valentin, 1952; Ciccacci 2019.

⁴⁷ Di Gregorio *et alii*, 1999.

dinamica marina e di vari fattori concomitanti. L'aspetto maggiormente interessante riguarda però la presenza tra i ciottoli di natura vulcanica di alcuni ciottoli di natura granitica che sono estranei al contesto e quindi esito di erosione e trasporto litoraneo. Senza dubbio possiamo affermare che questo è uno dei tratti di costa del promontorio a più alta energia. La zona corrispondente al tempio punico-romano di Eshmun/Esculapio è invece una costa alta e rocciosa contornata ai suoi piedi da un terrazzo d'abrasione marina di blocchi andesitici e resti murari. Essendo inoltre un santuario costiero di primaria importanza, un caposaldo territoriale e un riferimento per i naviganti, esso doveva possedere un accesso diretto anche dal mare come suggerisce il ritrovamento di una discesa a gradoni scavata nell'affioramento roccioso sottostante e conservata solo in parte⁴⁸. Infine verso nord nella cala occidentale, compresa tra Punta 'e su Coloru e la spiaggia di Agumu, la costa, sempre in arretramento, ritorna bassa e rettilinea per 500 m circa composta inizialmente da ciottoli esito di degradazione litoraneo, smantellamento delle strutture e deposito di materiali anche alloctoni. In quest'ultimo tratto costiero sono infatti molto evidenti i segni di arretramento del litorale, come mostra il progressivo smantellamento della basilica cristiana e delle terme romane⁴⁹. Gradualmente verso la peschiera la riva è costituita ormai da sabbie su cui in autunno a seguito delle mareggiate si deposita la *Poseidonia oceanica*. Questa pianta, protetta da norme nazionali e internazionali e particolarmente importante per l'ecosistema marino, è trasportata dalle onde marine sul litorale dove forma le banquettes, ovvero banchi di considerevoli dimensioni composti dalle foglie brune ormai alla fine della loro vita, o si accumula sottoforma di palle di mare o, usando il termine tecnico, di egagropili costituiti dalle fibre delle foglie e dei rizomi che assumono la caratteristica forma sferica per l'azione rotatoria delle onde della risacca. La sua fondamentale importanza risiede nella sua duplice funzione di protezione: da un lato la prateria di *Posidonia* in mare rallenta e mitiga la forza del moto ondoso e delle correnti sulla spiaggia sommersa e intertidale, in cui si trova la battigia, mentre dall'altro, depositandosi e comprendo la spiaggia emersa, essa elude o comunque attenua l'azione di erosione e rimozione del materiale da parte delle onde almeno fino alla berma di tempesta.

Qualche tempo fa la penisola di Nora è stata tra l'altro oggetto di una ricerca stimolante ma articolata per la valutazione del rischio d'erosione costiera. In funzione di ciò, la strategia di studio si è basata in primo luogo, avendo costruito un modello concettuale e stabilito i parametri geologici e morfologici effettivamente influenti, sulla valutazione della pericolosità dell'erosione e, in secondo luogo, sulla vulnerabilità delle differenti strutture archeologiche a partire da una ricognizione cartografica della tipologia, della distribuzione e dall'importanza di queste.

⁴⁸ Solinas e Sanna, 2004.

⁴⁹ Di Gregorio *et alii*, 1999.

Il grado di rischio costiero, espresso quindi come prodotto della vulnerabilità per la pericolosità, a cui sono sottoposti i beni archeologici è stato precisato tramite una scala qualitativa in quattro classi: basso, medio, medio-elevato ed elevato. In conclusione, tutte le indagini hanno indicato una generale condizione di rischio derivato principalmente dall'erosione in quasi tutto il perimetro del promontorio. Ovviamente un tale pericolo a scala locale risulterà però più o meno accentuato in base alle caratteristiche geomorfologiche e geologico-tecniche dei terreni che costituiscono la costa emersa e sommersa, al grado di esposizione all'azione del moto ondoso ed alle condizioni di vulnerabilità delle testimonianze archeologiche presenti⁵⁰.

Infine, riconoscibili perchè responsabili della formazione e dell'evoluzione di peculiari forme del paesaggio ma anche della trasformazione delle rocce dure e compatte in materiali più teneri o in frammenti, preparandoli così al trasporto, sono i processi di alterazione e degradazione meteorica o weathering, ossia vale a dire l'insieme delle modificazioni fisiche e chimiche che subiscono le rocce al contatto con gli agenti atmosferici.

Tra questi processi e specificamente tra quelli di disgregazione fisica o meccanica, i quali comportano la fratturazione e frantumazione delle pietre, dei massi e in generale nel materiale roccioso affiorante, rientra anche l'aloclastismo o disgregazione salina (salt weathering) che possiamo riscontrare nelle rocce granulari, come le arenarie o le granitiche, presenti e utilizzate a Nora. Questo processo, tipico delle aree costiere ma anche desertiche, è principalmente risultato dell'azione della salsedine: il disfacimento avviene ad opera di soluzioni acquose ricche di sali che penetrano facilmente tra un cristallo e l'altro o tra un granulo e l'altro della roccia. Successivamente, a causa delle elevate temperature, l'acqua evapora e i sali precipitano e solidificano in forma cristallina. La cristallizzazione dei sali nelle fratture determina quindi la separazione dei granuli, la formazione di giunti e l'allargamento delle fratture. L'esito più evidente sono delle cavità alveolari.

Perciò, per chiudere questa trattazione di carattere geomorfologico, si può concludere affermando sicuramente che la topografia attuale del promontorio non rispecchia fedelmente quella antica e che la fantasiosa convinzione dell'esistenza di una "Nora sommersa"⁵¹, da cui sono nate nel tempo diverse leggende locali basate perfino su tradizioni orali di una città giacente sul fondale marino, si basi in realtà sull'effettivo e accertato arretramento nel tempo della linea costiera che in alcune porzioni risulta molto marcato ed evidente. Quindi lo stesso mare, un tempo porta del Mediterraneo e veicolo di persone e merci, attualmente, anche a causa dei cambiamenti climatici, rappresenta la principale minaccia per la conservazione del sito archeologico.

⁵⁰ Di Gregorio *et alii*, 2010.

⁵¹ Tronchetti, 2001; Bonetto, 2014.

Inquadramento storico e archeologico

- Le prime frequentazioni e il periodo fenicio-punico

La lunga stagione di scavi nella penisola norense (Fig.6) ha fornito gradualmente nel tempo una notevole quantità di dati e spunti di riflessione e d'approfondimento relativi alle diverse culture che hanno distinto questo insediamento nel tempo, alla crescita e alla progressiva trasformazione della città nei secoli, dalle origini fino al suo definitivo abbandono: la sua storia si è infatti interrotta oltre un millennio fa.

Si cercherà quindi in questo primo paragrafo, partendo dalla cospicua documentazione sinora edita, di presentare un quadro storico ed archeologico il più possibile completo e chiaro, anche se non sempre analitico, delle principali testimonianze norensi e dell'evoluzione della città sia nello spazio sia nel tempo all'interno delle maggiori dinamiche e vicende mediterranee dell'epoca.



Fig.6. Il contesto di studio: la penisola di Nora. (Foto aerea da drone).

La storia di Nora, prima come abitato e dopo come città complessa avente una propria organizzazione e struttura sia urbana sia amministrativa, è ovviamente esito di diversi momenti, più o meno lunghi, divisi da avvenimenti socio-economici, culturali e politici che hanno comportato sia una continuità sia una rottura rispetto alle fasi precedenti.

Il territorio del promontorio che si protende verso il mare caratterizzato da due punte elevate ben visibili e agevoli punti di approdo, sul quale sorgerà la città antica come la conosciamo oggi, è stato interessato dalla presenza di insediamenti umani fin dalla tarda età del Bronzo (1175/1150-950/925 a.C.) e la prima età del Ferro. L'inquadramento cronologico deriva con sicurezza dal ritrovamento e dallo studio di ceramica nuragica sarda⁵², la quale ha quindi permesso di retrodatare, rinnovando gli ultimi studi, le primissime frequentazioni tra la metà del XII e la fine del X sec. a.C. I materiali

⁵²Secco *et alii*, 2020.

fittili, riconducibili alla cultura materiale nuragica, sono stati recuperati in discreto numero sia durante il sondaggio preliminare del 2013-2014 sia nel corso della campagna di scavo del 2019 dell'Università degli Studi di Padova⁵³ in uno spazio privo di evidenze monumentali, dunque idoneo per l'approfondimento stratigrafico fino ai livelli più antichi e sterili, sul versante sud-est del cd. Colle di Tanit e in particolare a est del cd. Tempio romano. Tale area, infatti, costituiva e rappresenta tuttora per ulteriori approfondimenti futuri un contesto molto interessante sia per le frammentarie ma abbondanti evidenze nuragiche, come i caratteristici conci a "T", sia per la presenza di una lunga struttura muraria e di una serie di piccole buche, sui livelli più antichi antropici di forme e profondità differenti solo in parte riferibili ad elementi strutturali. Possiamo anche ricordare che, in riferimento al versante sud-est del cd. Colle di Tanit, da un lato già G. Pesce menzionava nelle sue relazioni dei blocchi reimpiegati in strutture puniche-romane ma appartenenti a un possibile nuraghe e dall'altro è stato rinvenuto un bronzetto nuragico⁵⁴, oggi conservato nei magazzini della Soprintendenza. Inoltre la frequentazione dell'altura del Coltellazzo nel Bronzo Finale da parte di elementi indigeni trova riscontro nel rinvenimento, di cui ci informa il Patroni, agli inizi del Novecento, di una punta di giavellotto in ossidiana del periodo eneolitico e di ceramica nuragica. Infine, è utile sottolineare che, nonostante non sia tuttora possibile fornire dei dati solidi e conclusivi riguardo le fasi di costruzioni e di uso, proprio nella campagna archeologica 2019 da parte dell'Università degli Studi di Milano si è completata l'indagine del cd. Pozzo Nuragico⁵⁵ situato a una quota inferiore rispetto al livello del mare nel settore occidentale della penisola. La struttura del pozzo, anche se non citata da Pesce tra gli indizi della presenza nuragica a Nora, è comunque stata accettata da diversi studiosi⁵⁶ di plausibile origine preromana e forse nuragica, in primis per la presenza di un bacino di decantazione, elemento costruttivo molto diffuso proprio fin dall'epoca nuragica, per le impurità presenti nelle acque sorgive⁵⁷ e in secondo luogo per la planimetria e la scalinata d'accesso affini ad altri esemplari dei complessi santuariali nuragici ben noti nel resto dell'isola sfruttati dall'età del Bronzo fino all'età romana⁵⁸.

Con l'inizio dell'età del Ferro, sfruttando le principali correnti marine ed in particolare la rotta settentrionale dall'Oriente all'Occidente, si assiste al debutto dell'espansione fenicia, promossa non da una entità politica coesa bensì dalle singole città-stato costiere nella regione dell'attuale Libano, tra Palestina e Siria, verso il Mediterraneo occidentale. Tale espansione inizialmente assume un carattere di precolonizzazione, ovvero implica solo una frequentazione puramente

⁵³ Bonetto *et alii*, 2020, Quaderni Norensi 8.

⁵⁴ Pesce 1972; Bonetto *et alii*, 2020, Quaderni Norensi 8.

⁵⁵ Frontori, 2020, Quaderni Norensi 8.

⁵⁶ Bernardini 1993; Tomei 2009, p. 159; Sanna *et alii* 2009, p. 239.

⁵⁷ Fadda, 2015; Frontori, 2020, Quaderni Norensi 8.

⁵⁸ Sanna *et alii* 2009; Usai, 2015; Salis, 2017.

commerciale delle rive occidentali, come a Sant'Imbenia in Sardegna, a Cadice nella Penisola Iberica e a Lixus e ad Utica nel nord Africa, senza dare luogo a un impianto permanente⁵⁹. Le manifestazioni di questa prima fase, a causa della notevole vocazione commerciale e assente ambizione territoriale o politica, restano alquanto difficili da evidenziare e ci permettono solamente di ipotizzare una prima influenza orientale sulla cultura materiale delle popolazioni indigene.

A partire dal IX sec. a.C. e per tutto l'VIII sec. a.C., ovvero nella prima età del Ferro, sono invece attestate tre fasi distinte di espansione fenicia (Fer Iia, Iib e Iic)⁶⁰. Le prime due molto probabilmente vennero innescate, secondo la teoria più accreditata attualmente, dalla pressione assira sulle città della costa levantina obbligate a pagare considerevoli tributi per mantenere l'indipendenza, mentre la terza corrisponde al dominio neobabilonese sul Vicino Oriente. A differenza della precolonizzazione ora i commercianti Fenici cominciavano a stabilirsi stagionalmente ma anche permanentemente e durante l'arco cronologico VIII-VI sec. a.C., partendo da vari porti sulla costa levantina, crearono una rete di diversi approdi⁶¹ nella porzione occidentale del Mediterraneo, tra i quali possiamo catalogare anche il porto sardo fenicio di Nora che nasce come luogo di sosta ed emporio per lo scambio di merci, principalmente metalli, con le popolazioni interne.

Pausania nel II sec. d.C. scriveva “gli Iberi ... si trasferirono in Sardegna sotto la guida di Norace e da essi fu fondata la città di Nora, e tramandano che questa fosse la prima città dell'isola”⁶². Perciò, nonostante oggi sulla base dei dati conosciuti si sa che l'affermazione non è corretta – in primis perchè non è la fondazione più antica e in secundis la città dell'autore greco è una città a posteriori definita con i parametri dei suoi tempi e diversa da quella di coloro che eressero la stele⁶³ – secondo le fonti letterarie Nora rimane la più antica città della Sardegna fondata dagli Iberi identificati generalmente proprio con i mercanti Fenici guidati da Norace, che potremmo identificare come ecista eponimo e la cui tradizione viene poi ripresa da Solino⁶⁴ che ne specifica la provenienza da Tartesso⁶⁵. A riprova di questa prima frequentazione fenicia del centro sardo e degna di nota è la famosa cd. “stele di Nora” (Fig. 7) datata proprio al periodo compreso tra la seconda metà del IX e la prima metà dell'VIII sec. a.C. individuata in modo del tutto fortuito e recuperata nel 1773 da Padre G. Hintz al di fuori del contesto originale⁶⁶ bensì nel muro di una vigna di proprietà dei

⁵⁹ Carayon, 2008.

⁶⁰ Carayon, 2008.

⁶¹ Carayon, 2008.

⁶² Pausania, *Periegesi della Grecia*, X, 17,5.

⁶³ Oggiano, 2009.

⁶⁴ Solino, IV,2.

⁶⁵ Tronchetti, 2001.

⁶⁶ Pesce, 1972.

monaci della Mercede di Cagliari e oggi conservata al Museo Archeologico Nazionale del capoluogo sardo.



Fig.7. La stele di Nora e ricostruzione del tophet punico di Nora (Cagliari, Museo Archeologico Nazionale).

L'epigrafe, ritenuta la più antica testimonianza scritta trovata nel Mediterraneo occidentale, è composta da caratteri appartenenti all'alfabeto fenicio ed è stata datata da quasi tutti gli orientalisti sulla base della rozzezza dei caratteri e della posizione della lettera "Mem" tendente alla verticale⁶⁷. Ad oggi sono molte e diverse le traduzioni proposte negli anni dagli studiosi per cui l'interpretazione rimane ancora argomento di dibattito, anche se tra tutte sembra essere predominante la lettura di una dedica alla divinità con indicazione di un'ignota area sacra. Tuttavia, prescindendo da ciò, come ha fatto notare il professore G. F. Chiai dell'Università di Berlino, è ben leggibile e comprensibile la presenza del termine "šrdn" nella stele, univocamente tradotto con Sardegna, che può significare che i Fenici avessero appreso la parola, poi adattata al loro alfabeto, forse direttamente dagli abitanti del luogo e dunque fossero consapevoli di designare un territorio e di conseguenza un popolo. Pertanto la stele, che testimonia una frequentazione dell'area in un determinato momento storico intorno a un luogo probabilmente sacro, andrebbe contestualizzata all'interno di un punto di aggregazione predisposto come un centro protourbano o comunque un emporio, cioè un centro di scambi commerciali, sia locali sia ad ampio raggio, tra le presenze allogene e le popolazioni nuragiche che detenevano un ruolo attivo sia controllando le risorse agricole e minerarie sia tenendo saldo nelle loro mani l'uso e sfruttamento diretto del territorio. Dunque appare sicuro che inizialmente Nora fu un punto di arrivo sulla costa sud-occidentale sarda ma non si trattò di una vera fondazione coloniale con un impianto urbano strutturato, come siamo abituati a immaginare se applichiamo il modello della colonizzazione greca, bensì, più verosimilmente, essendo cause, tempi e modi diversi, si trattò di una sosta commerciale e poi di

⁶⁷ Pesce, 1972.

una occupazione stagionale visibile e documentata grazie al materiale ceramico che conferma la presenza di genti non locali a partire dalla seconda metà del VIII sec. a.C. Perciò la sua vocazione si è fin da subito delineata in senso marinaro e mercantile, piuttosto che di controllo del territorio suburbano.

Insistendo sempre sui rapporti mercantili, si evidenzia, poiché di notevole valore, che tra i materiali più antichi, in possesso degli studiosi e conservati nei depositi del Civico Museo Archeologico “Giovanni Patroni” di Pula, vi sono cinque frammenti⁶⁸, riconoscibili come parte dell’orlo, del corpo compresa l’ansa e del fondo, appartenenti a un esemplare di anfora di tipo Sant’Imbenia recuperato dal fondale norense. Tale tipologia di anfora, che per caratteristiche morfologiche, trattamento delle superfici e impasto ceramico può essere collocata tra le anfore sardo-fenicie usate tra la fine del IX sec. e i primi decenni del VII sec. a.C., come contenitore tipico da trasporto può infatti chiarire e/o confermare i rapporti, finora ipotizzati, tra le comunità locali e i nuovi protagonisti del Mediterraneo per questa seconda fase dell’età del Ferro.

Le prime vere testimonianze archeologiche maggiormente apprezzabili per qualità e quantità, individuate nel settore orientale della penisola e indagate grazie a una lunga stagione di indagini a partire dal 1996, risalgono però al VII sec. a.C. Esse consistono in un’attività di regolarizzazione del suolo sterile, piani in battuto e una serie di buche di palo per capanne di legno e ad altre strutture provvisorie in materiali deperibili che danno indicazione dell’insediamento fenicio come un esteso abitato distribuito sul pendio meridionale del colle di Tanit al di sotto del complesso forense e vicino al settore del “Tempio romano”⁶⁹ (Fig. 8). In particolar modo per indicare una tale modalità insediativa basata su strutture di legno e d’argilla e in continuo rinnovamento o ripristino nel tempo, molto simile a un accampamento, si è applicato il termine di “tendopoli”⁷⁰.



Fig.8. Ricostruzione tridimensionale dell’insediamento di età fenicia, (elaborazione grafica Ikon s.r.l. - Università degli Studi di Padova, Guida di Nora, 2018).

⁶⁸ Cassien, 1982-1984; Madrigali, 2020, Quaderni Norensi 8.

⁶⁹ Bonetto 2009; Bonetto 2014; Bonetto 2020, Quaderni Norensi 8.

⁷⁰ Bonetto, Ghiotto, 2013; Finocchi, 2013.

A livello tecnico-costruttivo, possiamo quindi notare che per questo periodo le strutture abitative erano realizzate esclusivamente in materiale deperibile mentre la pietra non rientrava ancora tra i materiali da costruzione. Questi dati sono stati di fondamentale importanza per l'avanzamento degli studi dal momento che hanno confermato e rafforzato sia la documentazione letteraria, epigrafica sia materiale già in possesso.

Al fine di rimarcare quanto sia importante lo studio della cultura materiale possiamo prendere come riferimento lo studio condotto da C. Tronchetti sui frammenti ceramici arcaici rinvenuti da ricognizioni di superficie, da scavi e da recuperi subacquei effettuati in prossimità dell'altura del Coltellazzo al fine di ricostruire la facies arcaica del sito. Lo studioso ha considerato i materiali ceramici sia in modo indistinto sia andando a suddividerli in categorie. Da un esame globale emerge in primo luogo l'elevata percentuale di anfore rispetto alle altre forme vascolari, indice di una spiccata vocazione commerciale dell'insediamento, e in secondo luogo come il sito costiero sia prosperato tra la metà del VII e la metà del VI sec. a.C. Dall'analisi delle classi ceramiche attestate, quali le anfore fenicie, le anfore commerciali di importazione, la ceramica fenicia da mensa e da dispensa, la ceramica fenicia da preparazione e cucina e la ceramica fatta a mano, ne consegue innanzitutto che dalla metà del VIII sec. a.C. vi sia stata una convivenza tra Fenici e indigeni basata su rapporti commerciali comprovati proprio dal materiale anforaceo, mentre all'avvio del VII sec. a.C. la situazione sia pian piano mutata. In questo caso si può affermare con certezza che la trasformazione materiale sia parallela e coincidente con la trasformazione sociale e insediativa più stabile. In questa fase sono infatti attestate in notevole quantità ceramiche fenicie soprattutto da cucina mentre contemporaneamente e gradualmente scompare la ceramica fatta a mano. Inoltre l'incremento delle anfore commerciali da altri contesti coloniali, come quelli fenici dell'Andalusia e dall'area cartaginese, e del vasellame da mensa di importazione sia dall'area etrusca meridionale sia, pur in modo minore, dal mondo greco-orientale mostra l'esistenza di una ampia rete di traffici e contatti che si snodano tramite le rotte marine. A partire da questo momento siamo perciò sicuri che Nora rientri pienamente nella rete commerciale mediterranea. Per questo periodo, inoltre, le scarse attestazioni ceramiche recuperate nell'entroterra (entro un raggio compreso tra i 2 e i 5 chilometri⁷¹) provano la discontinua e limitata frequentazione del territorio. Nella seconda metà del VI sec. a.C. viceversa si scorge molto bene, dal calo dalle ceramiche importate e dalle anfore commerciali, un momento di crisi dell'insediamento norense relativo non tanto a problemi interni quanto ai rapporti transmarini⁷².

⁷¹ Finocchi, 2013.

⁷² Tronchetti, 2010.

Un'ulteriore conferma di stabilità e persistenza del centro fenicio è poi fornita dall'individuazione nella zona settentrionale del promontorio leggermente in pendenza verso ovest, a circa 500 m dall'abitato, dell'area funeraria. Questa necropoli occidentale fenicio-punica, studiata in sei campagne di scavo, ha restituito, da semplici fosse scavate nel banco di arenaria in posto, sepolture ad incinerazione databili già alla prima metà del VII sec. a.C. anche grazie al corredo ceramico composto da associazioni di forme ricorrenti e riconoscibili come la brocca bilobata, la brocca ad orlo espanso o a fungo e le cooking pots⁷³.

Per questa fase fenicia, le ricognizioni hanno evidenziato che l'interesse verso le aree immediatamente prospicienti e il territorio appare limitato, per cui non è ancora possibile parlare di un paesaggio agrario strutturato (Fig. 9).

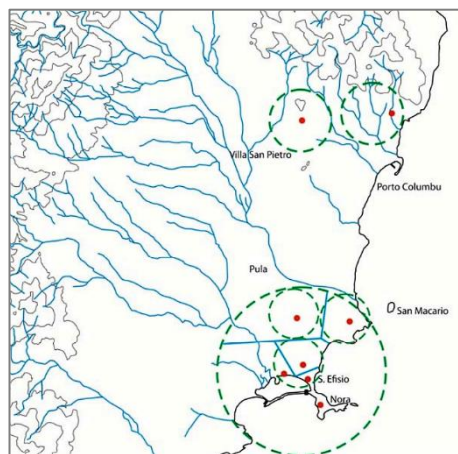


Fig.9. Rappresentazione del territorio di Nora durante la Fase fenicia di VII-VI sec. a.C. (elaborazione di M. Rendeli in Finocchi, 2013).

In merito al materiale arcaico, questo è stato rinvenuto, in primo luogo, al di là dell'istmo in un'area immediatamente retrostante la penisola e circoscritta entro un raggio di 2 km che comprendeva le zone vicino alla laguna e alle cale e lo spazio tra l'insediamento e il *tophet* in cui sembrano concentrarsi attività di tipo artigianale e commerciale. In secondo luogo, altri materiali sono stati individuati in alcuni centri indigeni nuragici a oltre 5 km di distanza, i quali suggeriscono l'esistenza di scambi commerciali sin dalle fasi iniziali di vita della colonia: è infatti probabile che sia i prodotti agro-pastorali necessari al sostentamento del primo impianto sia le materie prime come il legno e i metalli provenissero dalle popolazioni locali⁷⁴.

Lo scenario insediativo, sociale e politico norense mutò ulteriormente sul finire del VI e l'inizio del V sec. a.C. con la conquista cartaginese. Mutano perciò le condizioni politiche dell'isola e di Nora che, per posizione geografica, ora diventa l'approdo forse più agevole per i naviganti africani e vede quindi accresciuto il suo ruolo e la sua importanza.

⁷³ Bridi e Mazzariol, 2018, Quaderni Norensi 7.

⁷⁴ Botto, 2007.

Il VI sec. a.C., infatti, è determinante poiché segna una svolta nella storia del Mediterraneo antico sia in Oriente sia, di conseguenza, in Occidente. Nel primo anno del suo regno Nabucodonosor (604-562 a.C.) riceveva, come retaggio dal passato, ancora tributi dalle città costiere, le quali tuttavia decisero di ribellarsi e coalizzarsi scatenando una lunga guerra. Iniziò così con il 573 a.C.⁷⁵ un periodo di declino in cui Tiro, assediata per tredici anni, perse con il declino politico autonomia e autorità, come metropoli egemonica, sulle colonie fenicie in Occidente. Il suo ruolo venne ereditato da Cartagine, fondata secondo la tradizione dai Fenici di Tiro nel 814/814 a.C.⁷⁶, già però autonoma e promotrice di una politica mediterranea specifica e indipendente come dimostra la spedizione del generale cartaginese Malchus/Malco, intorno al 550/545 a.C., in Sardegna e in Sicilia o l'alleanza con gli Etruschi contro i Greci di Alalia nel 535 a.C. oppure ancora il primo trattato commerciale tra la città e Roma firmato nel 509 a.C. Tutte queste iniziative in politica estera illustrano bene il passaggio di Cartagine da città fenicia condizionata ancora dagli eventi socio-politici orientali a una città punica consolidata in terra d'Africa indipendente con una propria importante sfera di influenza, principalmente nel Mediterraneo occidentale: infatti i mari occidentali diventarono velocemente i mari di Cartagine grazie a una serie di imprese e alleanze di tipo mercantile e militare. All'interno di tale egemonia e di equilibri mutevoli in cui i mari liberi del Mediterraneo antico vanno incontro a destini diversi, la Sardegna viene conquistata da Cartagine tra il 545 e il 510 a.C.

La presenza punica a Nora, malgrado la successiva obliterazione urbana di età romana, si è potuto leggere in modo chiaro non solo mediante il materiale diagnostico ma anche grazie all'utilizzo di un doppio sistema metrologico e modulare di tradizione punica (il cubito grande e il cubito piccolo) e al miglioramento delle tecniche edilizie collegabili ormai a un vero e proprio progetto urbano. Possiamo quindi affermare che con l'avvio del V sec. a.C. Nora, diventando una città punica, conosce una svolta urbana. Inoltre, come asserito dagli archeologi che hanno lavorato nel settore dell'insediamento, è ammissibile affermare che il passaggio da presenza fenicia a occupazione punica sia avvenuto, anche se non senza un momento di crisi, con continuità suggerita dal mancato rinvenimento di segni di distruzioni o crolli di edifici arcaici e dalla costante manutenzione dei livelli pavimentali che furono interessati solo da un minimo accrescimento⁷⁷. In questa nuova fase abbiamo un'ulteriore regolarizzazione del suolo naturale tramite strutture a secco in grandi massi di granito rosa e di andesite, la preparazione di piani di calpestio, la costruzione di strutture modeste ma concrete con impianto regolare e realizzate impiegando materiali anche non deperibili, un

⁷⁵ Pesce, 1972.

⁷⁶ Carayon, 2008.

⁷⁷ Bonetto, Ghiotto, Novello, 2005.

articolato quartiere commerciale di magazzini e/o depositi di derrate, forse legato al porto, e delle abitazioni. Mentre gli edifici commerciali, messi in evidenza, sono stati realizzati impiegando una tecnica edilizia tipica fenicia e punica con zoccolo in pietre e argilla, alzato in argilla pressata e rivestimento in argilla con inclusi lapidei⁷⁸, invece le unità abitative, identificate nell'area definita delle "case a mare" vicino all'area forense a sud-est del teatro anche grazie al materiale punico rinvenuto nello scavo degli anni '50, sono state edificate impiegando dei muri a telaio e grossi blocchi monolitici di arenaria nei punti critici delle murature e negli angoli⁷⁹. È perciò tra il VI e il V sec. a.C. che all'interno della città la pietra cominciò ad essere diffusamente utilizzata come materiale da costruzione in ambito sia pubblico che privato. In relazione a questo impianto sono stati messi in luce anche tre pozzi (P1, P2, P3)⁸⁰, scavati a partire dal terreno sterile attraverso le andesiti conglomeratiche naturali fino all'acquifero sotterraneo per la captazione di acqua dolce, e un silos, per la conservazione di derrate alimentari⁸¹. Quindi solo in concomitanza con i primi fabbricati stabili venne progettato un sistema di approvvigionamento idrico continuativo. Esistono invece più ipotesi interpretative riguardo una parte dell'impianto caratterizzata da ambienti di forma allungata oltre i 7 m: se da un lato questi possono venire letti come grandi magazzini pubblici, come nel caso di Mozia, secondo un'altra visione e confronti noti nel Levante, in Palestina, in Siria e a Cartagine nella Casa 1 datata al VII e VI sec. a.C. sarebbero invece da considerare come parte di abitazione detta "maison à deux pièces longue parallèles"⁸².

Oltre a ciò, dagli scavi nell'Area "C", in posizione intermedia tra l'abitato, i magazzini e la plausibile area portuale, sembra che vi fosse un quartiere artigianale in base al rinvenimento di scorie di ferro, di rame e di *tannur*, ossia un forno in terracotta di tipo fenicio-punico di cui è stata recuperata in situ la base. L'attività metallurgica viene per giunta segnalata dal Patroni con il ritrovamento di un forno fusorio e un forno figulino di epoca punica in prossimità della casa della Guardiania⁸³.

Ulteriori indizi di pianificazione sono dati inoltre dalla realizzazione, in primo luogo, di un asse stradale rettilineo funzionale al collegamento tra i settori e, in secondo luogo, di una serie di cisterne per la raccolta dell'acqua piovana che permettono invece di affrontare studi sulla conservazione e disponibilità dell'acqua in ambito pubblico per le diverse attività e sulle tecniche edilizie. Tra i novantadue serbatoi d'acqua artificiali identificati per le fasi punica e romana si sono potute

⁷⁸ Bonetto, 2005, Quaderni Norensi 1.

⁷⁹ Mevio, 2017, Quaderni Norensi 6.

⁸⁰ Cespa, 2018.

⁸¹ Botto, 2007.

⁸² Oggiano, 2009.

⁸³ Botto, 2007.

riconoscere alcune cisterne di età punica (C1, C4, C5, C7, C8, C13)⁸⁴ innanzitutto per la forma allungata con terminazioni semicilindriche tipica e diffusa nei territori cartaginesi e legata alla tradizione costruttiva punica, poi per la distribuzione spaziale intorno all'area del foro e nelle vicinanze delle tre aree altimetricamente più elevate a destinazione sacra a partire proprio da questo periodo, e, infine, per la composizione degli intonaci murari di preparazione e di finitura, classificati tra i sistemi di rivestimento 1 (CS1), ovvero realizzati con intonaco ASH ricchi di cenere e di carbone, residuo di combustione di materia organica, e con una sporadica presenza di sabbia⁸⁵.

La trasformazione dell'emporio in città da parte della metropoli nord-africana, secondo canoni greco-mediterranei, ha anche previsto l'allestimento di opere monumentali come il Tempio di Tanit, per il quale ci rimangono degli apprestamenti murari, l'area sacra del Coltellazzo, caratterizzata da un edificio santuarioale a terrazza a cielo aperto dotata di un altare che trova confronti in area levantina e palestinese⁸⁶, e l'area sacra di Sa Punta 'e su Coloru in cui sorge il tempio di Eshmun nella prima fase o di Esculapio in età romana repubblicana e poi imperiale⁸⁷, il quale però viene impostato in un'area già usata dal VII-VI sec. a.C. con edifici in legno fenici. Dunque tre poli santuarioali disposti sulle tre principali alture in posizione dominante, quindi direttamente visibili dal mare per le imbarcazioni provenienti soprattutto dal Nord Africa, a formare una cintura sacra attorno all'abitato quasi delimitandolo e separandolo da quello che invece era lo spazio esterno ormai extraurbano. Infine, un ulteriore luogo di culto viene costruito in prossimità del lato settentrionale dell'area del foro, come è stato verificato dalle recenti indagini condotte dall'Università di Padova⁸⁸.

Al pari dell'ambito abitativo questa fase di trasformazione va ad interessare anche l'area settentrionale del suburbio assegnata ad uso funerario che ora vede, con l'abbandono del rito incineratorio fenicio precedente, l'introduzione dell'inumazione⁸⁹. La maggior parte dei dati ci giunge, proprio per la peculiarità di essere contesti chiusi e solo in parte già violati in antico o crollati a causa dell'erosione marina, dalle contemporanee necropoli.

Una prima area è la necropoli fenicia-punica occidentale, già menzionata, che mantenne la sua destinazione funeraria per tutto il V e il IV sec. a.C. e accanto ad essa, separata oggi dalla strada moderna, venne ad impostarsi, sempre sfruttando lo strato di arenaria quaternaria dell'istmo che collega il promontorio alla terraferma, la necropoli punica orientale collocabile cronologicamente

⁸⁴ Cespa, 2018; Secco *et alii*, 2020.

⁸⁵ Secco *et alii*, 2020.

⁸⁶ Esempi di terrazze cultuali sono stati rinvenuti a Mount Ebal e a Tell Dan. Vd. Botto, 2007, p. 119.

⁸⁷ Bondi, 2012, Quaderni Norensi 4; Bonetto e Marinello, 2017, Quaderni Norensi 6.

⁸⁸ Bonetto, 2009.

⁸⁹ Tronchetti, 2001.

tra i primi decenni del V sec. a.C. alla metà del III sec. a.C. Sebbene le due necropoli ebbero usi e destini diversi, esse erano entrambe contraddistinte dalle monumentali camere sotterranee, nelle quali erano deposti i defunti con i relativi corredi, scavate nella roccia e dotate di un pozzo d'accesso. Per completezza, è necessario sottolineare per prima cosa che nella necropoli occidentale alcuni ipogei vennero rifunzionalizzati in cisterne (T5, T6, T17)⁹⁰ attraverso il rivestimento delle pareti e del fondo con cocciopesto e malta idraulica mentre nella necropoli orientale alcuni ipogei vennero reimpiegati e secondariamente che le ultime sepolture attestate consistevano in resti combusti di individui incinerati contenuti in grandi olle in ceramica, secondo una nuova moda. Nel corso del V sec. a.C. nasce in aggiunta, sulle dune sabbiose che si stendono sulla spiaggia settentrionale rispettando quindi una delle poche norme fisse di urbanistica punica, il *tophet* punico (Fig.2), ovvero un settore sacro e rituale, dedicato esclusivamente alla sepoltura di bambini nati morti o deceduti quasi subito dopo la nascita. Tale spazio, ubicato in un'area periferica rispetto al nucleo urbano, possedendo una valenza sia necropolare sia santuariale e sia pubblica istituzionale sia più privata e intima, era segnalato da stele figurate votive, di cui non possediamo molti esemplari poiché alcune si trovarono decontestualizzate e altre vennero riutilizzate come materiale da costruzione negli edifici adiacenti la chiesa di Sant'Efisio. Sempre all'interno di questa area, a riprova della divinità onorata in età punica, è stato rinvenuto un frammento ceramico a vernice nera recante un'iscrizione dedicatoria “alla grande Tanit manifestazione di Baal”⁹¹.

Complessivamente i corredi funerari punici – ricchissimi di ceramica prodotta in loco o importata, come mostrano gli esemplari attici a vernice nera non tanto funzionali al culto quanto più legati alla mensa di lusso⁹² o i primi piatti da pesce, di materiali di pregio, quali stele, monili, amuleti, scarabei, oggetti in osso e metallo prezioso, di manufatti in pasta di vetro – ci restituiscono l'immagine di una città fiorente, non solo coinvolta e partecipe negli scambi commerciali e nei traffici mediterranei, come documentano per di più gli ottantacinque frammenti riferibili a anfore o generalmente a contenitori da trasporto fenici⁹³ e punici recuperati nel corso di ricognizioni subacquee di M. Cassien⁹⁴ e oggi conservati nei magazzini del Civico Museo Archeologico “Giovanni Patroni” di Pula, ma anche aperta al mondo greco, al mondo italico e in particolare in contatto con Roma⁹⁵.

⁹⁰ Bonetto, Carraro, Mazzariol, 2017, Quaderni Norensi 6.

⁹¹ Pesce, 1972.

⁹² Tronchetti, 1992; Tronchetti 2009; Zamparo, 2018, Quaderni Norensi 7.

⁹³ Madrigali, 2020, Quaderni Norensi 8.

⁹⁴ Sei campagne di prospezioni subacquee, condotte da un gruppo di volontari del Touring Club de France coordinato da Michel Cassien, tre il 1978 e il 1985.

⁹⁵ Tronchetti, 2001.

Un altro aspetto interessante da prendere in esame concerne il radicale cambiamento nell'occupazione del territorio e l'influenza esercitata dalla città nelle aree suburbane, nell'immediato entroterra e nelle aree circostanti. Nora, con la fine del V sec. a.C., diviene il caposaldo del territorio (Fig. 10): infatti, con la dominazione punica iniziò una forte ed evidente interazione tra il centro urbano, definito anche *central place*, e l'ambiente dell'entroterra con un'occupazione della pianura, delle colline, dell'area circostante la laguna e perfino delle alture e dei luoghi più impervi. Tale controllo territoriale, a fini produttivi e commerciali, si completò in seguito con l'impianto, prevalentemente lungo corsi d'acqua, di fattorie e centri produttivi artigianali punici⁹⁶ che testimoniano ormai un radicale mutamento delle forme di approvvigionamento e che dovevano garantire un surplus agricolo.

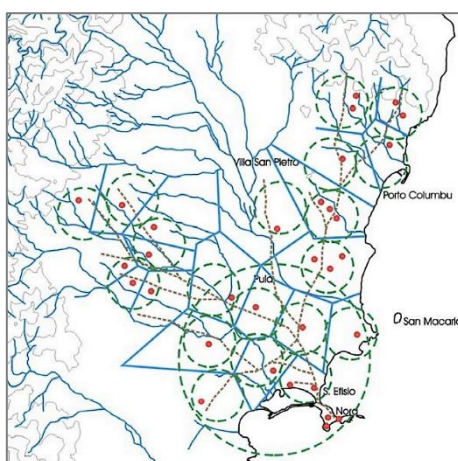


Fig.10. Rappresentazione del territorio di Nora durante la Fase punica di V-IV sec. a.C. (elaborazione di M. Rendeli in Finocchi, 2013).

Tuttavia, per meglio comprendere la struttura economica norense e quindi spiegare, per quanto possibile, la divergenza tra la ricchezza materiale e lo sviluppo urbanistico e architettonico della città rispetto alle campagne, la presenza di magazzini e di un porto, nel quale avevano luogo i contatti e gli scambi con il Mediterraneo, è fondamentale considerare sia i modi di produzione sia la quantità e la qualità dei materiali, sia la distribuzione gerarchica dei centri minori. Dalle ricognizioni svolte nel territorio suburbano sono emersi due dati: in primo luogo la povertà del repertorio vascolare e la mancanza o scarsa presenza di ceramica fine da mensa e in secondo luogo un notevole incremento dei siti satellite e degli annessi latifondi che hanno portato a ipotizzare l'impiego di manodopera di bassa estrazione sociale, forse anche servile, di origine nordafricana e controllata direttamente dalla città⁹⁷.

⁹⁶ Rendeli, 2005, Quaderni Norensi 1; Bonetto *et alii*, 2018.

⁹⁷ Rendeli, 2005, Quaderni Norensi 1.

Concludendo, la ricchezza che Nora poteva offrire, come centro logistico di arrivo e smistamento delle merci, consisteva nei prodotti legati sia alla pastorizia e all'agricoltura, quali grano, ulivo, lino, sia allo sfruttamento dell'ambiente marino tramite la pesca del tonno, delle sardine, la raccolta di cefalopodi e del corallo. Doveva essere inoltre abituale l'esportazione di sale⁹⁸, di metalli, di legname e infine di pietra, ricavata proprio a partire dall'età punica in grande quantità, sia come materia prima sia per la realizzazione di manufatti architettonici, sfruttando la vicina penisola di Is Fradis, la quale divenne perciò una cava a cielo aperto.

Se “i Fenici – come ha scritto il Mommsen – diedero prova di coraggio e d'intelligenza nel commercio e nelle industrie [...]; essi si diedero con entusiasmo alle arti marinaresche, alle manifatture, alla fondazione di colonie; a loro dobbiamo l'avvicinamento del mondo orientale con quello occidentale”⁹⁹ invece “Cartagine fu la prima città-stato che provò a dominare un impero, riuscendo a mantenere un tale dominio per tre secoli”¹⁰⁰.

Per tutto questo lungo periodo, a partire dal 550 a.C., Cartagine era infatti riuscita a conquistare ed esercitare il controllo sulla Sardegna, sulla Corsica e su gran parte del Mar Mediterraneo fino a tentare, invano, la conquista della Sicilia con la battaglia di Imera nel 480 a.C. Il momento di massimo dominio e supremazia politico-economica è però individuato nel secondo trattato con Roma nel 348 a.C. nel quale si riconoscono non solo le rispettive alleanze ma anche gli interessi territoriali delle due città, per cui si impedisce ad esempio all'Urbe di commerciare e di fondare città in Sardegna¹⁰¹. Tuttavia nei decenni successivi la situazione generale di stabilità si evolve fino ad essere irrimediabilmente compromessa nello sfociare delle guerre puniche.

- La conquista e la lunga dominazione romana

Inizialmente, dopo lo scoppio della prima guerra punica nel 264 a.C., il conflitto ebbe origine nell'isola sarda con i consoli L. Cornelio Scipione e C. Sulpicio nel 259/258 a.C. a seguito di alcune rivolte ma, nonostante ciò, con la pace del 241 a.C. l'isola rimase sotto l'egemonia di Cartagine. Tuttavia soli due anni dopo, nel 238 a.C., le truppe mercenarie puniche stanziato nell'isola si ribellarono a Cartagine e si rivolsero in aiuto a Roma, la quale colse l'occasione e conquistò la Sardegna che divenne *provincia* insieme alla Corsica nel 227 a.C. Con la costituzione della *provincia* venne così sancito in modo ufficiale l'avvio di interazioni culturali e contatti commerciali tra mondo sardo e mondo italico che in realtà erano già valide da più di un secolo, come dimostrano

⁹⁸ Pesce, 1972.

⁹⁹ Mommsen, 1977.

¹⁰⁰ Warmington, 1968.

¹⁰¹ Chiera, 1978.

i corredi con manufatti di produzione italica della necropoli a camera e altri prodotti di importazione etrusca, laziale e campana provenienti dall'abitato.

Dunque arriviamo, in questo breve excursus storico, a trattare della storia di Nora durante il periodo romano, al quale appartengono la maggior parte delle vestigia e dei reperti archeologici attualmente visibili.

Relativamente alla Sardegna e nel caso specifico di Nora il contesto storico e geografico in cui giunsero i Romani e conseguentemente il processo di romanizzazione è complicato dalla presenza nell'isola non solo di una cultura indigena "originaria", quella dei Sardi, ma anche di una cultura allogena molto radicata, quella punica. Da questa interazione nacque perciò una *facies* culturale nuova e mista.

Il cambio politico e amministrativo non coincise subito con una riforma istituzionale e, almeno per il periodo iniziale, la presenza di Roma non comportò né un mutamento rapido dell'architettura o del decoro né un'alterazione totale del tessuto urbano o della funzione degli edifici pubblici.

A prova di ciò, in primo luogo, possiamo considerare che il complesso di magazzini e vani abitativi del quartiere arcaico non ha mostrato significative variazioni né planimetriche né funzionali¹⁰² suggerendo perciò una frequentazione regolare e ininterrotta e, in secondo luogo, possiamo fare riferimento all'area del Tempio romano, un contesto di primaria valenza politica e religiosa che ha conosciuto nei secoli non solo una continuità fisica con la sovrapposizione di diverse strutture e edifici ma anche una continuità culturale e d'uso. Per la tarda fase punica, corrispondente alla metà del III sec. a.C., al di sotto del luogo di culto, in cui erano già presenti delle strutture a carattere sacro, è conosciuta una prima deposizione identificata in un tesoretto composto da otto monete bronzee. Nello stessa zona, in quello che sarà il vano più a sud del tempio, è stato rinvenuto un ulteriore deposito votivo costituito da diciotto monete d'argento associate ad una maschera antropomorfa in terracotta (Fig. 11). Quest'ultimo tesoretto è stato deposto una prima volta nella seconda metà del III sec. a.C., ovvero tra il 230 e il 225 a.C. nell'ambito di una riconsacrazione del luogo di culto proprio in concomitanza con la creazione della *provincia Sardinia et Corsica* e in un secondo momento a termine della costruzione dell'edificio templare di età imperiale. Restando sempre nel campo culturale, per avvalorare la continuità tra mondo punico e mondo latino in generale è possibile per di più affermare che, malgrado l'introduzione o la conversione delle divinità, tutti gli spazi sacri norensi individuati e delimitati già in antico non sono mai stati alterati

¹⁰² Ghiotto, Zara, 2020.

o trasformati¹⁰³ con i romani dopo la creazione della *provincia*, bensì alcuni vennero anche ampliati e monumentalizzati come nel caso del santuario di Esculapio.

Con il passaggio all'età tardo punica-medio repubblicana, per quanto riguarda l'occupazione e la gestione dell'entroterra e delle sue risorse ugualmente non si notano cambiamenti o trasformazioni



Fig.11. La maschera fittile e le diciotto monete d'argento che componevano il tesoretto del Tempio romano datate al 230-225 a.C., (Cagliari, Museo Archeologico Nazionale).

rilevanti rispetto al periodo precedente. Sembra anzi che sia l'organizzazione e l'amministrazione del territorio sia il rapporto fra centro urbano e campagne così come le figure dei proprietari e dei lavoratori delle fattorie, delle cave e delle miniere restino invariati. Tale assente trasformazione successiva alla conquista romana è stata letta come la volontà di Roma di mantenere, poiché più conveniente, una sorta di *status quo ante*. L'unico aspetto da mettere in luce è la comparsa nella campagna norense di un sacello con stipe votiva contenete un piccolo repertorio di votivi in terracotta legati ai culti agrari, demetriaci e a varie credenze afferenti alla produzione cerealicola¹⁰⁴. La vita a Nora, quale centro con salde radici di cultura punica, procede perciò invariata per tutto il III sec. a.C. fino almeno alla seconda metà del II sec. a.C. in cui riscontriamo la costruzione di altri due pozzi e ancora una persistenza nel settore orientale più antico con però un ampliamento verso ovest e la realizzazione di una cisterna (C2) la cui tipologia è legata a tradizioni costruttive puniche ma continua ad essere adottata in Sardegna anche per strutture realizzate in età romana. Questa appare di grande interesse dal punto di vista della tecnica edilizia per l'uso di un rivestimento ASH-CP, ovvero basato sulla combinazione di residui di combustione, quali cenere e carboni come additivi, e sabbia con frammenti e polvere fittile come aggregato esito della tradizione punica ormai influenzata da pratiche romane¹⁰⁵. Nel contempo si registra una monumentalizzazione del Colle di Tanit, con la realizzazione di un edificio culturale a base quadrangolare sull'altura separato dall'area urbana e civile tramite una serie di recinti concentrici¹⁰⁶, e un ulteriore incremento urbano. L'ampliamento dell'abitato, legato molto probabilmente allo sviluppo demografico, avviene sia

¹⁰³ Ghiotto, Zara, 2020.

¹⁰⁴ Rendeli, 2005, Quaderni Norensi 1.

¹⁰⁵ Secco *et alii*, 2020.

¹⁰⁶ Oggiano, 2009.

verso il centro della penisola, in corrispondenza dell'attuale quartiere centrale e sotto la Casa dell'atrio tetrastilo, sia sul versante meridionale del Colle di Tanit dove sorge un fitto quartiere abitativo definito "kasbah". Le abitazioni di quest'ultimo con il tempo diventano vere e proprie domus articolate su più piani, come testimonia il ritrovamento di una scala di cui sono sopravvissuti i gradini in pietra, con vani e ambienti caratterizzati da pavimenti in cementizio¹⁰⁷, un pozzo e cisterne a bagnarola (C31, C32, C35). In questa area ma posta alle spalle del teatro è stata rinvenuta isolata una fornace¹⁰⁸ quasi certamente tardoantica e legata alla lavorazione del vetro. Coevo è inoltre l'importante potenziamento e consolidamento strutturale e architettonico del quartiere artigianale periferico già attivo sul versante occidentale, conosciuto come Area "C", che non solo mantiene una produzione di carattere metallurgico ma sembra che fosse stato destinato anche a produzioni alimentari, in particolare alla lavorazione del pescato che veniva o essiccato o trasformato in *garum*. Infine, utile a comprendere la vita quotidiana della città sono per la lunga continuità di vita le case a mare (a, b, c, e, f) poste con una piazzetta pubblica di raccordo (d) e con pozzo o altre strutture idriche sul litorale meridionale prossime alla battigia e per questo soggette all'innalzamento del livello marino e al conseguente arretramento della linea di costa.

In conclusione nei primi anni successivi alla creazione della *provincia*, nonostante la visibile esigenza di usufruire di maggior spazio e la volontà di dividere le attività in settori ben precisi, non si leggono ancora né grandi stravolgimenti né definitivi interventi di riorganizzazione dell'impianto urbanistico. Perciò tra la conquista romana della Sardegna, compresa appunto Nora, e le prime grandi opere che mutano l'aspetto della città conferendole un volto romano trascorre un momento di passaggio di due secoli in cui sia il centro urbano sia il territorio si mantengono immutati.

Le prime modifiche strutturali, legate a un generale rinnovamento urbanistico e sviluppo edilizio, e i principali esempi di monumentalizzazione all'interno della nuova pianificazione si riscontrano a partire dall'età cesariano-augustea nel I sec. a.C. Un tale impegno e fervore nella ristrutturazione e nello sviluppo della città trovano spiegazione nelle vicende storico-politiche della seconda metà del I sec. a.C. che coinvolgono anche Nora, la quale muta l'assetto amministrativo cittadino venendo promossa a *municipium civium Romanorum*.

Di conseguenza emerge la volontà, quasi come necessità, di migliorare e di adeguare la città (Fig. 12), sia come *urbs* sia come *civitas*, ai modelli sviluppati nella capitale e al prestigioso status politico-amministrativo raggiunto, il quale è anche testimoniato da due iscrizioni che menzionano come quattuorviri due cittadini: Q. Minucius Pius e Aristius Rufus¹⁰⁹. Siamo quindi informati in

¹⁰⁷ Ghiotto, Zara, 2020.

¹⁰⁸ Bonetto *et alii*, 2018; Ghiotto, Zara, 2020.

¹⁰⁹ Pesce, 1972; Tronchetti 2001 ; Bonetto *et alii*, 2018.

primis che la più alta carica municipale a Nora era il quattuorvirato *iure dicundo* e secondariamente, da un'iscrizione che menziona un *augustalis primus aug(ustalis) perpetu(u)s*, che era anche stato istituito il collegio degli Augustali addetto al culto dell'imperatore¹¹⁰.



Fig.12. Ricostruzione tridimensionale della città di Nora in età romana imperiale vista da nord. (elaborazione grafica Ikon s.r.l. - Università degli Studi di Padova, Guida di Nora, 2018).

La prima opera monumentale, per grandezza (oltre 3000 mq¹¹¹) e impegno sia lavorativo sia economico, ad essere stata realizzata è il Foro romano tra il 40 e il 20 a.C., il quale insieme agli edifici ad esso connessi, come i portici sui lati lunghi, il tempio a nord, la curia sul lato occidentale e la basilica civile sul lato orientale, venne fondato tra il colle di Tanit e il promontorio del Coltellazzo al di sopra del quartiere abitativo e commerciale punico tramite la defunzionalizzazione e demolizione delle strutture precedenti che furono poi interrare da abbondanti riporti di terreno sui quali si impostò il lastricato. La grande piazza era decorata e completata da una serie di statue poste al centro e lungo i lati e dalla pavimentazione di lastre di andesite violacea, tuttora ancora in parte visibile. Il principale settore pubblico della città romana venne quindi impostato al di sopra di un precedente settore con carattere privato modificando così non solamente la destinazione d'uso ma anche l'orientamento dell'area. Ciononostante bisogna sottolineare che, nell'ottica di una continuità con la tradizione architettonica e edilizia ponica, si progettò la piazza del foro in modo tale da mantenere la sovrapposizione fisica e culturale tra il tempio punico e il tempio di età romana e si operarono una serie di scelte ponderate relative sia alle caratteristiche planimetriche e strutturali¹¹² sia all'impianto idrico. Un ulteriore elemento di continuità fu inoltre l'adozione del cubito punico¹¹³ in luogo del piede romano quale modulo metrologico che testimonia quindi il ruolo di primo piano che gli artigiani e i progettisti locali di tradizione ponica ebbero nella messa

¹¹⁰ Chiera, 1978.

¹¹¹ Bonetto *et alii*, 2018.

¹¹² Bonetto, 2009; Ghiotto, 2009; De Vincenzo, 2015.

¹¹³ Bondi, 1993; Bonetto, 2003; Ghiotto, 2004.

a punto dell'edilizia provinciale romana. L'aspetto più interessante da evidenziare è però l'innovazione rappresentata dal foro, come area pubblica caratterizzata da un'edilizia civile e destinata alla vita amministrativa del centro, rispetto al concetto punico di città in cui tra III e II sec. a.C. sembra non vi fosse ancora una piazza o un luogo di aggregazione della vita quotidiana¹¹⁴. Nei pressi del foro, da un lato verso il colle del Coltellazzo sorge un edificio cd. di Favonia, la cui utilizzazione rimane ancora incerta e anche se sembra avere avuto funzione abitativa non è possibile escludere alla luce dei nuovi scavi e per la sua vicinanza all'area forense un'attività commerciale; dall'altro in una zona centrale e in connessione con i vari quartieri, privati pubblici e sacri, viene ad essere edificato il grande teatro in muratura, verosimilmente nel 40 d.C. durante l'età imperiale Flavia che rappresenta un momento di grande fortuna per le strutture ludici. L'edificio teatrale, dedicato allo svago e alle relazioni sociali, venne eretto sovrapposto a unità abitative più antiche sulle pendici sud-orientali del colle di Tanit e, ad oggi, sebbene non conservato nella sua interezza dato che causa delle spoliazioni manca la parte superiore della cavea e il muro di frontescena, costituisce l'unico esempio noto in Sardegna. Mentre, come consueto nell'impianto urbanistico romano, all'ingresso della città in corrispondenza dell'istmo che precede il promontorio era presente l'anfiteatro. L'edificio, datato tra il I e il II sec. d.C., di dimensioni ridotte aveva una pianta ellittica ed era dotato dell'arena centrale delimitata dalla cavea. Attualmente non risulta più visibile molto probabilmente a causa dell'impiego, accanto alla pietra del muro che definiva lo spazio per lo svolgimento degli spettacoli, di legno o di altri materiali deperibili per le gradinate. Perciò Nora è l'unico centro sardo, fino ad oggi conosciuto, ad avere avuto entrambi gli edifici per spettacoli. Per quanto riguarda l'uso e l'approvvigionamento del materiale edilizio mentre nei due secoli di stabilità e continuità successivi alla conquista romana della Sardegna non si sono notate variazioni nei litotipi impiegati, viceversa esse sono presenti e ben visibili nei nuovi edifici pubblici di grandi dimensioni che richiesero ingenti quantitativi di pietra, da cui la necessità di aprire nuovi bacini estrattivi accanto alle cave più vicine alla città già da tempo sfruttate¹¹⁵. La grande richiesta di materiale lapideo portò anche al fenomeno del reimpiego come dimostrato nelle fondazioni settentrionali del tempio del foro e dagli elementi architettonici, quali la gola egizia o il cippo-trono¹¹⁶, reimpiegati con la funzione di semplici blocchi nelle murature di età romana nel santuario del Coltellazzo, il quale proprio in questo periodo fu oggetto, a fronte di una nuova frequentazione, di estesi interventi di rinnovamento. È inoltre plausibile che, in virtù di tali circostanze, a Is Fradis Minoris vennero realizzate alcune strutture e infrastrutture funzionali alla gestione del sito, quali

¹¹⁴ Ghiotto, Zara, 2020.

¹¹⁵ Previato, 2016.

¹¹⁶ De Vincenzo, 2015.

un edificio e una cisterna rettangolare a bagnarola (C29)¹¹⁷ costruiti in prossimità dell'estremità orientale della penisola.

Nel medesimo lasso di tempo il versante occidentale, opposto al polo pubblico della città, diviene l'ambiente ideale nell'ottica di una zonizzazione – o definita anche una “quartierizzazione della vita urbana, con nuovi spazi di vita sociale non più concentrati attorno all'asse foro-teatro”¹¹⁸ – per un nuovo quartiere di case-botteghe, indagato dall'Università di Pisa. Il quartiere che si affacciava sulla via del porto inizialmente ebbe, come suggerito dall'appellativo, una duplice funzione, abitativa e commerciale, all'interno di tre unità affiancate ognuna delle quali comprendeva due vani comunicanti, mentre successivamente nell'ambito di una ristrutturazione generale venne ricavata nella casa-bottega centrale una piccola domus.

Per quanto concerne la necropoli romana, se da un lato non possediamo attestazioni di deposizioni di età repubblicana, dall'altro però nel corso degli anni sono state individuate delle sepolture datate alla prima e media età imperiale, tra il I e il III sec. d.C. ovvero nel momento di massimo sviluppo della città, in due aree distinte. Un primo gruppo di tombe è stato riportato alla luce nella porzione dell'istmo a nord dell'anfiteatro e nella zona vicino la chiesa di S. Efsio, mentre un secondo raggruppamento è stato rinvenuto in località Su Guventeddu¹¹⁹, presso l'hotel Baia di Nora e lungo la strada che conduce a Pula. Nonostante questa divisione, data dalla mancanza dell'apertura di uno scavo estensivo che permettesse di appurare la presenza o meno di deposizioni nell'area frapposta tra i due nuclei, gli archeologi, basandosi sulla valutazione del rito funerario di tipo misto, inumatorio e incineratorio, e sulla corrispondenza cronologica, sono maggiormente inclini a ritenere che si tratti di un'unica necropoli, che si sia sviluppata nel tempo estendendosi verosimilmente da sud, cioè dall'abitato, verso nord.

Nel frattempo anche nel territorio circostante si manifestano alcuni segnali di cambiamento dal momento che il popolamento diviene più capillare e le risorse naturali cominciano ad essere sfruttate in forme sempre più intensive (Fig. 13). I dati, che sono confermati dal trasporto per un tragitto di quasi 7 km e dall'utilizzo di un terzo nuovo litotipo¹²⁰, ovvero l'arenaria della formazione del Cixerri estratto dalla zona di Sa Perdera, suggeriscono ormai un pieno controllo da parte della città, ma quindi in generale di Roma, su terre e proventi. I confini del territorio di Nora non sono però ad oggi noti con precisione; tuttavia, secondo quanto riportato nella *formula provinciae* di Plinio l'agro norense doveva collocarsi tra i centri di Bithia e Carales¹²¹ delimitato da confini

¹¹⁷ Secco *et alii*, 2020.

¹¹⁸ Bejor, 1994.

¹¹⁹ Zara, 2011.

¹²⁰ Previato, 2016.

¹²¹ Plin., nat. III, 7, 85. Per un'approfondita analisi del passo si veda da ultimo Bonetto 2002.

naturali come le creste dei rilievi del sistema sulcitano, le colline, la laguna di Santa Gilla e non da ultimo la costa.

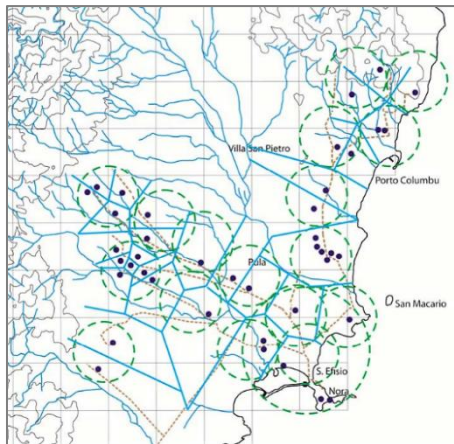


Fig.13. Il territorio di Nora tra la tarda repubblica e la prima età imperiale I sec. a. C. - I sec. d.C. (elaborazione grafica di M. Rendeli in Finocchi, 2013).

Dopo una fase di stasi, un secondo grande intervento urbanistico si colloca in età severiana tra il II e il III sec. d.C., definito, a ragione, il secolo d'oro¹²² poiché rappresenta il momento in cui la città acquisisce il massimo splendore dal punto di vista artistico e architettonico e consegue il suo apice sul piano politico ed economico. Oltre ovviamente ai resti archeologici, che ci suggeriscono una fase di sviluppo monumentale, rilevanti linee guida per comprendere questo ricco e fiorente periodo sono i materiali di importazione, le ceramiche e le produzioni artistiche come i mosaici.

All'interno di quest'ultimo grande operazione urbanistica unitaria ha luogo la realizzazione, in parte ex-novo, e la sistemazione definitiva del sistema viario e fognario della città. Le strade norensi sia principali sia secondarie, particolari per la diversità di ampiezza, la mancanza di solchi carrai e la presenza di portici sui lati, vennero realizzate lastricate con basoli e cordoli di andesite violacea al di sopra delle contemporanee condotte ipogee e alle canalette che compongono il sistema di smaltimento delle acque. In concomitanza abbiamo un potenziamento architettonico del complesso forense, che comportò l'ingrandimento della piazza, il restauro della basilica pavimentata con un nuovo mosaico e la costruzione di due archi di accesso. Accanto, tra il teatro, dotato ora di un *porticus post scaenam*, e l'area forense, venne costruito nel 230 d.C. su un'area già a carattere sacro un nuovo edificio di culto, cioè il noto Tempio romano. Il complesso in origine esastilo, che risalta agli occhi dei visitatori per la presenza di un'unica colonna in arenaria in piedi poiché ricollocata dopo la stagione di scavi di Pesce, munito di un impianto articolato e monumentale era presumibilmente connesso con il culto imperiale come si evince da una dedica a un Cesare; mentre una divinità per importanza secondaria poteva essere Vulcano Mulcibero ricordato in un'altra

¹²² Fabiani, 2013; Giannattasio 2016.

iscrizione. In concomitanza vi è la sistemazione architettonica e decorativa del santuario di Esculapio che si innalzava su tre terrazze, grazie alle quali era ben distinguibile sia dal mare sia dal centro urbano.

Complessivamente a Nora l'evoluzione delle strutture idriche, cisterne e pozzi, è lunga e articolata. Sono infatti evidenti nel tessuto urbano pubblico e privato sia le obliterazioni, le continue trasformazioni e le nuove costruzioni sia la preponderante scelta della tipologia "ellittica" per le cisterne rispetto alle altre per la preferenza da parte delle maestranze locali attive ancora in un periodo di molto posteriore alla conquista romana. Il vero punto di svolta nella storia dell'approvvigionamento idrico della città avvenne nel corso dell'età medio-imperiale romana, quando la città si dotò dell'acquedotto, il potenziamento idrico per eccellenza. Grazie alla costruzione di questa opera monumentale, alimentato da una sorgente vicina e oggi ancora riconoscibile attraverso alcuni lacerti murari, tratti dello *specus*, piloni e arcate, la città incrementa il suo tenore di vita con fontane pubbliche e edifici termali posti in punti nevralgici. I complessi termali, messi in luce da Gennaro Pesce e indagati nel corso delle campagne archeologiche dalle Università di Milano e di Genova e da Carlo Tronchetti, sono le Terme di Levante poco conservate a causa dell'erosione marina e del conseguente arretramento della linea di costa, le Terme Centrali realizzate su un isolato residenziale di I sec. a.C. di cui ci rimangono numerosi reperti, le Terme a mare e le Piccole terme, le quali avevano in questa prima fase la funzione di *balneum* privato¹²³. Nello spazio occupato da officine di lavorazione dei metalli successivamente dismesso e convertito in area residenziale privata vicino all' Area "C", che subì diversi lavori, e alle Piccole terme sorse l'*horreum*. Questo grande magazzino a pianta quasi quadrangolare funzionale all'attività commerciale era costituito da singoli ambienti di modeste dimensioni e un cortile scoperto che serviva per lo stoccaggio di merci ed è stato datato al rinvenimento di alcune monete collocabili cronologicamente tra l'età di Commodo e quella di Alessandro Severo. Il complesso verrà successivamente nel IV sec. d.C. convertito in *insula* ovvero un complesso di magazzini e botteghe al piano terreno e abitazioni al secondo piano collegato alla Piccole terme.

Infine dal III sec. d.C. riceve un forte incremento l'edilizia privata con la costruzione di abitazioni di rilevanti dimensioni e riccamente decorate anche con pavimenti musivi: nascono infatti sia le *domus* all'interno della città di Nora sia le *villae* in campagna.

Nel caso della città conosciamo a ovest del foro la casa con peristilio e *viridarium* e il cd. Ninfeo nel quartiere centrale dell'abitato caratterizzato da un'inconsueta e particolare pianta trapezoidale con *impluvium* centrale, il quale, appunto in questa fase, viene riqualificato e arricchito con ulteriori colonne nel portico, il rivestimento della vasca centrale scoperta con lastre marmoree e la copertura

¹²³ Previato, 2016.

dei vecchi pavimenti attraverso nuovi mosaici geometrici policromi. Nonostante la prima interpretazione, da una serie di recenti ricerche condotte dall'Università di Milano, attualmente questo ambiente viene letto come un vestibolo di rappresentanza all'ingresso di un'abitazione privata o come luogo di riunione. Perciò accanto ai lussuosi e nuovi edifici a carattere privato sorsero anche complessi riccamente decorati destinati molto presumibilmente a funzioni di rappresentanza e/o aggregazione sociale.

Tuttavia la *domus* più rinomata, sontuosa e ampia a noi nota dell'intera città, è la casa detta "dell'Atrio tetrastilo" nella zona meridionale della penisola. Si tratta di una abitazione tipicamente romana ovvero articolata con portico a pilastri, le *fauces*, il cortile tetrastilo in parte aperto con al centro *l'impluvium*, una terrazza trasversale adattata all'andamento del pendio forse scoperta con vista mare che doveva fungere da ambiente di rappresentanza e tutt'attorno varie stanze, non solo private, decorate da ricchi mosaici geometrici e policromi. Proprio uno di questi ambienti, forse il *cubiculum*, conserva ancora l'unico esempio di *emblema*, ovvero un quadretto raffigurante una Nereide che solca le onde del mare a cavallo di un mostro marino.

Per quanto riguarda il territorio (Fig. 14), le informazioni derivano ora non solo dalla cultura materiale, ad esempio la ceramica prevalentemente di origine africana presente come sigillata C e D, African Cooking-Ware e contenitori anforici, ma anche dalle strutture e da lacerti murari in opera laterizia, assenti nelle fasi precedenti. Il popolamento del territorio diventa maggiormente fitto e gli abitati si espandono, raggiungendo anche la loro massima e definitiva grandezza, includendo anche aree dedicate a necropoli, visibili da questo momento grazie al materiale ceramico. Le fattorie, situate principalmente lungo le vie di comunicazione, come tra Nora e Cagliari, vengono strutturate in materiale non più deperibile e vengono attrezzate con installazioni per la lavorazione dei prodotti agricoli, quali mole per la frangitura dell'olio e macine per i cereali prevalentemente. Come già accennato, questo periodo vede un forte sviluppo dell'edilizia domestica di campagna con l'edificazione nei grandi latifondi di numerose *villae* extraurbane, dotate di una *pars urbana* per il dominus – connotata da una ricchezza degna della città per il ritrovamento di tessere di mosaici, frammenti di vetro e ceramica fine da mensa – una *pars rustica* per l'alloggio degli animali, attrezzi agricoli e schiavi e una *pars fructuaria* utile alla lavorazione del prodotto, alla produzione e conservazione. Queste, insieme ai numerosi siti distribuiti nel territorio erano organizzati molto probabilmente attorno a una capillare rete viaria, e, in primo luogo, erano dunque funzionali al controllo diretto delle terre e delle proprietà e, in secondo luogo, mostrano una maggiore partecipazione delle classi elevate e urbane¹²⁴ alla gestione diretta e da vicino dei propri latifondi e delle produzioni. Con l'evoluzione del paesaggio produttivo e

¹²⁴ Rendeli, 2005, In Quaderni Norensi 1.

insediativo non cambia tanto la natura della proprietà o la condizione di chi vi lavorava bensì muta il modello economico, caratterizzato ora sia da un più forte rapporto tra città e campagna sia dall'arrivo di nuova forza lavoro nord-africana le quali conseguentemente permisero lo sfruttamento intenso, sistematico ed organico delle risorse agricole soprattutto della porzione settentrionale e di quella occidentale del territorio. E. Garau ha definito tale fase come “età cerniera” in quanto per la prima volta, dallo studio dei materiali presenti nel territorio, si è potuto constatare come dagli inizi del III sec. il flusso delle merci, accompagnato da una mobilità di genti, non si ferma in città, ma, coinvolge anche l'area extraurbana, ad ulteriore riprova della nascita di un diverso rapporto tra il centro urbano di riferimento ed il suo comprensorio¹²⁵.

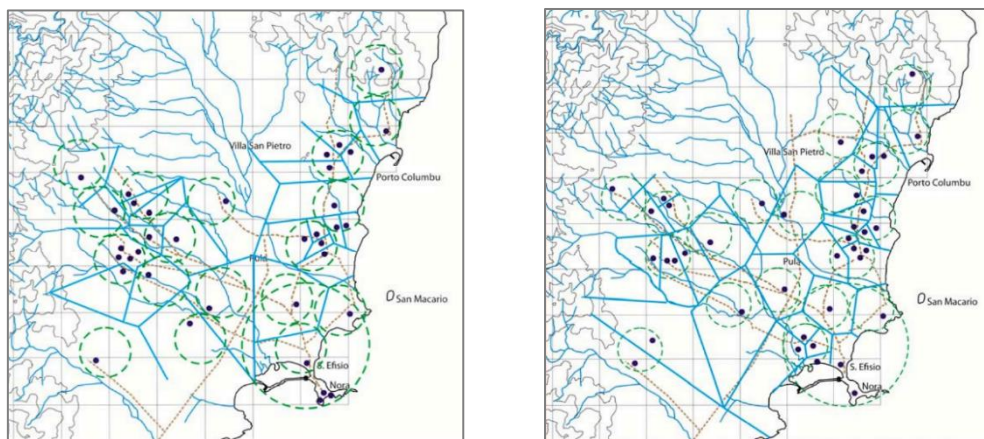


Fig.14. Rappresentazione del territorio di Nora nella media e tardo età imperiale tra il II-III sec. d.C. e il IV-V sec. d.C. (elaborazione di M. Rendeli in Finocchi, 2013).

Quindi, malgrado la grande crisi del III secolo che investì l'Impero Romano, a Nora si vede una certa vitalità sia economica sia edilizia, caratterizzata da modifiche e ampliamenti, che prosegue anche nel corso del IV sec. d.C. con, ad esempio, la ristrutturazione del foro, il quale rimase in uso fino al collasso delle istituzioni cittadine, delle Terme di Levante, l'ingrandimento e la monumentalizzazione definitiva delle Piccole terme e del Tempio di Esculapio, la pavimentazione in opus sectile dell'orchestra del teatro e il ripristino dell'acquedotto. Queste sono quindi le ultime attività edilizie pubbliche della città romana che però testimoniano ancora, per tutta la tarda età imperiale fino alla vigilia dell'invasione vandalica, una notevole agiatezza economica derivata dall'esplosione della produzione agricola nel territorio, organizzata in maniera definitiva secondo un sistema latifondista, dagli introiti provenienti dai traffici commerciali, in primo luogo marittimi, in quanto Nora risulta centrale nelle rotte tra l'area italica e l'Africa nonché tra quest'ultima e l'Occidente mediterraneo, e in secondo luogo via terra, sfruttando la rete stradale che a in questa fase, grazie agli interventi di manutenzione e potenziamento, metteva in comunicazione i maggiori centri dell'isola.

¹²⁵ Zara, 2011.

Nonostante sia tutt'ora difficile capire e descrivere le circostanze istituzionali e religiose che portarono progressivamente a un processo di cristianizzazione della comunità, un cambiamento sociale e religioso comincia a intravedersi bene alla fine del IV e l'inizio del V sec. d.C. quando nel settore occidentale della città viene innalzata, tra la strada del porto e la riva marittima, una basilica cristiana a tre navate i cui resti parzialmente sommersi e crollati sono però ancora in parte visibili. Per di più la vicina presenza di una struttura a pianta circolare con rivestimento idraulico, autonomo in termini strutturali e associato all'acqua non solo è stato interpretato come un complesso cultuale, ovvero come fonte battesimale, ma ha indotto a ipotizzare che anche se Nora non appare come sede diocesana nelle liste dei vescovi essa poteva comunque essere legata a una sede episcopale non riportata dalle fonti¹²⁶. La tendenza verso uno spostamento della vita religiosa ai margini della città o comunque negli spazi ancora liberi è evidente anche dalla costruzione del *martyrium* semi-ipogeo, attuale chiesa suburbana di Sant'Efisio. Nei pressi di questo edificio, luogo del martirio nel 303 d.C. del soldato romano dell'imperatore Diocleziano che si convertì alla fede cristiana, sono state rinvenute anche delle epigrafi funerarie cristiane, datate tra il IV e il VI sec. che sembrano suggerire sia una continuità di utilizzo dell'area necropolare con l'accostamento del cimitero cristiano sia l'attivazione della pratica della *depositio ad sanctum* di membri del clero e di fedeli norensi. Oltre a ciò, però bisogna sottolineare che dal punto di vista funerario, a causa della carenza di attestazioni ceramiche a partire dal IV sec. d.C., sembra probabile che rispetto al secolo precedente fosse stato scelto un altro settore, non ancora identificato, dove collocare le sepolture¹²⁷. Risulta perciò facile comprendere come Nora e il suo territorio si siano definiti solo con il passare dei secoli e grazie ai diversi imput principalmente alloctoni all'isola sarda.

- L'arrivo dei Vandali e la successiva presenza bizantina

Dalla metà del V sec. d.C. il nord Africa e la Sardegna sono nuovamente legate da un destino comune sotto il dominio vandalo. I Vandali erano una popolazione composta in realtà da diversi gruppi etnici originari dell'Europa sud-orientale che per la pressione esercitata da altre genti barbariche cominciarono a spostarsi verso Occidente. Quindi oltrepassarono il Reno, invasero la Gallia e pochi anni dopo superarono i Pirenei stabilendosi nella penisola iberica sotto Onorio tra il 411 e il 412 d.C. Dopo una serie di vicende e battaglie contro principalmente i Visigoti, i quali erano anch'essi barbari federati ovvero dipendenti dall'Impero, i Vandali migrarono a sud conquistando importanti città e porti spagnoli e instaurando così il loro dominio marittimo e la loro politica mediterranea. Salviano, presbitero di Massalia (Marsiglia) riferisce infatti che i Vandali

¹²⁶ Bonetto *et alii*, 2015.

¹²⁷ Spanu, 2002 ; Zara, 2011.

“*navigare per fluctus bella coeperunt*”¹²⁸. Perciò grazie alla loro flotta capace di muoversi lungo le vie marittime e forse a causa della scarsità di risorse alimentari guidati da Genserico nel 429 d.C. occuparono e conquistarono le province romane d’Africa ottenendo nel 435 d.C. da parte di Valentiniano III tramite un trattato di pace i territori della Mauritania e della Numidia¹²⁹. Tuttavia, violando i patti, Genserico non solo conquistò Cartagine, allora la città più importante dell’Africa romana, ma proseguì verso la Sicilia nel 440 d.C., verso Roma che venne saccheggiata nel 455 d.C. e successivamente si espanse in Corsica e infine in Sardegna che poteva garantire ai barbari navigatori il controllo dei traffici che si svolgevano nel bacino occidentale del Mediterraneo. Sebbene le fonti scritte non siano esplicite a riguardo, possiamo supporre che la Sardegna, insieme alla Corsica, resistette ancora qualche tempo, se Sidonio Apollinare nel suo panegirico ancora nel 458 d.C. poteva esaltare l’esportazione di argento a Roma dalle miniere sarde. Quasi nulla invece può dirsi sulle modalità attraverso le quali avvenne la conquista, ossia se si registrarono azioni di forza oppure se si trattò di una irruzione senza grande spargimento di sangue. Il silenzio delle fonti scritte ci conduce da un lato a ragionare che gli abitanti dell’isola, stanchi della pressione fiscale ed economica di Roma, accolsero i nuovi dominatori e la nuova classe dirigente ma dall’altro possiamo però immaginare che vi sia stata qualche opposizione e tentativi di difesa come dimostra il caso del porto antico di Olbia: la lunga stagione di ricerche e scavi ha infatti riportato in luce nel bacino portuale un notevole numero di imbarcazioni lasciate affondare dopo essere state incendiate intenzionalmente¹³⁰. Infine bisogna sottolineare che fin dai primi anni della presenza vandalica nell’isola, fondamentale sia per posizione geografica sia per le forniture di grano, Roma cercò di riconquistarla senza successo ad eccezione della temporanea vittoria di Marcellino inviato dell’imperatore Leone I nel 467 d.C.¹³¹

In questo panorama, ad eccezione del restauro dell’acquedotto tra il 425 e il 450 d.C., di cui siamo informati grazie a un’epigrafe celebrativa¹³² che dimostra anche come il centro fosse ancora rilevante, e della totale trasformazione delle Terme a mare che vengono convertite in fortezza a difesa della zona occidentale e del porto¹³³, Nora non avverte molto l’occupazione e la presenza vandalica proprio per la sua stretta relazione con Cartagine e prosegue sia le relazioni commerciali extraregionali, come si nota dalla forte presenza di anfore tarde e di ceramica africana da cucina¹³⁴, sia l’attività edilizia che ora si traduce sia in un riuso e riconversione degli spazi già presenti sia in

¹²⁸ Salvianus Massiliensis, *De gubernatione dei*, 6, XII

¹²⁹ Spanu, 2002.

¹³⁰ D’Oriano, 2000; D’Oriano, 2004; Sanna *et alii*, 2007.

¹³¹ Spanu, 2002.

¹³² Per un approfondimento del *carmen* in esametri dattilici Vd. Zucca, 1994; Cespa, 2018.

¹³³ Bejor, 2013.

¹³⁴ Giannattasio, 2016.

un recupero e reimpiego del materiale da costruzione da altri edifici suggerendo quindi uno sfruttamento sempre più limitato fino ad un abbandono progressivo ma definitivo delle cave del territorio¹³⁵. In modo particolare sia il foro sia il teatro vennero defunzionalizzati perdendo il loro uso originale: nell'area forense venne realizzata una poderosa struttura difensiva in corrispondenza della cella del tempio e venne chiuso il lato settentrionale del portico occidentale per creare un nuovo ambiente con funzione prima abitativa e successivamente utilizzato come deposito per elementi marmorei destinati alla produzione di calce¹³⁶; anche lo spazio teatrale fu riutilizzato a scopo abitativo con la presenza anche di cantine per la conservazione delle derrate in grandi giare o pithoi, i quali sono stati in realtà interpretati secondo una prima lettura come vasi risuonatori. Inoltre mentre alcuni settori del quartiere occidentali vengono abbandonati o non vi è manutenzione degli edifici, nel contempo nel quartiere centrale di Nora, contraddistinto incessantemente da una forte vocazione abitativa e per questo caratterizzato da numerose sovrapposizioni, vede la costruzione, grazie a materiale ed elementi provenienti prevalentemente da contesti più antichi, di nuove abitazioni. Sono le cd. case tardoantiche composte da spazi sia coperti che aperti, da un piano terra destinato alle attività produttive e artigianali con stalle, magazzini, frantoi e torchi e da un primo piano privato e residenziale individuato dalla presenza in posto di un muretto sul quale si impostava una scala di legno che portava a uno o forse anche a più piani superiori. Secondo uno schema abitativo contemporaneo rinvenuto a Cartagine, gli spazi aperti vennero successivamente collegati tramite delle aperture realizzate nei muri divisorii creando così una stretta viabilità tra le case. Dal punto di vista infrastrutturale tutte le strade che attraversano il centro urbano mantengono la propria rilevanza e utilità per almeno tutto il V sec. d.C. e, anzi, in modo particolare la via occidentale del porto mostra una funzionalità che arriva addirittura fino al VII sec. d.C.¹³⁷. Infine le strutture idriche norensi continuarono a sopravvivere ovviamente in parallelo con la vita degli edifici e dipendenti dalle attività economiche della città.

Analogamente al centro urbano anche l'entroterra e in generale gli insediamenti non vengono molto alterati o sconvolti dai nuovi dominatori dal momento che quest'ultimi erano maggiormente partecipi e interessati alle relazioni economiche e ai prodotti che potevano commerciare rispetto all'aspetto e all'onere amministrativo del territorio.

A partire dalla prima metà del VI secolo lo scenario politico e istituzionale muta nuovamente con la riconquista bizantina della Sardegna, narrata in modo dettagliato da Procopio di Cesarea, segretario del generale Belisario. La guerra di riconquista voluta dall'imperatore Giustiniano e

¹³⁵ Previato, 2016.

¹³⁶ Ghiotto, 2009; Bonetto e Ghiotto, 2013.

¹³⁷ Bonetto *et alii*, 2015.

presentata come un'azione necessaria di liberazione dei cattolici africani vide prima la caduta di Cartagine, poi della provincia proconsolare d'Africa nel 533 d.C. e per ultima la presa della Sardegna nel 534 d.C.¹³⁸ Infine con la Prammatica Sanzione emessa nel 554 d.C. non solo venne restaurato l'Impero ma questo comportò il ripristino sotto un'unica egemonia dell'intero bacino del Mediterraneo. Il nuovo dominio bizantino rimase saldo, eccetto una breve parentesi dovuta all'invasione dei Goti circa alla metà del VI sec. d.C., per tutto il VII sec. d.C. fino all'instaurazione autonoma dei giudicati. Infatti con l'inizio del nuovo secolo poiché da un lato il potere e la presenza concreta di Bisanzio sull'isola divenne sempre più nominale e dall'altro le incursioni dei Saraceni nell'VIII sec. d.C. vennero fermate dai Sardi, abbandonati dall'Impero al loro destino, i duci sardi, sebbene mantennero il titolo bizantino di Giudici, divennero autonomi¹³⁹.

Per quanto riguarda il periodo compreso tra VI e VIII sec. d.C. la città di Nora, ugualmente all'hinterland dove si assiste oltre che a un riassetto del territorio anche a un calo del numero delle fattorie e degli insediamenti, rivela ormai segni di destrutturazione e contrazione soprattutto legati, nel quadro politico ed economico, al calo demografico con diminuzione della densità abitativa. In particolar modo il crollo del popolamento si avvertirà maggiormente fra l'VIII e il X sec. d.C. (Fig. 15). In questo periodo cade in disuso sia il sistema fognario sia la rete stradale che perciò determinò una variazione dei percorsi interni e quindi dell'organizzazione urbana con l'emergere di settori più importanti e ancora in uso rispetto ad altri ormai abbandonati.

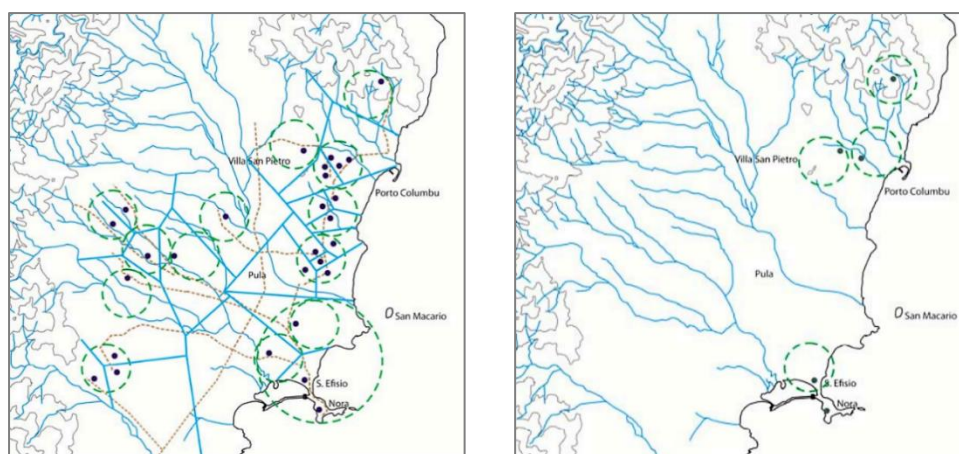


Fig. 15. Rappresentazione del territorio di Nora nel VI-VII sec. d.C. e nel VIII-X sec. d.C. (elaborazione di M. Rendeli in Finocchi, 2013).

L'area cittadina che sicuramente rimane ancora attiva e operativa, a cui probabilmente fa riferimento alla fine del VII sec. d.C. l'Anonimo Ravennate nella *Cosmographia*¹⁴⁰ quando afferma

¹³⁸ Spanu, 2002.

¹³⁹ Pesce, 1972.

¹⁴⁰ Ravenn. V, 26;

che “ presso Cagliari è il presidio di Nora”¹⁴¹, è il settore urbano occidentale dove avevano sede la Basilica e il grande edificio delle Terme a mare, la via del porto e il porto stesso.

- Gli ultimi anni e l’abbandono definitivo della città

Tuttavia si conosce molto poco degli ultimi anni di vita della città senonché l’ultimo edificio ad essere utilizzato e poi a collassare, come ci testimoniano le volte crollate e uno strato di incendio sono le Terme a mare. Privo oramai di adeguate difese e strutture militari il sito, non più sicuro specialmente dagli attacchi marittimi, viene definitivamente abbandonato tra l’VIII e il IX sec. d.C. e progressivamente dimenticato a seguito dell’obliterazione antropica e geologica.

Le sole testimonianze e notizie documentate che possediamo di Nora medievale si riferiscono unicamente al polo religioso suburbano in cui il *martyrium* venne restaurato nel X sec. d.C. e da cui potrebbero derivare alcuni arredi liturgici in marmo rinvenuti sul fondale marino antistante la vicina isoletta di San Macario. Nel 1089 la struttura venne donata dal giudice Costantino Torgotorio ai Vittorini, ovvero ai monaci dell’Abbazia di S. Vittore di Marsiglia, che ne decisero la completa ricostruzione a seguito della quale venne realizzata, ad opera di maestranze provenzali e utilizzando pietre e grandi blocchi d’arenaria e calcare provenienti dalle rovine della città, l’odierna chiesa dedicata al culto di Sant’Efisio come la possiamo vedere oggi, fatta eccezione per alcune aggiunte e modifiche avvenute nei secoli XVIII e XIX¹⁴².

Perciò mentre il centro di Nora è ormai solo un ricordo sappiamo che anche il territorio circostante rimase a partire dal XVI secolo completamente deserto per un lungo periodo a causa della malaria, delle pestilenze e delle continue incursioni barbariche. Nel XVII secolo i ricchi proprietari terrieri cagliaritari che detenevano ancora dei possedimenti nella zona costiera norense vi installarono delle famiglie che vi lavorassero in modo da trarne qualche profitto; tuttavia, poco tempo dopo, intorno al metà dell’600, malgrado la crescita della popolazione e il territorio maggiormente sicuro e fruttuoso grazie alla costruzione delle torri litoranee, come quelle di S. Macario e del Coltellazzo, il ritorno della peste unitamente a nuove incursioni aprì una nuova fase di crisi e spopolamento.

L’ennesima occupazione del territorio con relativo incremento demografico si ebbe successivamente a S. Pietro di Pula, attuale Villa S. Pietro, il quale essendo nell’entroterra appariva decisamente più protetto e sicuro dagli attacchi provenienti dal mare. In seguito uno degli ultimi spostamenti determinò, all’interno di un clima economico e commerciale florido e ricco con Cagliari, la l’instaurazione di un nucleo stabile a Pula, il *Castrum de Pulla*, alla fine dell’700.

¹⁴¹ Il termine latino utilizzato è *praesidium* usato dai Romani per indicare dei piccoli forti o castelli presidiati da guarnigioni militari e costruiti per difendere un nodo stradale, un ponte o un qualsiasi luogo di importanza strategica, Pesce, 1972.

¹⁴² Pesce, 1972; Tronchetti, 2001.

Capitolo II

Le indagini geomorfologiche e paleoambientali nella laguna di Nora

Organizzazione e obiettivi del lavoro

Il progetto “Nora e il Mare” costituisce sia il motore di queste nuove indagini geoarcheologiche e paleoambientali sia la grande cornice in cui queste andranno poi a inserirsi. Questo fin dal suo avvio si è innestato in una lunga ma, soprattutto per metodologie, discontinua tradizione di studi che si sono interessati agli spazi marini periurbani e si è articolato in diversi momenti di acquisizione ed elaborazione sistematica dei dati e successiva pubblicazione e divulgazione, sia in convegni ed incontri nazionali sia internazionali, dei risultati costantemente aggiornati. Nello specifico tra i maggiori obiettivi realizzati dal Dipartimento di Beni culturali possiamo ricordare la produzione di una Carta archeologica subacquea del mare di Nora, corredata di informazioni altimetriche, batimetriche, archeologiche etc., e la pubblicazione dei risultati dei sei anni di ricerche del team francese di M. Cassien, tra 1978 e 1984, nel primo volume di *Nora e il mare*¹⁴³. Tra gli scritti e i documenti editi riguardanti i lavori pregressi citiamo per completezza anche lo studio geomorfologico e geologico di F. Antonioli e di F. Di Gregorio, lo studio del sistema marino di R. Flores e I. Sanna¹⁴⁴, lo studio del materiale d’archivio e delle evidenze archeologiche sommerse condotto da J. Bonetto, G. Falezza, A. Bertelli, D. Ebner, A.R. Ghiotto e A. Zara¹⁴⁵, e, infine, lo studio delle aree archeologiche costiere realizzato principalmente da F. Carraro e da M.C. Metelli¹⁴⁶.

Perciò è proprio nell’ambito di tale progetto che nel mese di settembre 2020 è stata avviata una preventiva ricognizione del territorio circostante la penisola norense e nello specifico delle aree umide. In particolare sono state valutate in primo luogo la zona intertidale alle spalle della laguna,

¹⁴³ Bonetto J. (a cura di), *Nora e il mare, I. Le ricerche di Michel Cassien (1978-1984)* (Scavi di Nora, IV), Padova, 2014; Bonetto J., *Le ricognizioni di Michel Cassien e l’archeologia marittima a Nora*, in J. Bonetto (a cura di) 2014, pp. 23-40.

¹⁴⁴ Flores R., Pirola A., Scintu S. *Considerazioni sul datum altimetrico per la definizione della linea di costa attuale della penisola di Nora*, in J. Bonetto (a cura di), *Nora e il mare, Studi sulla città antica e lo spazio acqueo*, Padova.

¹⁴⁵ Bonetto J., Falezza G., Bertelli A., Ebner D., *Nora e il mare. Il progetto Noramar. Attività 2011*, «QN», 4, 2012 pp. 327-338; Sanna I., Del Vais C., *Ricerche subacquee sistematiche nel tratto meridionale della marina di Nora: materiali arcaici e punici*, in Actes du viie congrès International des études phéniciennes et puniques. La vie, la religion et la mort dans l’univers phénico-punique, 2009.

¹⁴⁶ Bonetto J., Bertelli A., Carraro F., Gallucci G., Metelli M.C., Minella I., “*Nora e il mare*”: *ricerche e tutela attorno agli spazi costieri della città*, in “L’Africa romana. Momenti di continuità e rottura: bilancio di trent’anni di convegni Atti del XX Convegno Internazionale di studi, Alghero-Porto Ricerche, 26-29 settembre 2013”, Roma 2015, pp. 1841-1860; Carraro F., Metelli M.C., *Il progetto Nora e il mare: scenari ricostruttivi e previsionali dello spazio costiero*, in M. Capulli (a cura di), *Il patrimonio culturale sommerso, ricerche e proposte per il futuro dell’archeologia subacquea in Italia*, Atti del convegno, Udine, 2016, Udine 2018, pp. 253-258.

cioè soggetta alla fluttuazione della marea e caratterizzata dalla presenza di barene, porzioni emerse che sviluppano una vegetazione di tipo alofilo, e di velme, parti di fondale lagunare poco profondo ma comunque normalmente sommerso prive invece di vegetazione, e in secondo luogo la spiaggia di Sant'Ef시오. Tale ricognizione ha quindi comportato anche la realizzazione nella zona lagunare di un carotaggio e la successiva analisi di questo al fine di vagliare le potenzialità informative di questo settore in previsione di future indagini o approfondimenti.

Perciò a partire dal sopralluogo dell'anno precedente, la campagna di carotaggi, svoltasi attraverso una successione di sondaggio al fine di ottenere delle sequenze stratigrafiche verticali, è stata autorizzata nelle forme di un'estensione della concessione di ricerche e scavi archeologici al sito archeologico di Nora¹⁴⁷ ed effettuata nei giorni 3 e 4 ottobre 2021 presso le zone umide retrostanti l'area della laguna di Nora, conosciuta anche come peschiera, la cui denominazione esatta è "Stangioni di Sant'Ef시오" (Fig. 16 e 17).

Il posizionamento dei carotaggi manuali è stato concordato con I. Sanna, responsabile delle attività subacquee presso la Soprintendenza Archeologia, Belle arti e Paesaggio per la città metropolitana di Cagliari e le province di Oristano, medio Campidano, Carbonia-Iglesias e Ogliastra, ed eseguito da Jacopo Bonetto dell'Università degli Studi di Padova insieme a M. Vacchi dell'Università di Pisa, responsabile dei rilievi geologico-geomorfologici, a V. Rossi dell'Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, la quale si occuperà invece dell'analisi paleobiologica e di facies degli stessi, e, infine, a F. Di Rita, palinologo dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", in collaborazione con un ampio gruppo di ricercatori.

L'obiettivo principale e motore dell'iniziativa, che ha coinvolto diversi studiosi afferenti ad ambiti disciplinari differenti, è rispondere a una serie di domande ambientali, risolvere dubbi e cercare così di inserire il contesto archeologico della città antica all'interno del proprio contemporaneo contesto paesaggistico e morfologico, ovviamente molto diverso dall'attuale. L'intenzione e l'ambizione di questa fase del progetto, dunque, consiste principalmente nella ricostruzione dell'evoluzione paleoambientale del territorio di Nora e in particolare dell'area lagunare, al fine di comprendere e restituire un'immagine più precisa e chiara possibile dell'antico paesaggio, del livello del mare in epoca antica e delle dinamiche d'interazione uomo-ambiente che hanno caratterizzato la città antica nelle sue varie fasi di vita e specificatamente nel periodo fenicio, punico e romano. Ciò è stato possibile poiché tutti i proxy analizzati, pollini, macroresti, sedimentologia,

¹⁴⁷ La concessione per tale attività di ricerca è stata rilasciata all'Università di Padova con decreto rep. n. 916 del 30/08/2019 e trasmessa con decreto rep. n. 952 del 03/09/2021.

geochimica, contenuto in meiofauna quali ostracodi e foraminiferi, e materiale organico, sono stati prelevati dallo stesso archivio e le analisi sono state eseguite in parallelo nei diversi laboratori. In questo lavoro e nei capitoli dedicati che seguiranno si procederà con il presentare concisamente il carotaggio effettuato nel 2020 e denominato NR4 e dopodiché i materiali, i metodi e i risultati relativi alla prima carota eseguita nel 2021 nella medesima zona e denominata NR1.

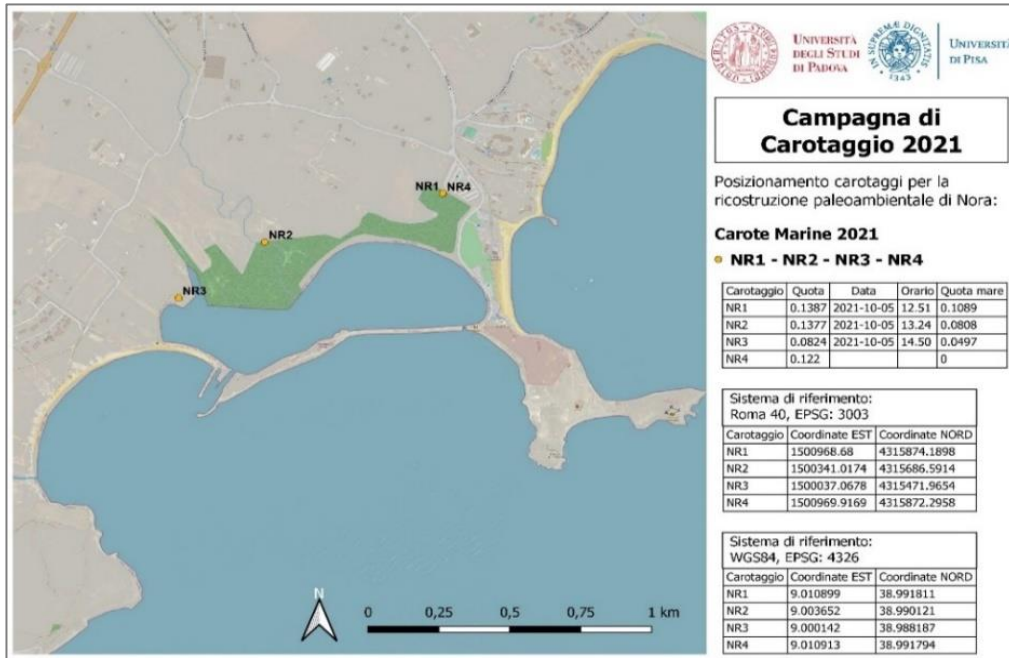


Fig.16 Mappa Gis con indicazione del posizionamento dei carotaggi, realizzati durante la campagna di ricognizione dell'area nel 2020 e nella campagna di carotaggi 2021 dall'Università di Padova con la collaborazione dell'Università di Pisa, per la ricostruzione paleoambientale di Nora. Elaborazione di Carraro e Venturoli, 2021.



Fig. 17. Rappresentazione tramite carta Gis del posizionamento dei carotaggi NR1, NR2 e NR3 realizzati nell'ambito della campagna di carotaggi 2021 dall'Università di Padova con la collaborazione dell'Università di Pisa, per la ricostruzione paleoambientale di Nora. Elaborazione di Carraro e Venturoli, 2021.

La scelta di un approccio geoarcheologico

- Scienze naturali e archeologia: un binomio duraturo e proficuo

La volontà e la necessità di operare attraverso un metodo multidisciplinare, basato dunque sull'investigazione archeologica e sulla ricerca geomorfologica, rispecchia gli obiettivi del progetto e deriva, innanzitutto, dalla complessità del contesto ambientale che vede la compresenza di diversi fattori naturali ed ecologici dinamici e che è soggetto a una continua trasformazione. Essa nasce anche dal limite proprio della sola documentazione archeologica, la quale non sempre si preserva o si conserva nella sua interezza: infatti, come già teorizzato da M.B. Schiffer nell'ambito del movimento teoretico della New Archaeology o Archeologia processuale – che tra gli anni '60 e '70 del secolo scorso partendo dal presupposto che il passato è ricostruibile in misura molto più ampia di quanto si ritenesse fino ad allora, tentò di spiegarlo, e non solo semplicemente di descriverlo, attraverso l'applicazione delle scienze fisiche e naturali – i comportamenti (behaviors) sono di difficile ricostruzione. Difatti l'esito di questi all'interno di un sistema culturale ovvero gli oggetti e i depositi hanno subito successive trasformazioni e alterazioni da parte dei processi culturali, come le azioni e attività umane a loro contemporanee o successive, e naturali, quali i processi fisico-chimici, raggruppabili come processi post-deposizionali. Infine, tra gli strumenti che aiutano lo sviluppo di una nuova disciplina, ovvero un dato campo di conoscenza avente concetti e termini propri, e quindi di un nuovo approccio ci sono senza dubbio i progressi tecnologici di entrambe le scienze.

Nel nostro caso l'introduzione di nuovi metodi, di tecniche di analisi e di documentazione, il miglioramento nei sistemi di estrazione delle carote, nei metodi di indagine geofisica e le nuove scienze emergenti hanno dato maggiore ampiezza e spessore allo studio archeologico. Ma il vero progresso, che si deve perseguire nell'aumentare la nostra attuale conoscenza, non è solo risultato dell'ammodernamento e potenziamento degli strumenti, ma anche di un cambiamento generale nelle domande e nei punti di vista, nelle strategie e negli interventi in campo, il quale può verificarsi solo a partire da approcci disciplinari vari e differenziati.

Perciò, oltre agli obiettivi prefissati un ulteriore proposito, al pari di quanto realizzato in altri contesti storici ed archeologici, consiste nel cercare di integrare i dati archeologici e i dati geomorfologici, ecologici e geologici relativi all'area presa in esame. In molti modi la geologia e l'archeologia hanno svolto un ruolo chiave nello sviluppo reciproco. Da un lato, la stratigrafia e i processi coinvolti nella formazione della documentazione sedimentaria hanno influenzato l'archeologia dalla fine del XIX secolo, mentre, dall'altro, l'archeologia è stata a lungo utilizzata come verifica cronologica nell'interpretazione del record geologico relativo al Quaternario.

L'utilità della geologia, come storia della terra e ossatura del paesaggio, si evidenzia bene nel presupposto che i manufatti e i resti relativi alla presenza umana sono contemporanei al deposito sedimentario in cui sono contenuti e in cui vengono trovati inseriti e quindi possono essere datati grazie al contesto geologico; invece, la geomorfologia, legata alle forme del paesaggio, si rivela di valido aiuto nella valutazione di un territorio e della probabile localizzazione di siti ed insediamenti antichi, nell'investigazione e caratterizzazione dei paleoambienti. In particolar modo, a differenza degli studi precedenti effettuati negli anni '90 del secolo precedente in cui i rapporti tra le popolazioni mediterranee e i loro ambienti, ovvero le posizioni antropologiche e naturalistiche, venivano valutati e considerati isolatamente¹⁴⁸, attualmente la ricostruzione e lo studio dell'evoluzione dei paesaggi antichi come nuovo interesse accademico e di ricerca è molto diffuso ed ampio. Durante gli ultimi vent'anni l'archeologia mediterranea, prendendo a modello gli esempi nordeuropei nelle zone umide o prospicienti il mare o i laghi¹⁴⁹, è cambiata in modo significativo in ragione dell'emergere della dualità cultura-natura. A ragione di ciò, esistono molti esempi in letteratura di ricognizioni ed indagini più approfondite realizzate sia in contesti a rapida evoluzione sia in scenari attualmente stabili ma che sono stati contrassegnati da una forte trasformazione in periodi geologici precedenti. Alcuni esempi si trovano vicino ai maggiori sistemi fluviali come nella valle del Danubio, del Nilo, del Po', intorno alle lagune o nelle pianure deltizie e costiere, come a Frejus sulla costa meridionale francese, Burmarrad nell'isola di Malta, nella ria d'Enkomi sull'isola di Cipro o ancora nei casi di Priene, Mileto e Myous nell'attuale Turchia o della pianura di Posada in Sardegna: quindi tutte zone molto interessanti in quanto anche sede di attività e insediamenti umani del passato e/o ancora del presente. Come sottolineato da W. Z. Hoek le popolazioni hanno sempre vissuto sulla terraferma ma in aree prospicienti all'acqua e, perciò, anche se gli "water environment" sono dei luoghi in cui non vi è stato un insediamento stabile possiamo comunque rinvenire al loro interno delle tracce di uso e frequentazione indicative di cosa è avvenuto e di cosa è cambiato. Un medesimo discorso è possibile per le zone costiere del Mediterraneo che hanno una lunga storia di occupazione umana, la quale ha rappresentato il principale motore nell'evoluzione del paesaggio insieme alla variabilità del clima e alla variazione del livello del mare (RSL) dal periodo medio dell'Olocene e le cui interazioni sono state recentemente studiate in molti siti costieri grazie alle successioni sedimentarie oloceniche note per essere eccellenti paleoarchivi di informazioni¹⁵⁰. I migliori contesti da indagare sono perciò i bacini portuali del Mediterraneo e in particolare i porti interrati urbani, lagunari e fluviali i quali riflettono

¹⁴⁸ Morhange, Marriner e Carayon, 2015.

¹⁴⁹ Milne e Hobley, 1981; Morhange, Marriner e Carayon, 2015.

¹⁵⁰ Mazzini *et alii*, 2017.

tendenze diverse nell'evoluzione costiera: le prime due tipologie, per esempio, riflettono il passaggio da sistemi ad estuario formatisi durante la trasgressione marina dal periodo tardoglaciale all'inizio dell'Olocene a sistemi di delta del medio-tardo Olocene¹⁵¹. Rimanendo quindi nell'ambito portuale un esempio di approccio geoarcheologico pionieristico e multidisciplinare è stato applicato nelle ricerche intraprese da Reinhardt e successivamente da Morhange a Cesarea Marittima (Israele) e Marsiglia (Francia) eccezionali esempi di antichi siti portuali sepolti e studiati attraverso scavi e carotaggi. Questi siti, con i loro sedimenti di riempimento e le strutture artificiali, sono totalmente inclusi e parte della stratigrafia del sottosuolo medio-tardiva dell'Olocene delle pianure costiere-deltizie mediterranee, come conseguenza di una tendenza generale di progradazione¹⁵²

Perciò il risultato dell'unione di due o più aree di ricerca diverse e autonome in questo caso è rappresentato dalla geoarcheologia. Questa nuova disciplina, che occupandosi di suoli, sedimenti e morfologia e dando quindi importanza al quadro ambientale, ha principalmente lo scopo, prevalentemente attraverso l'analisi stratigrafica e le analisi sedimentologiche e paleoecologiche, di indagare i processi ecologici, sedimentari e geomorfologici presenti nei siti archeologici per identificare le storie deposizionali e le modificazioni post-deposizionali e, in questo modo, risalire alle circostanze di formazione e ricostruire i paleopaesaggi. Difatti, soprattutto gli spazi ed i siti situati tra terra e mare e per di più protetti dalle dinamiche marine artificialmente sono ottimi contenitori e archivi storici definiti anche come “diari stratigrafici”, nei quali in primo luogo sono presenti resti archeologici, organismi fossili animali e vegetali, che possono costituire dei buoni indicatori, e in secondo luogo vi sono registrate tutte le fluttuazioni sedimentologiche in relazione all'impatto climatico e agli input sia naturali sia antropici a scale diverse.

Secondo Rapp e Gifford la geoarcheologia è “archeologia fatta mediante dei metodi, delle tecniche o dei concetti di tipo geologico” mentre nell'opinione di Butzer essa “è la formulazione e la soluzione di problemi archeologici utilizzando metodi relativi alle scienze della terra. La geoarcheologia dovrebbe essere parte integrante del processo di scavo in termini di stratigrafia, attuazione e revisione sul sito di strategie e tattiche, il tutto corredato e integrato dalla fase analitica di laboratorio”.¹⁵³ Altri autori ancora nell'espone la cooperazione tra geologia e archeologia operano una differenziazione tra geoarcheologia e geologia archeologica. Tuttavia le definizioni e le distinzioni fino ad ora presentate sono utili teoricamente e da tenere in considerazione da un punto di vista metodologico ma in concreto in termini di fini e scopi non ci sono grandi differenze.

¹⁵¹ Marriner e Morhange, 2007.

¹⁵² Stanley e Warne, 1994.

¹⁵³ Melis, 2013.

Allo stato attuale, quindi, in primo luogo si incrementa la consapevolezza del bisogno di una cooperazione interdisciplinare tra archeologia e scienza della terra in fase di acquisizione, elaborazione e interpretazione dei dati dal momento che, al pari degli scavi archeologici realizzati in contesti urbani, le indagini sono tecnicamente complesse e costose per l'estensione dell'area, per le concessioni e le problematiche ambientali; in secondo luogo c'è una maggiore possibilità, in un paesaggio culturale marittimo come quello di Nora, non solo di documentare i resti archeologici in circostanze diverse e più variegata, dall'area costiera a quella salmastra e lagunare, ma anche di caratterizzare precisamente il contesto naturale come un'entità dinamica, in evoluzione con le sue interazioni ed influenze. Attualmente, infatti, accanto all'archeologia del reperto vi è anche una corrente di ricerca archeologica sempre più inerente alla componente ecologica e soprattutto paleoecologica, ossia il rapporto tra organismi fossili e l'ambiente in cui hanno vissuto, dell'ecosistema considerato.

La questione, ora, tenendo conto che non c'è un solo fattore che individua il complesso, il quale è invece esito di più agenti che intervengono in quel luogo e lo caratterizzano nel tempo, è però capire perché sia più corretto parlare di interdisciplinarietà rispetto a multidisciplinarietà. Una ricerca multidisciplinare, caratterizzata dalla cooperazione di studiosi e ricercatori di diverse discipline che lavorano insieme, ognuna attingendo alla propria conoscenza disciplinare, deve infatti diventare interdisciplinare, ovvero il problema o l'indagine deve essere affrontata non solo utilizzando gli strumenti cognitivi di molteplici discipline ma anche tramite una integrazione e scambio di conoscenze che consente da un lato la nascita di una sintesi di approcci e dall'altro una collaborazione tale da determinare arricchimenti reciproci.

Possiamo concludere affermando che i dati ottenuti per mezzo di strumenti e metodologie di altre discipline non sono complementari ai dati archeologici, ma che, se l'obiettivo è chiaro, diventano essi stessi dati archeologici. Quando strumenti e modelli di altre scienze vengono utilizzati e implementati con successo, cessano di essere di un'altra disciplina e diventano propri dell'archeologia che come scienza dell'antichità continua a nutrirsi dei contributi di altri insegnamenti, a migliorare e ad occuparsi anche di tematiche attuali. Perciò, soprattutto negli ultimi anni, si è passati da un punto di vista statico a uno dinamico, dalla monodisciplinarietà all'interdisciplinarietà, dal singolo ricercatore al gruppo dei ricercatori.

- Individuazione ed esame di un contesto geoarcheologico

È inoltre necessario ora spiegare come si può definire ed esaminare il contesto geoarcheologico di un sito archeologico o di un'area (Fig. 18).

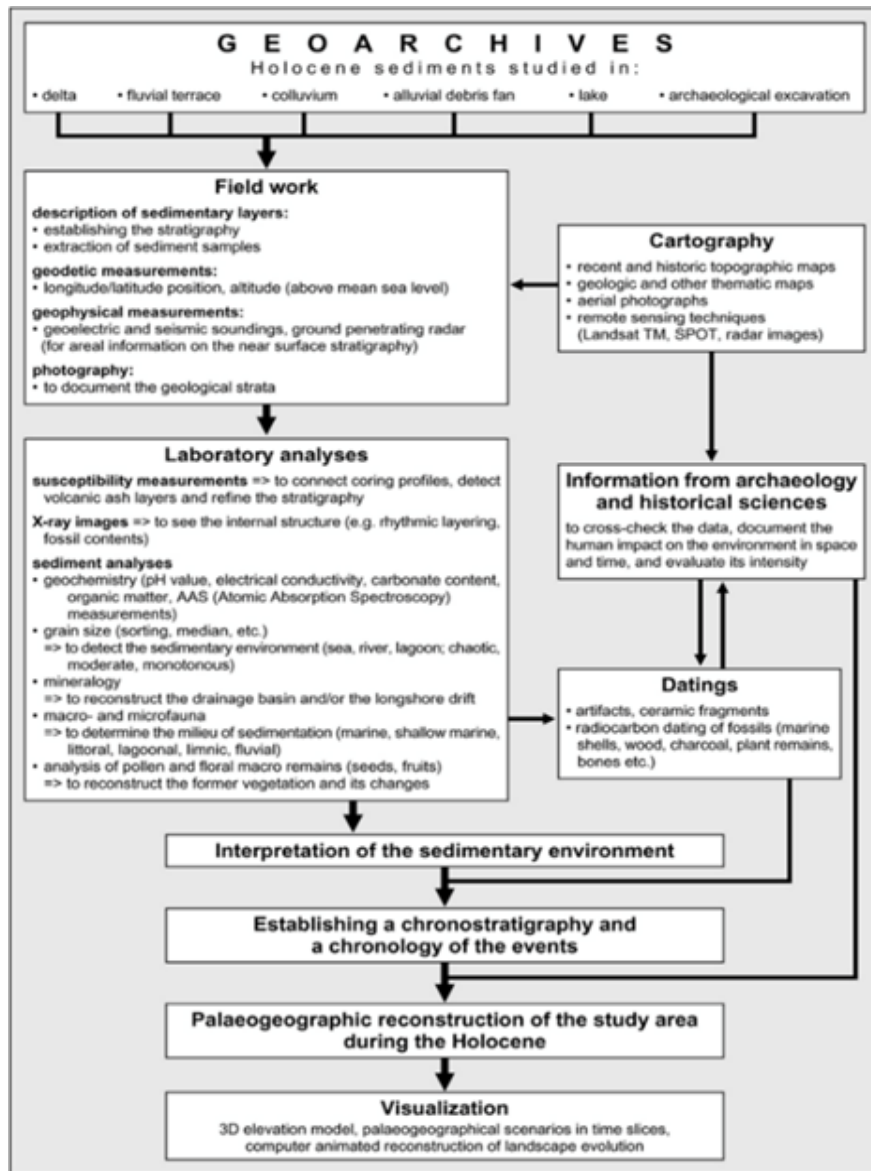


Fig.18. Rappresentazione schematica con indicazione dei diversi passaggi necessari per indagare un contesto tramite un approccio geoarcheologico. (Brückner et alii, 2005).

Dal punto di vista della risoluzione spaziale, possiamo ragionare su più livelli: un approccio si basa sull'ampia scala che implica la ricostruzione ed evoluzione del paesaggio con attenzione anche alla mesoscala che comprende anche il sito e i dintorni, ovvero si va a definire quali sono non solo le risorse e le possibilità ma anche le limitazioni offerte ad un determinato sito dalla geologia circostante e come sono influenzate dalla geologia le scelte insediative; il secondo e diverso approccio invece si fonda su una scala di dettaglio, ossia ci si concentra su che tipo di sequenza stratigrafica è possibile trovare, quali sono le condizioni di conservazione del deposito archeologico e quali sono i rapporti con determinate forme del paesaggio, come per esempio dossi, paleoalvei, terrazzi fluviali, conoidi etc. L'approccio geoarcheologico permette però di ottenere migliori risultati a condizione che si lavori a più scale e qualora, prima di indagare il profilo o le

caratteristiche degli strati in open area per desumerne la stratigrafia, si cominci dalla valutazione del contesto. Questo implica la conoscenza del quadro fisico (geografia, geologia, geomorfologia o pedologia, idrografia, regime dei venti e delle correnti), una indagine estesa in ampiezza e, alle volte, anche in profondità e, infine, l'utilizzo di tecniche analitiche.

La prima strategia farà perciò uso e applicazione della cartografia, dando così un primo inquadramento ambientale, dei DTM, del LiDAR, del Remote Sensing, tramite foto aeree e satellitari, della letteratura già edita e delle fonti storiche, iconografiche e archeologiche disponibili. Dopo una prima e indiretta conoscenza della zona da indagare parte del lavoro si svolge poi in campo attraverso la ricognizione, le prospezioni geofisiche, i sondaggi, i carotaggi e, infine, se possibile lo scavo. Ovviamente sia il contesto territoriale sia le informazioni già in possesso o acquisite nella prima parte del lavoro suggeriranno quale strategia pratica e quali strumenti utilizzare inseguito in campo. Questa iniziale valutazione consente di acquisire dimestichezza sia con le problematiche sia con le metodologie, tra le quali, in particolar modo, i carotaggi costituiscono un metodo molto potente poiché permettono con relativamente poca fatica di acquisire, tramite piccoli saggi manuali o meccanici, delle colonne sedimentarie ricche di informazioni stratigrafiche, litologiche, biologiche e cronologiche, in un areale molto ampio sia nell'ottica e in aiuto dell'archeologia preventiva ma sia anche nell'indagine paleoambientale. Il punto d'arrivo di un carotaggio, utile per spiegare e descrivere il lavoro e i suoi risultati, è il cd. "Log" stratigrafico, ovvero il tronco o troncone, in cui tramite colori o l'aggiunta di pattern e simboli, i quali vanno a fornire diverse informazioni (ad esempio la torba, le laminazioni etc.), vengono indicati i diversi sedimenti e la presenza di inclusi di origine antropica o di organismi e resti naturali. Il log viene rappresentato quindi come un tronco con indicazione della profondità lungo l'asse delle y e con specificazione della granulometria lungo l'asse delle x in modo tale da ottenere una colonnina più larga o più stretta in corrispondenza di sedimenti più o meno grossolani. Successivamente, quotando i diversi log e disponendoli uno accanto all'altro si può ottenere un'idea dell'architettura deposizionale di un'area, cioè la natura e l'andamento degli strati, lungo un determinato transetto, effettuando delle correlazioni tra facies e strati uguali o, ad esempio, tra superfici d'erosione o tra livelli antropici. Pertanto, in tal modo, è possibile ricostruire l'intera storia sedimentaria e deposizionale di un luogo.

Tuttavia per ottenere il log quale risultato ultimo, come accennato sopra, è necessario procedere per stadi e per prima cosa effettuare, entrando così nell'ottica del dettaglio, una fase di campionamento centimetrico che permette di ottenere un'eccezionale risoluzione cronologica per le varie analisi programmate; i campioni sono solitamente prelevati per compiere successivamente in laboratorio varie analisi come archeobotaniche, relative per esempio ai pollini o ai macroresti

come semi, gusci di molluschi, geochimiche, delle sezioni sottili, dei fosfati, della microfauna e meiofauna, molto valida nel definire i diversi ambienti di deposizione (marino, litorale, lagunare, lacustre, fluviale), o ancora per analisi al radiocarbonio (^{14}C). Questo passaggio che avviene necessariamente all'interno dei laboratori non è e non deve essere né limitato all'elaborazione e studio complessivo ed esclusivo da parte di un singolo ricercatore né i vari campioni devono essere inviati a diversi specialisti che però o non hanno partecipato all'attività o che non sono interamente consapevoli ed informati riguardo alle problematiche, agli obiettivi e agli interrogativi nati dall'analisi diretta del sito. Ricordiamo che a seconda delle domande verranno interpellati vari specialisti in ambienti terrestri o marini sempre al fine di costruire una rete di ricercatori interessati a un dibattito ampio ed interdisciplinare.

Infine, essendo la geoarcheologia una disciplina multiscalare, i dati delle analisi, acquisiti a una scala microscopica o sub-microscopica, devono essere inseriti nella sequenza di "prima" e "dopo" che la stratigrafia, quale interpretazione della stratificazione prelevata e studiata a livello intrasito, ha fornito e consecutivamente devono essere collegati alle informazioni raccolte sia a livello di intersito sia alla macroscale per giungere a una generale ed esaustiva spiegazione del contesto.

- Indagare il rapporto tra uomo e ambiente dagli archivi sedimentari: i tipi di impatto e le tre domande geoarcheologiche

Come già accennato, le relazioni tra le società umane e gli ambienti sono state a lungo considerate indipendenti piuttosto che essere trattate in modo complementare. I lavori recenti hanno ben dimostrato che i sedimenti costieri o prossimi a sistemi di lagune e delta possono essere utilizzati per ricostruire la storia dell'uomo e delle sue interazioni con l'ambiente fin dalla preistoria. Infatti oltre all'impatto climatico e ambientale nell'evoluzione del territorio partecipano e si possono leggere anche gli imput antropici, i quali si manifestano grazie a una serie di proxies. Lo scopo di una valutazione mirata anche su questi dati è quantificare l'impatto umano, le crisi, l'inquinamento urbano e metallurgico per ripercorrere e ricostruire sia le fasi sia le forme dell'occupazione o uso e modificazione dell'area in esame misurando i primi effetti delle società sui loro ambienti.

Tra i sedimenti è possibile riscontrare infatti delle variazioni legate a un primo impatto qualificato come granulometrico, il quale può suggerire, nell'eventualità di un intervento edilizio, il calo del livello d'energia e il passaggio da un ambiente ad alta energia a uno artificiale e più protetto caratterizzato da bassa energia e sedimento fine come limoso-argilloso. Questo a sua volta può determinare un'alterazione sotto il punto di vista biologico della macrofauna e della microfauna, ovvero con la trasformazione dell'ambiente naturale e dei fattori chimico fisici come luce, temperatura, salinità e contenuto di ossigeno vi è un mutamento sia qualitativo di specie animali e

vegetali sia quantitativo con la diminuzione del numero di specie e l'aumento del numero di individui. Ciò, ovviamente, ci testimonia antichi stress ecologici. Un terzo impatto è di natura geomorfologica dovuto all'apporto di sedimenti e materiale che provocano anche un'accelerazione della progradazione della costa. L'incidenza detritica, riconoscibile dalla presenza di tassi di accumulo accelerati e quindi dalla veloce crescita dell'area, avviene invece maggiormente nel caso di bacini portuali che costituiscono delle vere trappole sedimentarie. In ultima analisi, particolarmente evidente, è il paleoinquinamento generato dagli impatti geochimici caratterizzati dal rilascio in mare di metalli pesanti dalle attività metallurgiche che consentono di ricostruire ed interpretare le fasi di occupazione della zona costiera e delle aree prospicienti. In modo particolare tra i metalli il piombo si è rivelato un potente strumento nel riconoscimento di antiche attività industriali¹⁵⁴.

Perciò in aree e ambienti complessi, configuratesi nel tempo a partire dal contributo di molti e diversi fattori e caratterizzati attualmente da una scarsità di dati è possibile affermare che gli studi disciplinari tradizionali risultano inadeguati, anche in termini economici, o comunque insufficienti se considerati isolatamente. In previsione di una ricostruzione non solo archeologica ma anche paleoambientale l'approccio geoarcheologico, precedentemente esposto, fornisce la possibilità di fronteggiare e quindi rispondere a tre tipologie di domande (dove, quando e come), indispensabili per una migliore comprensione della documentazione archeologica litoranea e marittima.

È perciò possibile affrontare immediatamente il problema paleogeografico e quindi individuare in primo luogo il dove, ovvero la collocazione degli antichi paesaggi costieri, dell'antica linea costiera, dei bacini portuali e il rapporto tra mare e strutture antropiche; in secondo luogo, l'approccio geoarcheologico tenta di rispondere al problema cronologico, ovvero ricostruire i momenti decisivi di transito ed evoluzione del paesaggio. In particolare si cerca di definire non solo in modo relativo ma anche assoluto tramite il materiale archeologico e i risultati al C14 il passaggio da ambienti naturali ad ambienti sempre più antropici e il momento in cui questi hanno cessato di evolversi solo in modo naturale per vivere un'artificialità e un'urbanizzazione senza precedenti, le quali corrispondono a diverse logiche di organizzazione spaziale e tipologie di impatto; in terzo luogo, si rivela d'aiuto nello studiare e caratterizzare le modalità e quantificare l'entità dell'impatto con cui popolazioni locali hanno influito sulle zone costiere e viceversa, ossia indirettamente oppure fin da subito direttamente e soprattutto se consapevolmente o meno. Un interesse specifico consiste proprio nel valutare da un lato l'evoluzione degli ambienti paleo-costieri e i vincoli che comportano e dall'altro le dinamiche delle società antiche che nel tempo si sono interfacciate con essi.

¹⁵⁴ Goiran e Morhange, 2001; Marriner e Morhange, 2007.

Concludendo, bisogna dire che sarebbe altresì erroneo sottolineare per la disciplina archeologica solamente i lati positivi dell'approccio qui esposto senza esporre le possibili carenze. Un certo grado di cautela deve essere esercitato, soprattutto cercando di estrapolare e comprendere la geomorfologia sia attuale sia passata, per non ricavare ambiguità o fraintendimenti. In pratica un certo numero di imprecisioni o risultati fallimentari rimangono, spesso non relativi specificamente alla disciplina prevalente in sé, ma piuttosto agli strumenti utilizzati o alla tecnica prevalente scelta dal ricercatore. Inoltre, anche se sembra che sia stato trovato un giusto bilanciamento tra i vari apporti disciplinari e metodologici, questo approccio geoarcheologico recente potrebbe essere criticato come eccessivamente “geocentrico”¹⁵⁵.

¹⁵⁵ Marriner e Morhange, 2007.

Capitolo III

La ricognizione 2020 dell'area umida retrostante la laguna di Nora

Il sondaggio NR4

L'evoluzione della penisola norense non è stata subordinata solo dall'agente umano, di cui vediamo il passaggio grazie alle vestigia archeologiche, ma anche dall'ambiente, che ha rappresentato perciò sia lo sfondo nel quale si è costruita la storia della città sia un fattore fortemente condizionante per esempio per la dieta, per l'economia o per la topografia. Da questo punto di vista diventa allora necessario ampliare il quadro conoscitivo del territorio prossimale alla città.

La ricognizione dell'area d'interesse, scelta appositamente dall'Università di Padova per intraprendere ed avviare, grazie anche al supporto tecnico e metodologico dell'Università di Pisa, la nuova tematica di ricerca paleoambientale, ha condotto, tramite un sopralluogo in campo, ad esaminare il terreno di lavoro. In particolare sono state vagliate le proprietà geotecniche, le possibili limitazioni fisiche determinate dalla profondità di campionamento, dalle condizioni idrodinamiche dell'area e dalle caratteristiche tessiturali del sedimento, la capacità di campionamento e la possibilità o meno di recuperare sedimento sufficiente e indisturbato. Con l'occasione si è realizzato un primo sondaggio estratto nell'area salmastra alle spalle dell'attuale laguna chiusa con coordinate GPS $9^{\circ}.0109138$ E e $38^{\circ}.9917935$ N (Fig. 19) secondo il sistema convenzionale terrestre WGS84 (World Geodetic System 1984, conosciuto anche come EPSG:4326).

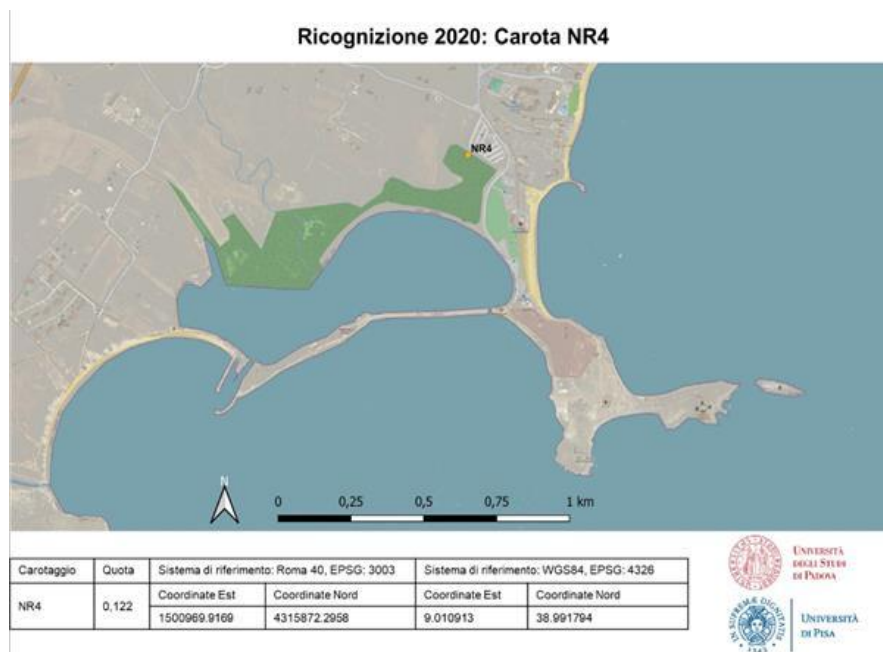


Fig.19. Mappa Gis con indicazione del posizionamento del primo sondaggio indicato come NR_C1 e successivamente denominato NR4. Elaborazione di Venturoli, 2021.

Successivamente la carota è stata studiata nel laboratorio del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa dal M. Vacchi per valutare le potenzialità informative contenute nel sedimento e, quindi sulla base di ciò, sia per pianificare il futuro lavoro in campo sia per definire al meglio gli strumenti da utilizzare e la zona in cui approfondire le indagini.

Il sondaggio complessivo (Fig. 21), caratterizzato da una lunghezza totale di 2 m, è stato realizzato utilizzando un carotiere semplice per carotaggi manuali che, infisso a pressione, permette il minimo disturbo dei materiali attraversati e consente il prelievo di campioni rappresentativi, i quali, una volta fotografati e misurati, vengono sistemati in apposite cassette catalogatrici, in materiale plastico o ligneo, preposte alla loro conservazione e sulle quali viene riportato in modo indelebile il numero del sondaggio e la profondità di riferimento.

Inoltre, bisogna precisare a quale quota rispetto al livello del mare la carota è stata estratta. Il livello medio del mare, che rappresenta il punto di quota 0, corrisponde alla media altezza dell'acqua, la quale varia per una serie di cause, quali moto ondoso, azione delle correnti, del vento delle variazioni termiche e delle maree, rispetto ad un punto fisso. Il livello medio viene determinato tramite il mareografo, costituito da un galleggiante posto in un pozzo in comunicazione con il mare e generalmente all'interno di un porto al riparo da eventuali azioni perturbatrici, i cui movimenti vengono registrati da una punta scrivente su un foglio che trasla con velocità costante. Si determina in tal modo la posizione nel tempo del livello del mare rispetto ad una retta tracciata sulla carta, la quale rappresenta invece il riferimento. Per l'Italia il mareografo di riferimento per l'area continentale è rappresentato da quello di Genova, livello medio del mare del 1942; per la Sicilia vi è il mareografo di Catania, livello medio del mare del 1965 e per la Sardegna il mareografo di Cagliari, livello medio del mare del 1956.

In particolare, per quanto riguarda l'elevazione questa carota NR4 si trova a 0,12 m s.l.m rispetto al mareografo di Cagliari.

Dal punto di vista litostratigrafico è stato possibile compiere una prima descrizione dei sedimenti presenti nella carota indicando la granulometria o soprattutto il colore che rappresenta il primo e più immediato parametro per ipotizzare il modo di formazione, la composizione o ancora ad esempio le condizioni di drenaggio del terreno. Guardando il troncone di sedimento si possono infatti riconoscere degli intervalli chiari, ovvero gruppi di strati che mostrano al loro interno delle medesime caratteristiche. Ad esempio la porzione finale presenta delle evidenti tracce di colore arancione dovute all'azione dell'ossidazione, la quale potrebbe essere determinata o dall'intercettazione della falda di acqua dolce, che sarebbe vicinissima alla costa, oppure da un cambio estremamente marcato di ambiente deposizionale.

Compreso tra 0 e -100 cm è stato individuato del materiale conchigliare, tuttavia insufficiente per avere delle informazioni esaurienti applicando l'analisi al radiocarbonio.

Nell'intervallo tra -100 e -200 cm, invece, sono stati rinvenuti e analizzati un frammento di legno e della materia organica. Il frammento ligneo, presente a una quota superiore e corrispondente a -1,38 m, è stato datato grazie all'analisi del carbonio-14 tra il 1545 e il 1425 a.C. e si è notato come sia stato campionato in un ambiente abbastanza comparabile all'attuale. Invece a una quota inferiore di -1,64 m i campioni di sedimento prelevati hanno messo in luce una sequenza lagunare ricca di macrofauna, ovvero organismi bentonici, sia recenti sia fossili, acquatici sia d'acqua dolce sia marina, i quali sono espressamente distinti in base alle dimensioni in macrofauna, superiori per alcuni autori ai 0,5 mm (500 µm) ma secondo altri ancora a 1 mm (1000 µm), in meiofauna, che verrà analizzata nello specifico nella prossima carota, e in microfauna.

In particolare, *in primis* sono stati riconosciuti in abbondante quantità esemplari di gasteropodi (Fig. 20), una classe di molluschi costituiti da conchiglie composte da un unico guscio, tra i quali è stato distinto molto bene l'*Hydrobia*, classificata da W. Hartmann (1821)¹⁵⁶, un genere di piccolissime lumache d'acqua salmastra e di ambiente tipicamente lagunare e confinato con una branchia e un opercolo della famiglia Hydrobiidae. Secondariamente sono stati individuati ed isolati i bivalvi (Fig. 20), ovvero una classe di molluschi detti anche Lamellibranchi caratterizzati da un apparato conchigliare composto da due elementi distinti detti valve, generalmente simmetriche e unite da una cerniera mobile. Tra quest'ultimi emerge il *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789)¹⁵⁷ un mollusco bivalve della famiglia Cardiidae, anche noto comunemente come cuore di laguna dal momento che è distintivo e indicativo di un ambiente lagunare, non completamente confinato ma addirittura connesso col mare.



Fig.20. A sinistra: esempio di gasteropode del tipo *Hydrobia* (Hartmann 1821); a destra: raffigurazione di entrambe le valve, con vista interna ed esterna, del *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789).

¹⁵⁶ WoRMS - World Register of Marine Species - *Hydrobia* (W. Hartmann 1821), [1821https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=138081](https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=138081)

¹⁵⁷ WoRMS - World Register of Marine Species - *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789), <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=138999>

Per questo materiale organico l'analisi a ^{14}C ha permesso di definire una cronologia tra 2473-2299 a.C.

Un primo risultato e dato, a cui possiamo giungere a partire da una prima macro analisi di questo singolo ed isolato sondaggio, consiste nel poter datare la stratificazione e gli episodi deposizionali e nel constatare innanzitutto che l'inizio della sedimentazione lagunare è avvenuto, come indicano questi due primi metri di sedimento estratto, circa 4400 anni fa, ovvero verso il 2300 a.C.

Inoltre, in un secondo momento, a conferma che i tassi medi di sedimentazione nell'area lagunare sono bassi, ossia inferiori al mezzo millimetro all'anno, è il rinvenimento ligneo di 3400 anni fa a una quota relativamente alta, che non raggiunge neanche il metro e mezzo di profondità. Dunque, queste informazioni, raccolte ed elaborate in vista della nuova campagna di carotaggio 2021, nonostante siano limitate perché non ancora confermate da altre indagini, hanno comunque portato a ipotizzare che tale ambiente sia piuttosto stabile da un punto di vista evolutivo e non vi siano stati né grandi impatti o trasformazioni antropiche né eventi naturali catastrofici come inondazioni, alluvioni o tsunami.

Infine, data la scarsa se non assente sussistenza di organismi marini nell'ultimo metro estratto e quindi negli ultimi 3400 anni è possibile presumere che il livello del mare sembra essere cambiato al massimo di circa 1,3 – 1,4 m rispetto al *datum* Cagliari 1956.

NR_C1 (Top 0,12 msl Cagliari 1956)

0-100 cm



■ C14 (materiale conchigliare insufficiente)

100-200 cm



■ 1545-1425 BCE
legno -1,38 m

■ 2473-2299 BCE
mat. organica -1.64

Fig.21. Rappresentazione della carota NR4 con indicazione della lunghezza e del materiale ligneo ed organico ad alto potenziale informativo individuato e sottoposto ad analisi al C14. Elaborazione di Vacchi, 2020.

La beachrock di Sant’Eufisio

Nel corso delle stesse giornate di studio, l’attenzione è stata rivolta anche alla spiaggia di Sant’Eufisio, sul lato opposto rispetto alla laguna.

Nella porzione più distale dalla linea di riva, collocata alla quota di -1,44 m s.l.m., della beachrock di Sant’Eufisio (Fig. 22) è stata quindi campionata e analizzata al radiocarbonio una conchiglia, datata tramite l’analisi al carbonio-14 al 1229-962 a.C. circa.

Tuttavia, in questo caso, i dati sul paleolivello del mare sono più vaghi perché la beachrock – ovvero una palespiaggia allo stato consolidato composta da una roccia sedimentaria clastica costituita da una miscela variabile di sedimenti delle dimensioni di ghiaia, sabbia e limo e spesso, a seconda dell’habitat naturale o antropico in cui si va cementando, misti anche a conchiglie, frammenti di corallo, minerali, di manufatti ceramici o lignei – si forma ad opera di processi di cementazione tramite carbonati calcitico-magnesiaci o aragonitici lungo il litorale in condizioni sia subaeree sia sottomarine e quindi sia sopra che sotto il livello medio mare, ragione per cui come indicatore non è molto preciso e solido. Inoltre la difficoltà nel loro utilizzo è altresì legata alla discontinuità degli affioramenti, alle cattive condizioni di conservazione, alle caratteristiche compositive non sempre chiare e alla loro localizzazione e distribuzione.

Risulta però interessante il fatto che la data è comparabile a livello crono-altitudinale con quella della laguna e nello specifico con il pezzetto di legno collocato a -1,38 m.

Nel caso la data fosse confermata, si potrebbe avere un quadro piuttosto interessante della paleogeografia norense. In particolare, la spiaggia di Sant’Eufisio avrebbe dei tassi di erosione millenari molto bassi (meno di 1 mm/a) con variazioni decisamente minime della linea di riva negli ultimi millenni.



Fig.22. Immagini fotografiche prese in più punti della beachrock di Sant’Eufisio. Venturoli, 2021.

Capitolo IV

La campagna di carotaggio 2021. Analisi del primo sondaggio NR1

Materiali e Metodi in campo

Operazioni e strumenti di carotaggio

Il primo sondaggio geognostico, il quale consiste nell'eseguire un vero e proprio prelievo di terreno sotto forma di carota di sedimento, è stato realizzato ad ottobre 2021 con ubicazione GPS 9°.010899 E e 38°.991811 N nella zona intertidale in un contesto di piana costiera salmastra presente all'interno dell'area lagunare della città antica di Nora (Fig. 23). Una volta che la carota è stata estratta con la sonda russa, fotografata, posizionata in un tubo di plastica, precedentemente preparato ed etichettato con indicazione della carota e della profondità, e avvolta nella carta alluminio, essa è stata trasportata e conservata nella cella frigorifera, il punto preciso d'estrazione è stato segnato tramite un'asta in metallo fondamentale per registrare successivamente la posizione precisa attraverso il rilievo e la stazione totale. I dati sono stati perciò georeferenziati all'interno del software QGis, ovvero è stata loro attribuita l'informazione relativa all'ubicazione geografica in relazione a un particolare sistema geodetico di riferimento. Nel nostro caso i sistemi di riferimento o datum geodetici considerati sono stati sia il Roma 40 sia il WGS84.

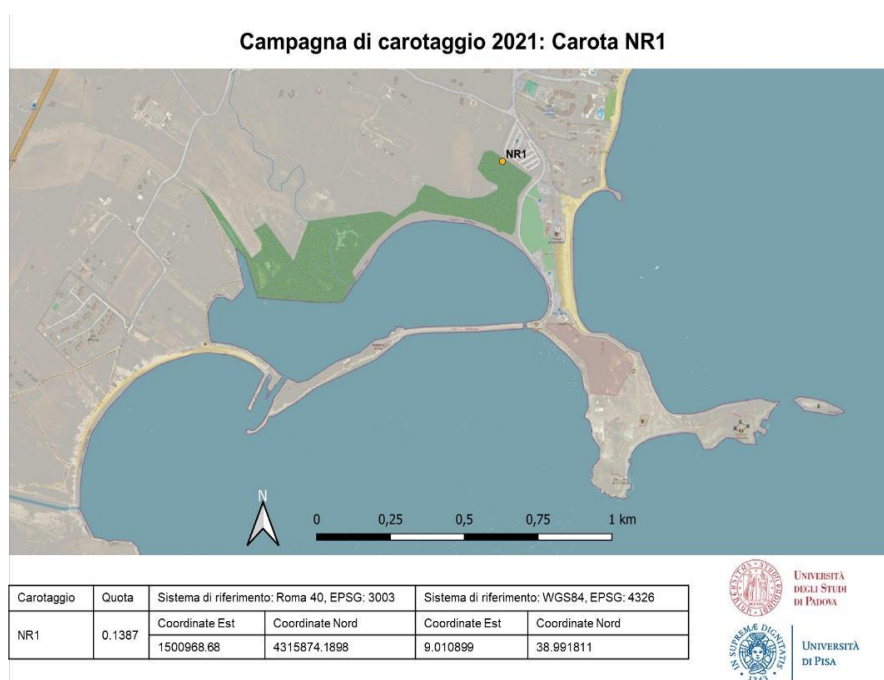


Fig.23. Mappa Gis con indicazione georeferenziata del sondaggio NR1. Elaborazione di Venturoli, 2021.

Il piano di campagna, a quota 0,13 m sul livello del mare (s.l.m.), è costituito (Fig.24.) da una barena lagunare emersa in ambiente salmastro (*salt marsh*) e caratterizzata dalla presenza di una vegetazione di tipo alofilo in cui risulta predominante la *Salicornia* appartenente alla famiglia botanica delle *Chenopodiaceae*: una pianta perenne erbacea con fusto prostrato ovvero eretto, di colore verde mentre in autunno di colore rosso, ramificata e con foglie ridotte tipica degli ambienti marini litoranei o lagunari, in cui il terreno è intriso di acqua salata, e molto diffusa sui terreni fangosi o sabbiosi. L'identificazione del tipo di pianta e quindi della copertura vegetazionale ci ha permesso in termini di zonazione di indicare l'area come una zona alta della palude (*high marsh*). La carota NR1 è stata estratta fino alla profondità massima di -1,76 m eseguendo quattro sondaggi diversi e successivi uno all'altro; i primi tre spezzoni hanno una lunghezza di 50 cm mentre il quarto è lungo 21 cm.



Fig.24. Immagine fotografica in situ e foto aerea, con indicazione del sondaggio NR1 elaborata in gis, del contesto salmastro collocato all'interno dell'area lagunare protetta. Foto scattate ed elaborate da Venturoli, 2021.

Tutte le operazioni di sondaggio (Fig. 25), sia per l'estrazione di questa carota NR1 sia per le carote NR2 e NR3, sono state condotte ricorrendo ad una strumentazione idonea e appropriata in base al tipo di contesto ambientale e quindi alla tipologia di sedimenti. In primo luogo è stato utilizzato un carotiere manuale con calibro aperto per individuare il punto maggiormente conveniente in cui successivamente realizzare la carota da studiare tramite carotiere russo. I carotieri manuali, costruiti in acciaio e perciò leggeri ma resistenti, permettono infatti in modo relativamente facile e veloce di svolgere campionamenti di sedimenti poco coesi e/o mediamente compatti in ambienti caratterizzati anche da acque dolci, salmastre o salate. È sufficiente premere il carotiere nel terreno utilizzando le apposite maniglie posizionate sulla testa e una volta penetrato nel fondo si ruota e si alza verso l'alto per recuperare il campione. Il momento più difficile dell'operazione è però sicuramente l'estrazione a causa del substrato fangoso e molle. Tramite poi la sgorbia e un

coltellino la carota è stata aperta lungo la porzione longitudinale al fine di eseguire già in campo una preliminare descrizione sedimentologica del materiale fresco e per valutare immediatamente la qualità e il grado di informazione presente o meno in quella sezione di terreno.



Fig.25. Alcune immagini fotografiche scattate durante le operazioni di carotaggio: a) preparazione dei materiali e degli strumenti; b) valutazione del punto in cui effettuare il primo sondaggio con carotiere a calibro aperto; c) preliminare valutazione del sedimento; d) osservazione e fotografia di ogni spezzone. Foto di Carraro e Venturoli, 2021.

L'uso successivo della sonda russa (Fig. 26) risulta ideale non solo per un terreno poco o mediamente compatto costituito prevalentemente da argilla, sabbia o ghiaia e contenente materiale organico e torboso, come fibre, legno e fauna ma anche per campionamenti in zone umide poco profonde e prelievi in acque superficiali e di falda. Inoltre questa tipologia di carotiere a “bandiera” è apprezzabile perché garantisce un taglio ottimale del terreno, una minor distruzione e compattazione dei sedimenti, dal momento che non li comprime, e una effettiva protezione del sedimento: infatti durante l'estrazione mediante una piastra protegge e mantiene in posizione il campione, evitando sia contaminazioni sia rimescolamento. Lo scopo dell'impiego di questo tipo

di sonda è sia ottenere una carota continua di materiale a debole grado di disturbo in cui la successione stratigrafica nel prelievo non venga alterata, ossia che non si sposti la profondità reale dei markers e che si forniscano sedimenti non falsati nella stratigrafia, sia restituire campioni il più possibile indisturbati che possano essere, nonostante l'attrito che si sviluppa lungo le pareti nel corso della penetrazione e la compressione durante il prelievo, rappresentativi della composizione granulometrica, del colore, del contenuto d'acqua naturale e delle caratteristiche fisico meccaniche. Ovviamente è utile sottolineare che il cilindro deve essere sempre ben pulito ed integro tra una operazione e l'altra. Come nel caso precedente anche l'utilizzo di tale sonda è semplice: una volta inserita nel terreno è necessario ruotare in senso orario di 180° la ganascia del carotiere facendo leva sulle apposite maniglie, il suo bordo taglierà il terreno attorno ad una "bandiera" di guida che garantisce la massima precisione. Una volta estratto il carotiere basterà ruotare in senso antiorario la ganascia per recuperare il campione. Naturalmente per il carotaggio continuo esistono delle prolunghe che, montate sull'asta principale, permettono di aumentare la profondità di perforazione fino a raggiungere la lunghezza utile allo scopo.



Fig.26. A destra: il carotiere russo usato in questa campagna di carotaggio. A sinistra: la porzione di terreno estratta tramite uso della sonda russa viene successivamente posizionata in un tubo di plastica con indicazione del sondaggio e delle dimensioni, dal punto di vista della profondità, dello spezzone. Foto di Venturoli, 2021.

Analisi Litostratigrafica

In un momento successivo ma sempre in prossimità del sito si è proceduto con le prime analisi della carota NR1, le quali saranno illustrate di seguito e che forniranno per questa fase dei lavori,

ancora priva dell'apporto informativo derivato dagli studi dei sondaggi NR2 e NR3, un primo dato fisico del sistema lagunare protetto. Le informazioni che sarà possibile conseguire, sebbene estremamente dettagliate e precise, per il momento sono però puntuali e unicamente utili nell'ipotizzare l'evoluzione paleoambientale, e, tuttavia, non ancora in grado di descriverla completamente.

I quattro spezzoni diversi, che come specificato precedentemente compongono la prima carota, sono stati riposti in frigo, per evitare, ad esempio, decomposizioni del materiale organico che può portare a ringiovanimenti della datazione radiometrica, quindi aperti lungo la sezione longitudinale in modo tale da visionare la porzione fresca e leggere la stratigrafia.

La successione sedimentaria dei sondaggi è stata studiata attraverso un'approfondita osservazione delle caratteristiche litologiche, ovvero dell'aspetto su base litologica, le quali hanno permesso il riconoscimento di un certo numero di litofacies. Il termine facies è molto usato in geologia e soprattutto in sedimentologia, in cui si fa riferimento a facies sedimentaria per indicare l'insieme di tutti i caratteri di una certa unità sedimentaria. Nello specifico se la descrizione è incentrata sui caratteri fisici e chimici del deposito o del singolo strato si parla di litofacies, se si descrive il contenuto fossilifero si parla di biofacies.

Per definire la litostratigrafia e le litofacies si valutano una serie di caratteristiche ed elementi; ad esempio, tra le varie proprietà, la granulometria, la tessitura, il colore, la consistenza, il grado di consolidazione, le strutture sedimentarie, gli orizzonti pedologici, il contenuto paleontologico animale e vegetale. Innanzitutto si può cercare di individuare la consistenza e la composizione dal momento che i sedimenti possono essere granuli mono-minerali o composti da più minerali oppure frammenti di roccia. Oltre a ciò, possono essere presenti e visibili a occhio nudo elementi e materiali accessori come contenuto (macro)paleontologico animale (e.g., conchiglie di molluschi) e vegetale (e.g., fibre vegetali, frammenti di legno) e come materiali archeologici o precipitati chimici e biochimici, evaporiti, noduli, ossidi, detrito organico.

Il secondo elemento che si considera è la granulometria, ossia la dimensione dei granuli, che si basa sulla distinzione di classi dimensionali ben definite: argilla (< 4 micron), silt (4-63 micron), sabbia (63 micron-2 mm) e ghiaia (>2 mm). Bisogna precisare che un sedimento può essere costituito da una sola delle classi dimensionali ma nella maggior parte dei casi consiste in una combinazione di queste, per cui è necessario determinare la quantità di ciascuna classe sedimentaria tramite specifiche analisi di laboratorio. La stima delle percentuali delle diverse classi granulometriche riconosciute durante l'analisi del sondaggio, come l'individuazione della presenza di limo o argilla, può essere condotta anche in campo attraverso la manipolazione dei sedimenti e la valutazione della plasticità. Inoltre il solo esame della granulometria abbinato anche alla

descrizione dei passaggi tra una unità litologica e un'altra rappresenta già un buon indicatore dell'energia caratteristica dell'ambiente deposizionale registrato nella carota e quindi dello scenario naturale o artificiale antico, fornendoci ulteriori informazioni per l'evoluzione paleoambientale dell'area. Le litofacies ovviamente possiedono dei limiti inferiori e superiori, i quali ci permettono di distinguerle lungo stratigrafia e di quantificare lo spessore di ogni litofacies. Tali limiti possono essere ben visibili perché netti oppure gradualmente sfumati.

Da sottolineare che ciò che invece risulta più complesso individuare all'interno di una carota è una transizione tra orizzonti o strati formatasi per erosione.

Un'accurata valutazione della consistenza e l'osservazione del colore, determinato alla luce non diretta del sole sulla carota fresca, contribuiscono considerevolmente all'interpretazione del modo di formazione, della composizione del sedimento e dell'ambiente deposizionale, in particolare per i sedimenti fini (prevalentemente costituiti da argille e silt). Ad esempio, sedimenti compatti e mostranti colori giallastri o arancioni sono indicativi di contesti subaerei (ossidanti) mentre sedimenti meno compatti, plastici e di colore grigio-grigio scuro sono spesso associati a condizioni sommerse più o meno arricchite in materia organica e riducenti. Sono inoltre molto importanti i colori, oltre che le dimensioni e le forme, di eventuali elementi pedologici quali screziature, noduli carbonatici o ossidi e patine. In una carota è inoltre possibile individuare le strutture sedimentarie (trattive o da decantazione) dovute alla relazione geometrica tra i grani nello strato, le quali vengono prodotte da meccanismi di deposizione ed erosione, acquisite all'atto della sedimentazione e servono a distinguere sedimenti naturali o antropici. Queste osservazioni aiutano anche a desumere la possibile velocità di sedimentazione. Vengono infine solitamente descritti eventuali elementi accessori di origine vegetale o animale, quali resti vegetali e gusci (spesso di molluschi) e/o frammenti di conchiglie poiché possono fornire informazioni in termini di salinità e grado di confinamento soprattutto in contesti transizionali.

Per ogni porzione carotata sono stati perciò individuati degli intervalli stratigrafici mostranti specifiche caratteristiche litologiche e/o di contenuto in elementi accessori (litofacies) che li differenziano dai depositi sovrastanti e sottostanti e corrispondono a specifici ambienti deposizionali: vi sono quindi tra gli strati similitudini oppure delle differenze. Per esempio possiamo avere due intervalli uno sopra all'altro che si presentano identici a livello granulometrico, tuttavia, uno è totalmente privo di fossili mentre il secondo ne è molto ricco: sono perciò due intervalli differenti ma granulometricamente uguali.

In concomitanza alla descrizione si è inoltre proceduto, annotando ed evidenziando tutte le caratteristiche, a disegnare a mano un primo log stratigrafico della carota NR utile per l'identificazione delle litofacies e la programmazione della fase successiva di campionamento.

Partendo dal presupposto che non esiste un solo tipo di stratigrafia ma più stratigrafie a seconda dei differenti criteri applicati, successivamente si è proceduto con il campionamento dei quattro spezzoni, ovvero con la divisione dei nuclei in una serie di sottocampioni e quindi il prelievo sia di sedimento sia di materiale organico ove presente. Bisogna specificare innanzitutto che a seconda della natura dei sedimenti e dell'attrezzatura di carotaggio impiegata l'intervallo di campionamento va a variare e, in secondo luogo, che verranno individuate delle unità che non coincidono necessariamente con le precedenti unità litostratigrafiche.

Nel nostro caso, le porzioni di sedimento sono state prese in piccole quantità ma molto ravvicinate tra loro e poste in appositi sacchetti di plastica chiusi ermeticamente e siglati per realizzare in seguito le analisi in laboratorio. In particolare modo la campionatura è stata eseguita ad alta risoluzione, ovvero centimetrica, e più fitta e regolare, ossia ogni 1 e 2 cm, per quanto riguarda le analisi palinologiche e geochimiche, mentre nell'intento di attuare uno studio ambientale nel tempo è stato pianificato un campionamento specifico per l'analisi della meiofauna: infatti, sono stati prelevati una serie di campioni ogni 4 cm per essere esaminati in termini di contenuto in meiofauna. Una situazione normale e consueta prevede infatti che uno stesso intervallo litologico venga suddiviso tramite campionatura in diverse e più numerose unità biostratigrafiche, le quali saranno successivamente definite nello studio paleontologico sulla base del loro contenuto fossilifero, essenziale nell'interpretazione paleoecologica, paleobiologica, paleoclimatica e paleomarina.

L'obiettivo principale è perciò applicare nell'indagine un'integrazione tra i caratteri sedimentari, il dato fisico litologico e i bioindicatori osservabili al microscopio, come ostracodi e foraminiferi bentonici, i resti vegetali e pollinici al fine di ottenere un'analisi di facies dettagliata e solida dalla quale deriverà la ricostruzione dei paleoambienti lungo carota e delle dinamiche del paesaggio nel sito di studio grazie anche alle datazioni. Per procedere con un'analisi di facies è infatti necessario riconoscere le facies e interpretare i fattori che agendo le hanno formate; in seguito, queste si devono raggruppare in associazioni di facies in modo tale da poterle attribuire e riconoscere l'ambiente di formazione. Perciò tutte le facies che si producono formano una associazione di facies e riflettono sia l'ambiente deposizionale del passato sia l'insieme dei processi che hanno avuto luogo. Una laguna, per esempio come nel nostro caso, è un'area a bassa energia con acque basse salmastre con periodici influssi e apporti di sabbia dal mare e di altri sedimenti terrigeni dai fiumi che costituisce una nicchia ecologica dove vivono solo alcune piante e determinati organismi animali (planctonici e bentonici) che si adattano alle condizioni ambientali, caratterizzate da forti cambiamenti nella sedimentazione, nella salinità, e da diversa energia.

L'aspetto più interessante ma che deve anche essere esaminato con cautela e avendo anche a disposizione più carote è la relazione spaziale e temporale tra facies. È possibile riscontrare

nell'analisi della stratificazione di un deposito e quindi anche di una carota una successione o sequenza di facies, ovvero associazioni di facies che si ritrovano in un particolare ordine quando nel tempo si ripetono i processi sedimentari a seguito di regolari cambiamenti ambientali. A differenza delle facies litologiche, la presenza o meno degli organismi bentonici all'interno degli ambienti non è dovuta a un'evoluzione ripetitiva delle condizioni ambientali. L'estensione verticale/temporale e orizzontale/spaziale di un'unità biostratigrafica dipende invece da particolari cambiamenti, eventi o evoluzioni naturali per cui i fossili da essi derivati, la loro distribuzione e la diversificazione tassonomica sono particolarmente efficaci nelle correlazioni, nella biocronologia, ossia la datazione relativa dei livelli che li contengono, e nell'individuazione di continuità o discontinuità di deposizione nelle successioni sedimentarie.

Campionamento per le diverse analisi

Immediatamente dopo l'individuazione nelle diverse porzioni della carota degli intervalli sulla base delle caratteristiche, quindi similitudini e differenze, litologiche e la loro descrizione litostratigrafica tutto il sondaggio NR1, che ricordiamo possiede una lunghezza di 176 cm, è stato campionato.

Il campionamento, che consiste in una analisi distruttiva, sarà ovviamente diverso a seconda delle analisi necessarie, le quali vanno dall'alta alla bassa risoluzione. Nel nostro caso sono stati raccolti secondo la strategia di studio concordata nell'organizzazione della campagna di carotaggio, campioni di sedimento e materiale organico destinati alle analisi meiofaunistiche, polliniche, geochimiche e al radiocarbonio (Fig. 27). Questi sono stati prelevati con delle spatole e spatoline, a seconda della quantità di materiale ritenuto necessario da parte di ogni studioso ai fini delle proprie analisi, e soprattutto in modo delicato e attento così da minimizzare l'alterazione della stratificazione e subito riposti, in modo da non essere sia toccati direttamente sia contaminati, in bustine di plastica chiuse ermeticamente con indicazione del sondaggio e della profondità di campionamento.

Una volta campionata per le diverse indagini, l'intera carota¹⁵⁸ è stata archiviata in condizioni di preservazione ottimale e perciò chiusa e avvolta completamente con la pellicola, in modo tale da isolare il sedimento, e sistemata in un contenitore refrigerato.

¹⁵⁸ In questo caso stiamo facendo riferimento al sondaggio NR1, costituito da quattro singoli e distinti spezzoni.



Fig.27. Immagini fotografiche realizzate durante la fase di fine estrazione e di campionamento. A destra: le porzioni fresche, una volta posizionate in tubi di plastica, sono state chiuse ermeticamente con fogli di alluminio e pellicola trasparente. Al centro: il primo spezzone, non ancora aperto, della carota NR1 con lunghezza compresa tra i 5 e i 55 cm. A sinistra: rappresentazione di una porzione del sondaggio a seguito del campionamento e del prelievo di materiale per le analisi paleontologiche. Foto di Venturoli, 2021.

Materiali e metodologie in laboratorio

Preparazione dei lavati per le analisi paleontologiche

I 42 campioni, prelevati ogni 4 cm per le analisi paleobiologiche e per essere vagliati in termini di contenuto in meiofauna, ostracodi e foraminiferi, sono stati quindi preparati nel Laboratorio di Materiali Incoerenti, all'interno del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali (BiGeA) dell'Università di Bologna (Fig. 28).

I campioni sono stati trattati seguendo un metodo standard¹⁵⁹, il quale potrebbe essere applicato a diversi contesti archeologici nel tentativo di superare la varietà di metodologie riportate nella letteratura. Innanzitutto sono stati essiccati per otto ore a 60° C, immersi in acqua e acqua ossigenata, setacciati a umido usando una maglia a 63 µm (240 mesh), facendoli perciò rientrare nella classe granulometrica delle sabbie, ed essiccati nuovamente. Durante questa fase di preparazione dei campioni l'informazione contenuta nella frazione sedimentaria granulometricamente inferiore a 63 µm, quindi rientrante nel range del silt e dell'argilla che è stata separata tramite setacciatura e raccolta a parte, si è perciò persa. Questa procedura è dovuta al fatto

¹⁵⁹ Amorosi *et alii*, 1999; Fiorini e Vaiani, 2001; Barbieri e Vaiani, 2018.

che i foraminiferi bentonici e gli ostracodi hanno dimensioni maggiori di 63 μm . Successivamente i lavati, ossia i campioni trattati e tuttora conservati nel laboratorio, di cui è stato annotato in grammi sia il peso a secco sia il peso della frazione maggiore ai 63 μm , sono stati tutti osservati al microscopio binoculare al fine di avere una prima valutazione qualitativa del sedimento.

In seguito è stata realizzata un'ulteriore setacciatura, questa volta a secco, utilizzando un setaccio con maglie a 125 μm , poiché la frazione compresa tra 63 e 125 micron è solitamente priva di valve di ostracodi utile ad uno stadio di muta tale da consentirne il riconoscimento tassonomico, e per di più questa porzione di sabbia molto fine, che così andiamo ad eliminare, ci rende più difficoltosa l'osservazione, pur usando un microscopio, del campione e della meiofauna. Per cui lo scopo di questa procedura è togliere un "rumore di fondo" dal punto di vista granulometrico. Tale operazione di smistamento del sedimento in due frazioni dimensionali diverse deve essere effettuata delicatamente con molta attenzione in quanto gli organismi fossili potrebbero esserne danneggiati. Da ogni campione si ottengono come risultato della setacciatura due sacchetti, ognuno riportante la sigla identificativa, contenenti rispettivamente il primo il sedimento superiore a 63 μm ma inferiore a 125 μm , il quale è passato attraverso le maglie del setaccio ed è perciò costituito dal punto di vista granulometrico da sabbia molto fine e su cui è stata svolta una verifica solo qualitativa, e il secondo maggiore o uguale di 125 μm .

Su tutti i 42 campioni contenenti la frazione di sedimento maggiore di 125 μm si è poi proceduto con l'osservazione e una descrizione qualitativa accurata, che verrà presentata nel prossimo capitolo relativo ai risultati, al microscopio binoculare (Fig. 28) al fine di acquisire maggiori informazioni riguardo la composizione mineralogica, la morfologia dei granuli e la presenza e tipologia di elementi accessori.

In seguito, la porzione di sedimento maggiore di 125 μm , dal momento che è risultata essere molto abbondante per ogni campione e composta da elementi più grossolani di disturbo come fibre, frustuli vegetali, concrezioni e grani particolarmente grandi, è stata conseguentemente quartata con microsplinter allo scopo di separare e frazionare il sedimento così da estrarre più facilmente gli esemplari di meiofauna. Infatti, nella maggior parte dei casi, essendo la meiofauna composta da organismi sufficientemente piccoli e numerosi, anche volumi ridotti di sedimento contengono un elevato numero di gusci fossili.

Per procedere dobbiamo specificare che nella frazione compresa tra 63 e 125 micron, che si è andati a separare e a non considerare per il contenuto meio bentonico, sono comunque presenti sia esemplari di ostracodi sia di foraminiferi bentonici. Per quanto riguarda gli ostracodi ricordiamo che questi però sono troppo piccoli per essere utili ed essere riconosciuti tassonomicamente, mentre per i foraminiferi bentonici dobbiamo specificare che possono esserci delle forme molto piccole

che appartengono a generi specifici ma solitamente marini, e perciò poco interessanti ai fini del nostro studio in ambiente salmastro. Di conseguenza, se escludiamo dall'analisi gli organismi inclusi nella frazione minore di 125 μm e andiamo a contare ed esaminare i fossili della frazione maggiore di 125 μm non perdiamo informazioni essenziali ed indispensabili al nostro studio dal momento che comunque tutte le specie che solitamente popolano gli ambienti salmastri, come la laguna norense, si ritrovano ampiamente nelle porzioni sedimentarie maggiori di 125 micron. Per concludere, è però necessario sottolineare ed essere coscienti che una parte minoritaria di informazione, unicamente relativa ai foraminiferi bentonici, potrebbe andare persa nei conteggi perché si è scelto di frazionare a 125 μm .



Fig.28. Strumenti utilizzati nel Laboratorio di Micropaleontologia dell'Università di Bologna: microscopio binoculare stereoscopico, dotato di zoom con obiettivo da 0,5X; sacchetti di plastica e vetrini; pennellino e acqua distillata, setaccio con maglie in acciaio inox da 125 μm e microsplitter. Foto di Venturoli, 2021.

Nell'analisi paleontologica, sebbene esistano tecniche di preparazione diverse e le dimensioni degli organismi fossili meiobentonici richiedano metodiche accurate nella loro separazione dalla matrice sedimentaria, una volta individuati al microscopio, sia le valve di ostracodi sia i gusci dei foraminiferi bentonici essi vengono separati dal sedimento tramite un pennellino inumidito con acqua e posizionati in un vetrino segnando sulla slide la sigla del campione da cui è stato prelevato. Tale operazione, indicata come "picking", comunemente per i sedimenti di ambienti dinamici e vari si applica su un numero molto elevato di organismi (almeno 300) in modo tale da estrarre almeno un esemplare per specie ed avere così una buona rappresentazione tassonomica evitando così di raccogliere solo i taxa di ostracodi o foraminiferi più comuni e presenti. Nelle lagune o in altri contesti transizionali contrassegnati generalmente sia da una bassa diversità sia dalla predominanza di un gruppo tassonomico fortemente dominante, le specie maggiormente significative sono più facilmente individuabili e perciò è stato ritenuto sufficiente raccogliere un numero inferiore ma comunque consistente di fossili (laddove possibile superiore a 100).

Il contenuto in meiofauna

Lo studio delle associazioni a meiofauna rientra nell'ambito di ricerca della biostratigrafia, ovvero lo studio della distribuzione temporale e spaziale degli organismi fossili preservati e raccolti negli archivi sedimentari naturali o antropici (archeologici) è quindi uno strumento importante per ricostruire in dettaglio la successione degli ambienti deposizionali, l'evoluzione delle biocenosi costiere e l'impatto delle società umane sugli ecosistemi¹⁶⁰. Oltre a ciò, i bioindicatori bentonici che vivono quindi sul fondale o al suo interno, i quali possono essere distinti in base alle dimensioni in macrobenthos, meiobenthos e microbenthos, sono anche ottimi proxies paleoambientali poiché sono capaci di tracciare i cambiamenti di vari parametri chimico-fisici relativi al fondale e alla massa d'acqua circostante quali la profondità, la salinità, l'idrodinamismo, ecc. specificare il tipo di collegamento con il mare aperto e il grado di confinamento e indagare evoluzione di ambienti naturali ma anche influenzati dall'uomo o addirittura completamente antropici (Fig.29).

Il termine meiobenthos fu introdotto da Molly F. Mare nel 1942¹⁶¹ per indicare gli organismi sia animali sia vegetali di dimensioni della granulometria delle sabbie, nello specifico compresi tra 0,063 mm e 1 mm, e perciò di taglia intermedia rispetto ai più piccoli organismi appartenenti al microbenthos, come i batteri, le diatomee e gran parte dei protozoi, e ai più grandi organismi del macrobenthos visibili ad occhio nudo con una grandezza maggiore di 1 mm, come i molluschi marini dei quali si ritrovano in abbondanza e si studiano i loro carapaci.

Nell'ambito di questo lavoro il campionamento e l'analisi hanno riguardato specificatamente la meiofauna, quindi organismi fossili appartenenti al meiobenthos ma esclusivamente animali, la quale negli ultimi anni ha acquisito un ruolo importante, divenendo un comune oggetto di studio, come potenziale indicatore di alterazione del funzionamento dell'ecosistema marino e di valutazione di molteplici processi di cambiamento e disturbo sulla base della forte sensibilità alle perturbazioni ambientali, dell'elevato numero di individui, della mancanza di forme larvali planctoniche e del breve ciclo vitale¹⁶².

È sempre opportuno sottolineare l'utilità per i team geoarcheologici di studi sia in campo sia in laboratorio ad alta risoluzione, ovvero le analisi non devono essere solamente limitate per ragioni pratiche, finanziarie e di tempo a organismi grandi e visibili ad occhio nudo che possono essere contati e identificati rapidamente ma devono venire estese alla componente biologica più piccola. Spesso una tale scelta di omissione è potenzialmente controproducente al fine di una ricostruzione precisa della storia e dell'evoluzione dell'area. In particolare, come proposto da Ward e da Jacoby

¹⁶⁰ Marriner e Morhange, 2007.

¹⁶¹ Danovaro *et alii*, 2003.

¹⁶² Moore e Bett, 1989; Danovaro *et alii*, 1995; Mirto *et alii*, 2002; Danovaro *et alii*, 2003; Mazzini *et alii*, 2021.

nel 1992, la meiofauna offre alcuni vantaggi rispetto ad altre componenti biologiche nel monitoraggio del paesaggio, tra i quali la facoltà di riflettere lo stato di salute del benthos marino per cui una sua variazione, o in aumento o in diminuzione, ha effetti sui livelli trofici più alti e ripercussioni sull'ecosistema. Inoltre è da preferirsi agli organismi della macrofauna per due ragioni: in primo luogo molte caratteristiche, come la forte associazione con la matrice sedimentaria e con le proprietà chimico-fisiche dell'ambiente, fanno sì che risponda rapidamente alle alterazioni delle condizioni ambientali acquatiche tramite modifiche nelle associazioni e, in secondo luogo, essendo composta da organismi sufficientemente piccoli e numerosi, anche volumi ridotti di sedimento contengono un elevato numero di organismi consentendo di avere una buona quantità di campioni.

Tra gli approcci più comuni nell'uso della meiofauna come indice ambientale vi è la possibilità di selezionare ed esaminare dei taxa specifici, che nel nostro caso studio sono rappresentati dagli ostracodi e dai foraminiferi. Naturalmente la scelta della specie indicatrice richiede conoscenze approfondite riguardo le peculiarità morfologiche, il ciclo di vita, i vantaggi e sulle risposte che si generano in relazione ai diversi fenomeni; in relazione alle risposte esistono comunque molti lavori in letteratura da prendere a modello e confronto.

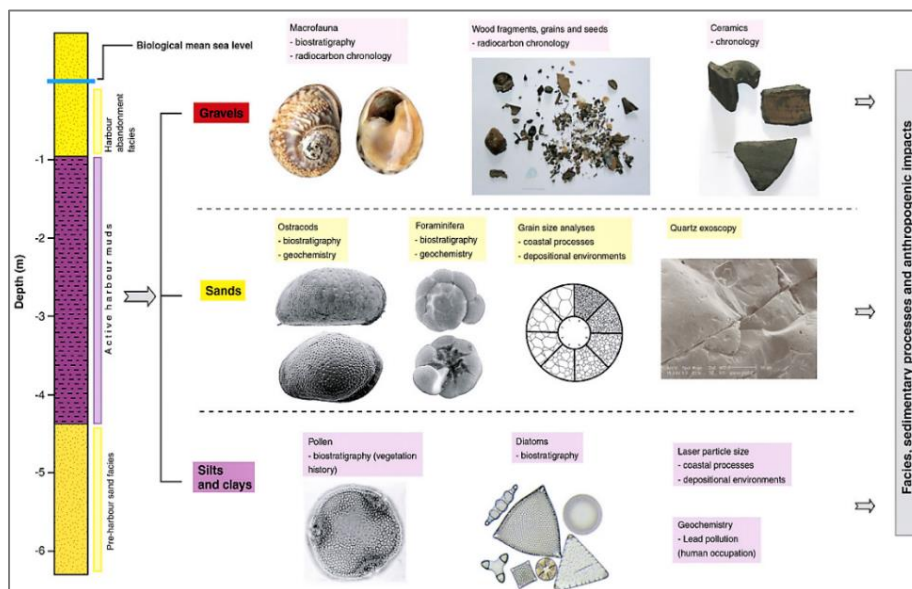


Fig.29. Indicatori paleoambientali: macrobentonici, mesobentonici e microbentonici, posti in relazione sia con la matrice sedimentaria nella quale sono spesso presenti sia con altre tipologie di componenti che si possono trovare in associazione. In Marriner e Morhange, 2007.

- Gli Ostracodi

Gli ostracodi, parola che deriva dal greco “ostrakon” cioè conchiglia, meritano una particolare attenzione poiché possiedono un'accurata risoluzione ambientale e popolano quasi la totalità degli ambienti acquatici anche dove altri organismi con guscio fossilizzabile mancano o sono

scarsamente rappresentati in abbondanza o in numero di specie. Essi sono una classe di microcrostacei acquatici, che rientrano perciò nel subphylum dei crostacei¹⁶³ e nel phylum degli Artropodi¹⁶⁴, con esoscheletro a composizione carbonatica a basso contenuto di Mg e di lunghezza generalmente inferiore a 2 mm, anche se possono variare tra 0,3 e 30 mm. Il carapace, ovvero l'esoscheletro, è bivalve cioè costituito da due valve formate ognuna da tre strati – il primo esterno sottile chitinoso che non fossilizza, il secondo che costituisce la lamella esterna di calcare che fossilizza e il terzo costituito dalla lamella interna con parte chitinoso e margine calcificato che fossilizza – incernierate dorsalmente, prive di linee di crescita e perforate da pori da cui assorbono l'ossigeno. Le due valve che costituiscono quindi il guscio coprono e racchiudono il corpo molle a simmetria bilaterale rivestito da una cuticola chitinoso e composto dalla testa o cephalon con occhio, antenne e appendici masticatorie, dal torace e da numerose appendici, solitamente fino a un massimo di otto paia, che servono per spostarsi, alimentarsi e riprodursi. L'addome invece è assente o unito al torace. Sono una classe che da un lato si accresce per mute (fino a un massimo di 7-8)¹⁶⁵, ossia esiste un fenomeno biologico per cui il corpo molle cresce passando dall'uovo a uno stadio giovanile ad infine adulto, perde ogni volta la coppia di valve, ormai insufficienti e piccole, e rinnova tramite una calcificazione relativamente rapida il proprio esoscheletro¹⁶⁶; dall'altro presenta nel carapace un'elevata varietà di forme, per esempio subrettangolare, ovoidale, subtriangolare, a fagiolo o subtrapezoidale, e nel suo grado di sviluppo o in determinate condizioni ecologiche può anche variare l'ornamento, il quale può presentarsi liscio o contraddistinto da punteggiature, carene, foveole, nodi o tubercoli oppure essere meno marcato nelle forme giovanili rispetto a quelle adulte. Infatti in alcune specie netti cambiamenti in forma e ornamentazione si verificano solo nella muta finale.

Altre peculiarità visibili e riconoscibili al microscopio sono le impronte muscolari, la tipologia di cerniera, la presenza o assenza di vestiboli e il numero e il tipo di porocanali marginali. Particolarmente evidente in alcune specie per differenza di forma e dimensione dal carapace è il dimorfismo sessuale che comporta delle difficoltà nel riconoscimento.

Ecologicamente, gli ostracodi marini, che nuotano liberi per tutto o parte del loro ciclo di vita, possono essere sia pelagici, ovvero sono solo marini con carapace molto sottile e fragile che spesso non fossilizza, sia bentonici, ovvero fanno parte del benthos dal momento che vivono tra le piante acquatiche, a stretto contatto con il fondale marino su cui strisciano o dentro il sedimento in cui si spostano scavando.

¹⁶³ Brünnich, 1772; Latreille, 1829.

¹⁶⁴ Latreille, 1829.

¹⁶⁵ Athersuch *et alii*, 1989.

¹⁶⁶ Frenzel e Boomer, 2005.

Dal punto di vista distributivo ecologico-ambientale la vera particolarità di tale classe è la loro ricorrenza e capacità di sopravvivere in quasi tutti gli ambienti acquatici contenenti un'adeguata disponibilità di ossigeno e nutrienti. Essi abitano ambienti dulcicoli (<0.5 per mille) come pozze temporanee e stagni, fiumi, laghi, sorgenti termali e vegetazione umida, ambienti salmastri (0.5-30 per mille) come lagune, estuari, laghi costieri, e ambienti marini (>30 per mille) ovvero dalla spiaggia sommersa alla zona batiale¹⁶⁷.

In tutti questi contesti gli ostracodi e in modo più specifico le specie con carapaci molto calcificati, dopo la morte o dopo la muta, si preservano perché fossilizzano andando a costituire un archivio paleoecologico importante. Sono infatti documentati abbondantemente nei sedimenti dal periodo Cambriano (approssimativamente 600 milioni di anni fa), caratterizzato da mutamenti e dalla comparsa delle principali novità morfologiche all'interno degli Artropodi, fino ai giorni nostri. La distribuzione delle specie di ostracodi è influenzata da vari fattori fisici e chimici tra i quali sono considerati maggiormente significativi ad esempio la salinità, la temperatura, la concentrazione di ossigeno, la profondità, la tipologia del substrato, il chimismo delle acque e l'apporto di cibo¹⁶⁸.

Soprattutto la salinità, che viene considerata uno dei principali fattori di controllo, influenza considerevolmente la distribuzione ambientale tanto è vero che per molto tempo questi organismi sono stati distinti all'interno della letteratura specifica in categorie ecologiche: specie marine (per esempio *Carinocythereis whitei*), d'acque salmastre (ad esempio *Cyprideis torosa*) e d'acque dolci, ossia dulciacquicole-ipoaline (ad esempio la *Candona neglecta*). Gli organismi tipici di ambienti salmastri sono stati ulteriormente divisi in specie eurialine, ovvero tolleranti ad ampie oscillazioni della salinità, salmastre (ad esempio *Loxoconcha ellipica*), le quali si ritrovano solamente in acque con una salinità bassissima¹⁶⁹, e marine che tollerano una bassa quantità di salinità fino ad un determinato grado (come specie di *Xestoleberis*) e vere e proprie specie. Spesso mostrano una varietà di specie relativamente alta anche nella zona di minima diversità e poche specie sono anche conosciute per essere adatte a vivere in ambienti con una salinità più alta del normale come accade in certe lagune: a titolo d'esempio possiamo fare un veloce riferimento al *Cyprideis torosa*, una specie eurialina, che è comunemente rinvenibile in acque salmastre quasi dulciacquicole ma può sopravvivere anche a salinità fino al 60 per mille. Bisogna anche sottolineare che gli ostracodi si sono rivelati particolarmente efficienti nel registrare le variazioni di salinità che non sempre corrispondono ad alterati schemi sedimentari ma ad attività umane nel paesaggio circostante i corpi idrici. La temperatura dell'acqua invece influisce principalmente sulla distribuzione geografica e

¹⁶⁷ Athersuch *et alii*, 1989.

¹⁶⁸ Athersuch *et alii*, 1989.

¹⁶⁹ Frenzel e Boomer, 2005.

sulla riproduzione ma non appare essere un agente determinante per le forme adulte di una specie. Solitamente gli ostracodi mostrano gusci meno ben calcificati quando si trovano agli estremi del loro areale ambientale, tuttavia, alcuni autori collegano i diversi gradi di calcificazione proprio alla temperatura¹⁷⁰. Decisivo è pure l'idrodinamismo che condiziona non solo lo spessore e la resistenza del carapace ma anche l'entità dell'ornamentazione.

Questa classe è tuttavia complessa e per questo possono sorgere delle difficoltà nell'identificazione tassonomica a livello di specie, nell'identificazione delle caratteristiche ecologiche delle specie di ambienti dulciacquicoli-ipoalini. Infine, un punto di debolezza è l'incapacità di sopportare elevati tassi di sedimentazione, ad eccezione talvolta di poche specie, un pH acido, scarsità di nutrienti e prolungati periodi di esposizione subaerea¹⁷¹.

In generale, dopo una lunga e complessa discussione tassonomica esposta nella recente letteratura in merito alla classificazione di tali piccoli crostacei e che ha visto l'avanzamento da parte degli studiosi di varie proposte e schemi riflettenti diverse interpretazioni dell'evoluzione e della filogenesi del gruppo, la classe degli ostracodi è divisa in sei ordini dei quali unicamente i Myodocopida, i Cladocopida, i Platycopida e i Podocopida hanno rappresentanti ancora viventi e non solamente fossili.

Gli ostracodi possiedono una serie di punti di forza e qualità per cui assumono un ruolo chiave nello studio della stratigrafia geoarcheologica o comunque a supporto di altre tipologie di ricerca e sono stati da noi prescelti in qualità di indicatori paleoambientali e, quindi, ottimi *proxy* al fine di giungere a una ricostruzione paleoambientale. Le valve si trovano solitamente in quantità molto abbondanti e soprattutto ben preservate nel record sedimentario fossile ma singole dal momento che è infatti raro anche se non impossibile che si conservi l'esoscheletro intero. In aggiunta a ciò, spesso si trovano in una singola porzione di sedimento moltissimi carapaci appartenenti non solo a più individui in associazione tra loro ma anche a un solo individuo, il quale, pertanto, può essere ben documentato e studiato, tramite analisi quantitative, statistiche, geochimiche. Come accennato, inoltre, sono una classe molto numerosa e ampiamente distribuita in vari ambienti deposizionali acquatici e prevalentemente iposalini così come negli assembramenti marini di transizione e poco profondi dove i foraminiferi bentonici invece possono essere scarsi o addirittura assenti. Infine la loro composizione faunistica, la densità di popolazione e la diversità di specie variano nel tempo e nello spazio, grazie soprattutto a un breve ciclo riproduttivo che permette loro di reagire rapidamente, in funzione di numerosi parametri ambientali, a cui sono molto sensibili e i quali variano per cambiamenti giornalieri o stagionali, come la salinità, la temperatura e il clima, la

¹⁷⁰ Frenzel e Boomer, 2005.

¹⁷¹ Athersuch *et alii*, 1989.

profondità, la torbidità, la granulometria, gli eventi ad alta energia quali tempeste e tsunami, moto ondoso, l'uso del suolo e gli impatti antropici¹⁷².

Conoscendo dunque i gradi di tolleranza specifica e resistenza di ogni specie sia a stress ambientali ed antropici sia a determinate variazioni fisiche e chimiche e facendo affidamento, in primo luogo, su una ricca letteratura riguardante la loro ecologia e secondariamente su significativi casi studio, specialmente per l'area mediterranea, è possibile cominciare ad ipotizzare lo scenario ambientale generale, i sottoambienti e i fattori alla base dei processi. Gli ostracodi ci permettono una buona analisi di facies consentendo di creare le prime relazioni e porre in risalto l'associazione tra le caratteristiche litologiche deposizionali e le condizioni ecologiche antiche: una tale associazione a parità o somiglianza di sedimento permette di comprendere ad esempio se si sta osservando e studiando un paesaggio contraddistinto in antico da una laguna interna o da una laguna esterna, ossia se l'area era caratterizzata da acqua salmastra maggiormente influenzata da acqua dolce o dal mare. Lo studio della successione di questi microfossili fornisce un risultato più completo e significativo se vi è d'altro canto la possibilità di integrare questi dati con i ritrovamenti di natura archeologica.

Gli ostracodi sono anche dei buoni indicatori biologici della variazione del mare e infatti permettono di ottenere valori dei livelli del paleomare sia per il Pleistocene sia per l'Olocene.

I cambiamenti del livello globale del mare sono principalmente legati ai cicli glaciali-interglaciali ma esistono anche variazioni relative del livello del mare su scala locale e regionale, ovvero in cui lo spostamento della linea di riva ha un valore diverso da luogo a luogo, dovute a fenomeni di subsidenza, tettonici o a bradisismo che a loro volta condizionano l'evoluzione costiera portando anche, in una fase di forte mutamento, all'insabbiamento delle lagune con modificazione nella profondità del fondale e nella percentuale di salinità. Perciò tali livelli relativi del mare possono essere ricostruiti cercando segni di significativi cambiamenti di profondità dell'acqua e di afflusso marino, i quali sono visibili attraverso l'alterazione di fattori come luce, ossigeno, disponibilità di nutrimenti etc. che modellano la composizione delle specie degli assemblaggi¹⁷³. Per esempio un aumento del livello del mare induce con l'afflusso di acqua marina nelle lagune e/o negli estuari un aumento della salinità che può essere rintracciata da proporzioni maggiori di specie che preferiscono una salinità più elevata oppure ancora in corrispondenza di eventi ad alta energia, maree e tempeste, i taxa della piattaforma aperta saranno trasportati dietro le barriere naturali o artificiali andando a costituire in strati sedimenti dei componenti alloctoni. Tra l'altro, come nel caso di Nora, incidono anche sugli assemblamenti di ostracodi la costruzione di moli o altre barriere

¹⁷² Boomer ed Eisenhauer, 2002

¹⁷³ Mazzini *et alii*, 2021.

artificiali e lo scavo di canali che così modificano la generale idrografia, l'afflusso sia di acqua dolce sia salata, la salinità e i tassi di sedimentazione. Molto interessante è peraltro l'uso e l'elevato valore per l'archeologia degli ostracodi come indicatori sia di provenienza di manufatti e materiali sia quindi di collegamenti commerciali. I microfossili si possono infatti rinvenire anche nei sedimenti delle zavorre delle navi o delle pietre di costruzione.

- I Foraminiferi bentonici

Gli ostracodi, quindi, sono dei *proxy* paleoambientali importanti e anche indipendenti, tuttavia, sono spesso e principalmente usati insieme ad altri bioindicatori, sempre appartenenti alla meiofauna e che fossilizzano e perciò si preservano nel record geologico, come i foraminiferi bentonici che esistono sin dal Cambriano.

I foraminiferi bentonici, che costituiscono un phylum a sé stante, rientrano tra i protisti e sono organismi unicellulari eucariotici, ovvero composti da una sola cellula, che completamente cresciuti hanno dimensioni variabili da circa 0,01 cm a quasi 20 cm di lunghezza. Questi organismi vivono all'interno di gusci che si evolvono e si ingrandiscono accrescendosi e in base alla loro composizione possono essere suddivisi in tre categorie: organico, agglutinato e calcareo/carbonatico. Gli ultimi due sono quelli che fossilizzando permangono nei depositi. I gusci agglutinati sono composti da tante particelle di sedimenti estranei incollati tra loro con un cemento organico, tanto è vero che questi fossili vanno cercati attentamente tra il sedimento, mentre i gusci calcarei sono formati da carbonato di calcio secreto e possono essere ulteriormente suddivisi in tipi ialini, porcellanei e microgranulari che differiscono per la disposizione dei cristalli di calcite¹⁷⁴. Proprio a causa della diversa formazione e composizione il potenziale di conservazione dei taxa di foraminiferi è molto diverso da quello degli ostracodi, causando marcate differenze tra le popolazioni viventi e gli assemblaggi fossili. Inoltre il guscio è dotato di uno o più pori: nel caso di un unico poro il guscio è imperforato mentre se è caratterizzato da numerosi pori è detto perforato. I pori, detti foramina, rappresentano i punti d'uscita degli pseudopodi, usati per lo spostamento, l'ancoraggio e la nutrizione e sostenuti e mossi da meccanismi di rapido assemblaggio e disassemblaggio dei microtubuli. Oltre a ciò, il guscio può avere una cavità/camera singola, per cui è definito monotalamo, oppure essere composto da più camere unite insieme a formare un politalamo. Tali caratteristiche morfologiche sono importanti perché forma e dimensioni del guscio e dei pori aiutano nell'identificazione tassonomica.

¹⁷⁴ Marriner e Morhange, 2007.

Rispetto e a differenza degli ostracodi, i foraminiferi bentonici sono tra gli organismi con guscio più abbondanti e diffusi negli ambienti marini e, quindi, ad elevata salinità, in cui sono presenti con una più alta differenziazione di specie. Il loro areale di distribuzione comprende infatti la zona intertidale fino alle fosse oceaniche più profonde e dai tropici ai poli. Tuttavia, sebbene alcune specie si trovino in ambienti salmastri, i foraminiferi non popolano molto gli ambienti di acqua dolce e di fatto si trovano raramente a salinità inferiori a 5 per mille¹⁷⁵.

La validità nella disciplina geoarcheologica di uno studio mirato sui foraminiferi trova spiegazione in una serie di peculiarità e vantaggi che li rendono dei buoni proxies ambientali anche a integrazione dei risultati derivanti dall'analisi della classe ostracode. Ogni gruppo di fossili ha caratteristiche peculiari che lo rendono più adatto come *proxy* per condizioni specifiche ma le più lievi trasformazioni ambientali sono prevalentemente rilevabili dall'applicazione combinata di ostracodi e di foraminiferi bentonici.

Innanzitutto sono abbondanti nella maggior parte degli ambienti marini e marginali, hanno un guscio mineralizzato e quindi hanno un alto potenziale di conservazione all'interno del registro sedimentario, spesso sono necessari solo piccoli campioni di sedimento per ottenere popolazioni fossili abbastanza grandi per il trattamento statistico ed essendo unicellulari rispondono e reagiscono abbastanza rapidamente ai cambiamenti sia a breve che a lungo termine negli ambienti marini e marini di transizione a livello sia globale che locale¹⁷⁶. Dopodiché, a differenza degli ostracodi che possono sopravvivere solo per periodi limitati, forse 1-2 cicli di marea, attraverso la chiusura delle valve e diminuendo la respirazione¹⁷⁷, hanno la capacità di resistere più a lungo all'esposizione subaerea in ambienti intertidali. Proprio le associazioni tipiche delle piane tidali in contesti meso- e macro-tidali possono essere usati come *proxy* delle variazioni oloceniche del livello del mare. La loro utilità in tal senso è sostenuta dal concetto che la distribuzione dei foraminiferi lungo le piane tidali rispecchia l'elevazione rispetto al livello medio del mare¹⁷⁸ e in questo modo se contenuti all'interno di un deposito salmastro, definito e ben conservato, possono essere utilizzati per ricostruire la paleoelevazione alla quale si è formato il deposito e, in combinazione con altri dati litologici e radiometrici, dedurre il livello locale relativo del mare nel passato. Nel procedere con tale approccio è necessario però tenere in considerazione una serie di potenziali errori dovuti a: una possibile influenza causata dalle variazioni di salinità, dal regime di marea, da *gaps* sedimentari dati da periodi di erosione o non deposizione e da cambiamenti post-deposizionali associati alla compattazione per carico litostatico. Di conseguenza in primo luogo la

¹⁷⁵ Frenzel e Boomer, 2005.

¹⁷⁶ Samir, 2000; Pascual *et alii*, 2002 ; Marriner e Morhange, 2007.

¹⁷⁷ Boomer e Eisenhauer, 2002; Frenzel e Boomer, 2005.

¹⁷⁸ Scott e Medioli, 1980; Horton e Edwards, 2006.

precisione della nostra ricostruzione può variare a seconda delle caratteristiche del sito indagato e in secondo luogo, nonostante il concetto di zonazione dei foraminiferi in contesti di piana tidale rimanga sempre valido, tale incertezza rende necessaria la raccolta e l'interpolazione di altri dati con maggiore accuratezza.

Inoltre a partire da una serie di studi, dai quali è stato notato che gli assembramenti sono subordinati da molteplici componenti ecologiche e antropiche che possono creare anche condizioni di stress, le faune bentoniche e in modo prevalente i foraminiferi si sono dimostrati infatti degli eccellenti bioindicatori ambientali, in sedimenti sia moderni sia antichi. Questi microrganismi, infatti, nel momento in cui vengono sottoposti a particolari o forti pressioni, come inquinamento, legato all'impatto antropico, oppure a valori estremi di salinità, di nutrienti, di ossigeno etc., modificano la struttura della comunità, ossia gli assemblaggi, manifestano una scomparsa, sostituzione o comparsa di specie specifiche e sviluppano una serie di peculiari anomalie morfologiche del guscio¹⁷⁹. Dunque, nonostante sia generalmente difficile valutare quale sia il principale fattore ecologico che ha portato alla creazione di deformità, l'abbondanza relativa di foraminiferi bentonici abnormali è un buon indicatore dello stress paleoambientale, il quale non è così e chiaramente evidenziato dagli assemblaggi di ostracodi. Infine è anche necessario sottolineare che essi potrebbero essere del tutto assenti in ambienti caratterizzati da forti fluttuazioni di salinità, materia organica e condizioni idrodinamiche.

- L'uso della meiofauna nelle ricostruzioni paleoambientali: un caso di studio esemplare

Al fine di mostrare in concreto l'utilità di tali organismi fossili e i vantaggi derivati da uno studio integrato degli assembramenti di ostracodi in associazione con i foraminiferi possiamo chiudere questa breve illustrazione con la descrizione di un caso di studio significativo.

L'Italia, infatti, con il suo alto e vario numero di antichi porti e approdi sia antichi sia moderni e la varietà di configurazioni fluviali, lagunari e costiere, offre molte opportunità per analizzare ed applicare, a uno studio più vasto, il dato meio bentonico come cruciale e determinante contributo alla ricostruzione delle condizioni paleoambientali, degli ambienti deposizionali del passato e della composizione dell'acqua in diversi contesti geomorfologico-geoarcheologici. Ricordiamo infatti che mentre il mare è stato il perno dei principali mutamenti storici che hanno interessato l'area mediterranea durante il periodo ellenistico, romano e bizantino invece i laghi costieri, i bacini lagunari e le foci fluviali sono stati i nodi di questa complessa rete commerciale. Perciò i grandi

¹⁷⁹ Barbieri e Vaiani, 2018.

cambiamenti paleoecologici e ambientali, specialmente localizzati vicino a siti archeologici e storici, non sono sempre dovuti a fenomeni naturali ma sono riconducibili ad alterazioni antropiche e testimoniano gli sforzi dell'uomo per modificare e adattarsi al paesaggio creando così un pattern insediativo caratteristico e storie deposizionali diverse.

In modo particolare il caso studio che verrà qui esposto è stato realizzato da G. Barbieri e da S. C. Vaiani¹⁸⁰ del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università di Bologna all'interno di una breve successione sedimentaria pleistocenica della pianura costiera del fiume Po (Fig. 30). Lo scopo di questo lavoro, oltre ovviamente a una ricostruzione dell'evoluzione paesaggistica, era confrontare il potenziale di risoluzione paleoambientale di ostracodi e di foraminiferi bentonici, ovvero la capacità di ciascun gruppo fossile di evidenziare specifiche condizioni paleoecologiche all'interno dello stesso intervallo stratigrafico.

L'area presa in esame è la parte più orientale della Pianura Padana delimitata a nord dalle Alpi e dall'Appennino settentrionale a sud e costituita da sedimenti pliocenici-quadernari depositatisi in condizioni relativamente indisturbate. Da punto di vista invece geomorfologico gli studi del sottosuolo effettuati nella pianura litoranea padana hanno rivelato un'architettura di facies ciclica ossia costituitasi nel tempo dalla successiva alternanza di cicli trasgressivi-regressivi (T-R) formati da depositi alluvionali alternati e depositi costieri in risposta a fluttuazioni glacio-eustatiche. In particolare l'intervallo stratigrafico considerato per contenuto in meiofauna si trova nella porzione inferiore, tra i 165 e i 160 m di profondità, del carotaggio 223 S12, perforato a circa 14 km nell'entroterra del litorale moderno in prossimità della città di Ravenna e fino alla profondità di 170 m andando così a comprendere due intervalli marini da paralico a poco profondo formati in risposta a MIS 1 e 5.5 interglaciali, un intervallo lagunare attribuito a MIS 7 e depositi continentali formati durante i periodi glaciali. La successione stratigrafica qui considerata appartiene quindi all'intervallo lagunare datato al MIS 7 ed è stata suddivisa in 16 campioni trattati in laboratorio seguendo il metodo standard e su cui poi sono state compite le analisi micropaleontologiche una volta realizzato il picking di almeno 300 esemplari sia di ostracodi sia di foraminiferi.

Per quanto riguarda i foraminiferi, tuttavia, solo 11 campioni sono stati analizzati quantitativamente poiché sia alla base (tra 163,95 e 163,50 m di profondità) sia nella parte superiore (160,85–160,55 m di profondità) del nucleo considerato erano presenti in quantità poco abbondanti. Nonostante il modesto numero sono stati comunque contati e identificati un totale di 4756 foraminiferi bentonici appartenenti a 36 taxa, tra i quali sono apparsi dominanti taxa eurialini come la *Ammonia tepida* - *Ammonia parkinsoniana* con subordinate l'*Haynesina germanica*, l'*Aubignyna perlucida*, l'*Ammonia tepida* e il *Criboelphidium granosum*. Gli studiosi hanno inoltre riconosciuto in primo

¹⁸⁰ Barbieri e Vaiani, 2018.

luogo diverse tipologie di anomalie morfologiche, presenti principalmente negli individui di transizione di *A. tepida* – *A. parkinsoniana*, *C. oceanense* e *H. germanica*, come ad esempio camere sporgenti anormali, camere aggiuntive anomale, disposizione delle camere distorta e cambiamento nella direzione di avvolgimento; e, in secondo luogo, due gruppi principali (A e B) sulla base della composizione e associazione delle specie. Inoltre, il gruppo A è stato catalogato come assemblaggio di ambiente lagunare salmastro ma stressato dal momento che la concentrazione di individui anormali ($FAI > 1$) è stata vista essere relativamente alta e quindi sembra indicativa di stress paleoambientali derivanti da rapide oscillazioni di parametri fisico-chimici come salinità, bassa concentrazione di ossigeno sul fondo e ampia disponibilità di cibo e sostanza organica. L'assemblaggio B suggerisce e conferma quindi una interpretazione ambientale identica al primo gruppo ma maggiormente stabile e non stressato poiché mostra invece da un lato un numero significativamente inferiore di esemplari anomali ($FAI < 1$) e dall'altro comprende delle specie tipiche di concentrazioni inferiori di sostanza organica ma in condizioni ossigenate.

All'interno dei 16 campioni sono stati contati 5013 valve di ostracodi riconducibili a 19 taxa. Presente in elevato numero e perciò dominante è il *Cyprideis torosa*, taxon eurialino, a cui si accostano altre specie minori come *Xestoleberis dispar*, *Loxoconcha stellifera* e *Pontocythere turbida*. In questo caso sono stati riconosciuti invece tre gruppi (1, 2 e 3) con composizione tassonomica diversa, dei quali uno è caratterizzato da *C. torosa* sia con sia senza nodi, uno solo dal *C. torosa* nodosa e uno unicamente dal *C. torosa* priva di nodi ma con alte concentrazioni di molte altre specie oltre a quelle presenti negli altri gruppi. Sia la tipologia di *Cyprideis torosa* sia i differenti taxa di ostracodi con cui si trova in associazione forniscono sia delle prime e buone indicazioni riguardo un graduale cambiamento di salinità del paleoambiente sia la presenza di sottoambienti distinti.

Collegando il dato relativo alla meiofauna con la matrice sedimentaria in cui è contenuto gli studiosi hanno messo in luce come in termini stratigrafici e litologici la porzione inferiore è costituita da depositi alluvionali a grana fine mista a sabbia fine e privi di microfossili. A partire da 163,95 fino a 163,50 m di profondità troviamo sia ostracodi, con elevata abbondanza di *C. torosa* nodosa, in associazione con pochi foraminiferi. Procedendo verso l'alto stratigrafico vi è contemporaneamente un cambiamento negli ostracodi da *C. torosa* nodosa a non nodosa, ovvero al gruppo 2, e un aumento di esemplari di foraminiferi appartenenti all'assemblaggio A. Un mutamento ben visibile e significativo nella litologia e nella composizione della fauna degli ostracodi si verifica invece a 163,30 m in cui vanno a prevalere le sabbie fini. Il gruppo di ostracodi cambia ulteriormente da 3 a 2 alla profondità di 162,60 mentre a 161,60 m si modificano per composizione faunistica entrambi gli organismi fossili, ovvero sia l'assemblaggio dei foraminiferi

bentonici dall'assemblaggio A al B sia l'associazione tra taxa degli ostracodi da 2 a 3. Mentre i foraminiferi dell'insieme A e gli ostracodi del gruppo 2 ritornano nuovamente nel successivo intervallo stratigrafico da 161,10 a 160,80 m di profondità del nucleo. Infine, nella frazione superiore del sondaggio considerato sono stati rinvenuti sedimenti di tipo argilloso, alcuni e sparsi foraminiferi e abbondanti valve di ostracodi catalogabili nel gruppo 1. Ancora al di sopra i limi e le argille della pianura alluvionale sono invece sterili.

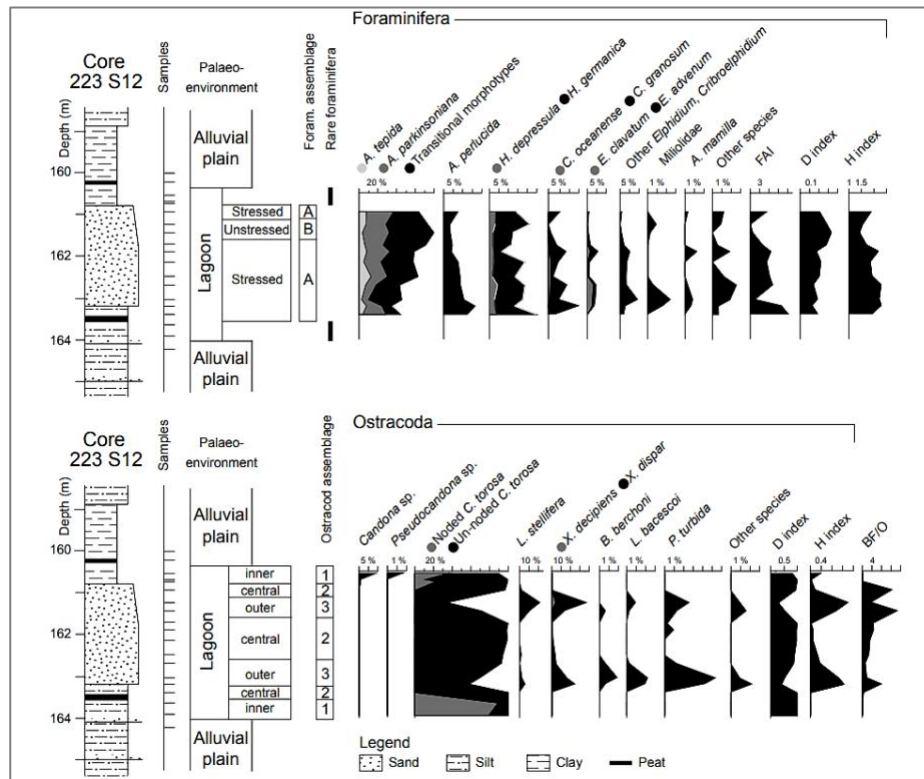


Fig.30. Rappresentazione stratigrafica della successione sedimentaria studiata e relativa indicazione della distribuzione verticale dei foraminiferi bentonici e degli ostracodi. Nello specifico le curve rappresentano la frequenza relativa dei principali taxa, l'indice FAI, gli indici di diversità e il rapporto quantitativo tra foraminiferi e ostracodi. In Barbieri e Vaiani, 2018.

I due gruppi di fossili hanno fornito perciò informazioni distinte e sulla base dei dati raccolti sono state avanzate una serie di considerazioni.

Anzitutto la composizione faunistica di entrambi gli organismi faunistici riflette lo sviluppo di un bacino lagunare ma è anche importante sottolineare come gli assemblaggi di ostracodi mostrano differenze più significative e una varietà maggiore rispetto ai foraminiferi bentonici. Ciò indica che gli ostracodi hanno reagito con bruschi cambiamenti faunistici a lievi se non impercettibili variazioni delle condizioni paleoambientali non registrate dall'altro gruppo fossile. Secondariamente, l'utilizzo combinato di foraminiferi bentonici e ostracodi ha consentito una ricostruzione paleoambientale molto dettagliata e ha permesso di rilevare lo sviluppo nel tempo di

una laguna soggetta a minime variazioni ambientali, in risposta all'interazione di apporti di acqua dolce e di acqua marina. Tuttavia questo studio ha anche enfatizzato come la migliore risoluzione ambientale si sia ottenuta usando principalmente la classe degli ostracodi per la maggior abbondanza, per le differenze maggiori e la grande varietà nella struttura ecologica degli assemblaggi e poiché la composizione faunistica risulta molto utile nel definire la tolleranza e individuare degli intervalli, ovvero riconoscere anche sottoambienti. I foraminiferi invece, seppur siano presenti con un ampio numero di specie, forniscano informazioni aggiuntive rilevanti come la stabilità e siano perciò indicatori di paleoambienti soggetti o meno a pressioni, sono stati trovati raggruppati in assemblaggi simili non determinanti di areali e contesti ambientali distintivi o chiaramente definiti portando così a una ricostruzione paleoambientale meno precisa.

In conclusione, è logico ed intuitivo che negli studi paleoambientali sia preferibile un approccio integrato ma nell'eventualità in cui sia necessario scegliere, per ragioni temporali o economiche, su quale dei gruppi fossili concentrarsi ai fini dell'analisi accurata delle successioni e delle evoluzioni di ambiente lagunare sono certamente preferibili gli ostracodi. Altri contesti storici formati e progrediti grazie ad apporti sia naturali sia antropici nei quali si è optato per uno studio geoarcheologico basato sugli ostracodi sono ad esempio il porto romano di Efeso, il porto di Salerno¹⁸¹, il sistema imperiale portuale tra Portus e Ostia nel delta del Tevere, il porto lagunare di Pisa, conosciuto anche come Portus Pisanus, e il porto di Luna vicino La Spezia¹⁸².

Analisi palinologica e palinostratigrafica

Come sappiamo l'ambiente costituisce uno dei fattori fondamentali della vita umana che gli archeologi devono valutare dal momento che latitudine, altitudine, forma del suolo, regime idrico e clima determinano la vegetazione, la quale a sua volta condiziona la vita animale e, infine, entrambe influiscono sulla dieta e sulle attività umane oggetto di studio.

Raramente è possibile ricostruire le variazioni stagionali o l'evoluzione dell'ecosistema nel corso degli anni, salvo casi eccezionali e l'uso di specifici markers sia viventi sia fossili come i resti microbotanici, quali fitoliti, diatomee o pollini. In particolare tutte le piante da fiore, come la vegetazione legnosa (alberi e arbusti), erbacea (piante terrestri e acquatiche) e coltivata (cereali, olivi etc.), producono granuli pollinici, costituenti il polline, i quali sono quasi indistruttibili, si conservano per molte migliaia e persino milioni di anni in tutti i tipi di condizioni, come ad esempio

¹⁸¹ Mazzini *et alii*, 2021.

¹⁸² Mazzini *et alii*, 2017.

all'interno delle torbiere e nei sedimenti lacustri, e hanno quindi permesso ai palinologi di costruire sequenze particolareggiate della vegetazione e del clima del passato.

A partire proprio dai vantaggi e dalle potenzialità informative che si possono ricavare dai granuli pollinici, i quali non solo si possono rinvenire in un'ampia gamma di siti ma che danno indicazioni anche sulla cronologia, grazie alle analisi al radiocarbonio a cui possono essere sottoposti, oltre che alle fluttuazioni vegetazionali, all'ambiente in generale e alla deforestazione, l'analisi paleobotanica del sondaggio NR1 si è basata principalmente sui resti pollinici contenuti nel sedimento estratto.

L'analisi pollinica, da cui la disciplina della palinologia sviluppata dal geologo svedese E.J. Lennart von Post agli inizi del Novecento¹⁸³, si occupa dello studio dei granuli pollinici, piccoli, tanto è vero che sono visibili solo al microscopio, corpi riproduttivi maschili delle angiosperme o piante da fiore prodotti nelle sacche polliniche o nelle antere. I granuli si presentano con forma sferica o ellissoidale e sono provvisti di uno spesso rivestimento esterno, detto esina, che presenta caratteristiche morfologiche, ossia pori, solchi etc., e strutturali molto peculiari, le quali rendono possibile l'attribuzione del polline alla specie che lo ha prodotto. L'esina è molto resistente e pressoché indistruttibile in quanto costituita da un complesso di sostanze, tra le quali una componente importantissima è la sporopollenina, un biopolimero tra i più inerti e resistenti all'attacco di acidi e basi forti¹⁸⁴, ovvero alla degradazione chimica da parte di sostanze chimiche organiche e inorganiche. Tuttavia, nonostante l'elevata robustezza e tolleranza ai fattori ambientali dell'involucro pollinico, la conservazione di questo si basa principalmente sulla tipologia di ambiente deposizionale in cui avviene la dispersione del polline ad opera degli agenti atmosferici e degli insetti. Nell'atmosfera, i granuli pollinici degli individui di una data specie possono viaggiare in sospensione per un tempo più o meno lungo, a seconda delle condizioni atmosferiche, della forma e peso del granulo. Mescolatisi con quelli delle altre specie viventi nella stessa regione, i granuli cadono infine a terra sotto forma di pioggia pollinica, che si distribuisce con una certa uniformità su di un'area abbastanza vasta e rispecchia abbastanza fedelmente la vegetazione esistente in quella regione in un certo lasso di tempo. Perciò i sedimenti che costituiscono un deposito hanno intrappolato e custodito i prodotti pollinici emessi stagionalmente dalle piante viventi nella regione al momento della formazione di ogni singolo strato. In questo modo si formano quindi archivi pollinici ordinati che permettono di costruire delle sequenze ambientali e cronologiche al fine anche di fornire una prima datazione relativa. La possibilità di preservazione è per esempio quasi nulla se il polline cade sul suolo, dove viene rapidamente demolito

¹⁸³ Renfrew e Bahn, 2016.

¹⁸⁴ Renfrew e Bahn, 2016.

dall'ossidazione o dalla fauna pedologica. Se i granuli cadono sui corpi idrici, come torbiere, paludi, acque anossiche marine, depositi alluvionali, hanno, invece, una buona possibilità di conservazione, soprattutto se i bacini d'acqua si trovano in ambienti acidi o scarsamente areati e, quindi, poveri di ossigeno in cui la decomposizione biologica è impedita e vengono di conseguenza sepolti rapidamente. Al contrario altri contesti caratterizzati da sedimenti sabbiosi o siti aperti esposti all'azione degli agenti meteorici non permettono una buona preservazione¹⁸⁵.

La zona umida retrostante la laguna della città antica di Nora, nella quale è stata programmata e realizzata la campagna di carotaggi, rientra tra le aree ideali per uno studio palinologico e palinostratigrafico. Perciò, tale esame del contenuto microbotanico si pone accanto e al contempo ad integrazione fondamentale dello studio riguardante il contenuto in meiofauna e della ricostruzione del paleoambiente norense.

Il prelievo dei campioni destinati allo studio pollinico è stato realizzato sulla carota NR1 ogni centimetro, applicando quindi un rilevamento e successivo studio ad alta risoluzione, durante la fase di campionamento generale avvenuto in loco e vicino al sito di estrazione dei sondaggi. Parimenti a tutte le altre operazioni di campionatura ogni frazione di sedimento è stata prelevata con dei bastoncini o spatoline pulite e nuove in modo scrupoloso avendo cura che non vi fosse alcuna contaminazione e quindi riposta in bustine di plastica trasparenti poi sigillate con indicazione del sondaggio e della profondità del campione.

Tutti i campioni sono stati quindi portati per essere preparati ed esaminati nel laboratorio di Archeobotanica e Palinologia dell'Università Sapienza di Roma. Tale laboratorio di palinologia "sterile in polline attuale" si occupa specificatamente dello studio di polline fossile estratto sia da sedimenti naturali sia da livelli di frequentazione umana in siti archeologici.

L'obiettivo del trattamento con metodologie chimiche consiste infatti nel separare ed estrarre i granuli pollinici dal sedimento in cui sono contenuti e renderli ben visibili al microscopio ottico a ingrandimento x400 e x640 per essere conteggiati, registrati e identificati a livello di specie, con l'ausilio sia di atlanti di morfologia pollinica di riferimento, come per esempio Reille (1992) o Beug (2004) sia di collezioni polliniche di confronto del laboratorio dell'Università.

In laboratorio la tecnica e procedura standard di preparazione ed estrazione del polline¹⁸⁶ consiste in una successione di passaggi che in primo luogo prevengano la contaminazione dei campioni dall'atmosfera, dall'acqua e/o da altri campioni e in secondo luogo permettano con trattamenti

¹⁸⁵ Renfrew e Bahn, 2016.

¹⁸⁶ Per quanto riguarda la procedura metodologica standard di trattamento per l'estrazione pollinica si fa riferimento all'articolo di Magri e Di Rita (2015) che sintetizza il lavoro di Faegri e Iversen (1989).

successivi di rimuovere con agenti chimici la materia inorganica minerale e organica¹⁸⁷ da un campione di sedimento e di isolare i granuli pollinici.

Per rimuovere la materia minerale vengono utilizzati degli acidi specifici come l'acido cloridrico (HCl) al 37% che distrugge i carbonati e l'acido fluoridrico (HF) al 40% che invece elimina i silicati. Per rimuovere la materia organica vengono invece utilizzate basi e prodotti ossidanti come l'idrossido di sodio (NaOH) oppure, in alternativa, di potassio (KOH) al 20%¹⁸⁸. In aggiunta, a seconda del materiale analizzato, possono essere applicati altri prodotti chimici. Mentre l'acetolisi, un trattamento che fa uso di anidride acetica, acido acetico glaciale e acido solforico, costituisce l'ultima fase di preparazione del polline ed è utilizzata sia per distruggere altri componenti del polline come l'intina ed il protoplasma andando così a conservare e ripulire solo l'esina, che diventa ben visibile, sia per trattare ulteriormente i campioni che contengono ancora quantità significative di materia organica non disciolta che possono influenzare l'identificazione e il conteggio del polline.

Inoltre, a seconda della provenienza, dell'età e del tipo di campioni e della natura del sedimento possono essere applicate altre varianti e strumenti come la deflocculazione, ovvero l'eliminazione dell'argilla in eccesso, la separazione per gravità, se i campioni sono poveri di polline e contengono quantità molto elevate di frammenti minerali, e la setacciatura, se la frazione in esame è caratterizzata da una matrice con tessitura o grossolana e maggiore di 200 µm, ovvero a partire dalla sabbia media, o più fine di 8 µm, ossia se è presente anche del silt molto fine e dell'argilla.

I campioni vanno poi lavati ripetutamente aggiungendo 35 ml di acqua calda (60 °C) e centrifugati ad ogni passaggio fino ad avere di un pH neutro. Successivamente vengono aggiunte 10-20 gocce di glicerolo e i campioni vengono mescolati con il miscelatore a vortice.

Infine, una goccia della sospensione viene posta su un vetrino da microscopio pulito utilizzando una sottile bacchetta di vetro, viene stesa e viene aggiunto un coprioggetto¹⁸⁹.

Per concludere questa breve descrizione metodologica è necessario andare a precisare alcuni punti: innanzitutto è fondamentale e imprescindibile una cura particolare da un lato per evitare la contaminazione dei fossili con polline fresco e dall'altro nell'uso di prodotti chimici pericolosi; in secondo luogo, anche se non esiste un'unica procedura standard e difficilmente quindi due laboratori elaborano i campioni allo stesso modo, è auspicabile che tutti i campioni di una sequenza stratigrafica vengano trattati utilizzando la stessa procedura al fine di evitare che diverse tecniche di preparazione influiscano sia sui risultati finali, riflettendo magari le differenze nelle procedure

¹⁸⁷ Magri e Di Rita, 2015.

¹⁸⁸ Magri e Di Rita, 2015.

¹⁸⁹ Magri e Di Rita, 2015.

di preparazione e non le differenze naturali dei campioni, sia sull'interpretazione dei dati pollinici. Le prime analisi hanno previsto il trattamento di 16 campioni, presi dalla porzione centrale della carota. Tra questi, in particolare, si è riscontrata la presenza di polline in 10 campioni compresi tra circa i -70 e -150 cm. Tale constatazione, derivata da un controllo ordinato, ha quindi comportato, anche per l'arrivo dei primi risultati delle analisi al radiocarbonio e le prime datazioni, un doveroso e ulteriore accertamento all'interno dell'intervallo con contenuto pollinico. Nello specifico, considerate le datazioni e appurato concretamente che l'intervallo centrale è quello più interessante dal punto di vista ambientale, per contenuto in meiofauna e macrofauna, e in termini di cronologia, ovvero in relazione ai periodi storico-archeologico caratterizzanti la penisola norense, si è quindi predisposto un nuovo esame e un secondo trattamento di 10 campioni nell'intervallo con polline. Le analisi polliniche, di conseguenza, si sono rivelate fin da subito abbastanza incoraggianti per la carota NR1 e assolutamente interessanti per il sondaggio NR3.

Analisi al radiocarbonio (C14)

Molti degli studi geoarcheologici più recenti che hanno coinvolto lo studio di ostracodi e foraminiferi bentonici hanno utilizzato un approccio multi-*proxy*, combinando queste analisi con altri *proxy* paleontologici, come pollini o molluschi e dati geochimici.

Perciò al fine di compiere una ricostruzione paleoambientale più precisa e corretta possibile e, quindi, poter collocare l'evoluzione del paesaggio antico e le sue fasi sia in un tempo geologico assoluto ben definito in relazione ai periodi storici è necessario integrare l'analisi paleoecologica con dei dati cronologici assoluti. Il primo livello di informazione cronologica relativa deriva dalla sequenza stratigrafica stessa, con la successione dei diversi depositi fornendo un solido quadro relativo. Ogni litofacies che si è formata e si forma rappresenta un momento di cambiamento e trasformazione delle condizioni climatiche, ecologiche o, ad esempio, idrodinamiche; tuttavia, il processo di sedimentazione può essere veloce oppure lento, può avvenire con continuità o discontinuità e presentarsi per di più falsato non solo da eventi di asporto ed erosione ma anche dalla bioturbazione. Per le ragioni e i fattori appena elencati, nei siti in cui è totalmente assente o non è presente un quantitativo sufficiente di materiale archeologico, solitamente ceramico, le cronologie al radiocarbonio di materiale organico, come carbone, elementi vegetali, semi, torba, elementi tessili e fibre, legno, ossa, conchiglie, presente nel sedimento possono fornire delle datazioni assolute degli strati e delle unità litostratigrafiche, risultando fondamentali di conseguenza per comprendere l'andamento paleoecologico generale e i tempi deposizionali. Infine,

conoscere l'età di uno strato significa avere la possibilità di correlarlo, insieme a tutte le informazioni ambientali e geomorfologiche che esso contiene, con un periodo storico definito del sito archeologico e della topografia antica dell'area.

Di conseguenza in un primo momento abbiamo lo studio stratigrafico, litostratigrafico e l'esame paleontologico che stabiliscono l'età di un reperto o di uno strato in relazione ad un altro e forniscono il quadro di un classico modello età-profondità, che solo in un secondo momento va a definirsi in modo assoluto grazie all'analisi al radiocarbonio.

La tecnica del radiocarbonio o carbonio-14 rappresenta uno dei più importanti progressi metodologici nella datazione assoluta, sia di formazioni geologiche e di reperti archeologici sia nello studio dell'ambiente contemporaneo e dei cambiamenti dei sistemi ecologici del passato, a partire dalla Seconda guerra mondiale e si fonda su un fenomeno diffuso e regolare del mondo naturale: il decadimento radioattivo, una trasformazione che avviene a livello dei nuclei e in tempi molto lunghi.

La datazione che utilizza l'isotopo carbonio-14 (^{14}C) presente in natura fu studiata e sviluppata a partire dal 1949 dal chimico statunitense W.F. Libby.

In natura il carbonio, che possiede numero atomico 6 e peso atomico 12, esiste in più di una forma isotopica: infatti gli isotopi stabili sono ^{12}C al 98,9% e ^{13}C al 1,1%, tuttavia nell'atmosfera terrestre vi è anche presente tra un milione di atomi di carbonio e con una concentrazione del $110^{-10}\%$ un atomo dell'isotopo ^{14}C . Questo isotopo viene prodotto nell'alta atmosfera dai raggi cosmici, costituiti da particelle subatomiche e principalmente protoni ad elevata energia, che bombardano la terra e generano neutroni ad alta energia che a loro volta reagendo con atomi di azoto (^{14}N) producono atomi di carbonio-14 (^{14}C) o radiocarbonio, instabili per l'eccessivo contenuto di neutroni. Tale instabilità determina quindi il decadimento radioattivo, tramite emissione di radiazione beta (β), misurate da Libby con un contatore Geiger¹⁹⁰. Il decadimento del radiocarbonio è bilanciato dalla sua produzione e presenza costante nell'atmosfera e dalla sua distribuzione in maniera uniforme sulla superficie terrestre. Questa sua concentrazione atmosferica costante si trasmette uniformemente a tutti gli organismi viventi attraverso la combinazione con l'ossigeno e la formazione di anidride carbonica, che viene assorbita durante la fotosintesi clorofilliana. In altre parole quando le piante fissano il diossido di carbonio atmosferico nel loro materiale organico durante la fotosintesi, esse incorporano anche una quantità di ^{14}C che è approssimativamente uguale in percentuale a quello presente nell'atmosfera ed entra così nel ciclo animale e vegetale. Il meccanismo di assorbimento cessa con la morte della pianta, dell'animale o

¹⁹⁰ Renfrew e Bahn, 2016.

dell'essere umano e la frazione di isotopo instabile ^{14}C , fino a quel momento presente sempre in una percentuale costante, decade con un andamento sempre regolare e ad un ritmo esponenziale senza venire più compensato. Naturalmente la produzione totale di radiocarbonio sulla terra compensa la sua perdita dovuta al decadimento e così la concentrazione di ^{14}C rimane costante.

L'intervallo di tempo impiegato dalla metà dei nuclei di un isotopo radioattivo per decadere è il suo tempo di dimezzamento, noto e pari per il carbonio-14 a 5730 anni. Ciò significa che dopo un tempo di dimezzamento resta metà della quantità iniziale dell'isotopo e successivamente a due tempi di dimezzamento ne resterà un quarto e così fino ad esaurirsi¹⁹¹. Di conseguenza, da un confronto quantitativo tra la frazione residua e sopravvissuta al momento dell'esame in un campione, costituito ovviamente da materiale organico come carbone, legno, semi e altri resti vegetali, ossa umane o animali, e la frazione atmosferica, si effettua una stima della età del campione. Difatti al tempo zero, corrispondente con la morte dell'organismo, erano presenti in un rapporto noto i tre isotopi del carbonio, e cioè i due isotopi naturali ^{12}C e ^{13}C , stabili e quindi più abbondanti, e l'isotopo cosmogenico radioattivo ^{14}C . Con il passare del tempo i loro rapporti variano in modo noto e mentre i primi due restano in quantità costante, invece il terzo diminuisce per decadimento radioattivo trasformandosi in azoto ^{14}N .

Ottenere le datazioni tramite le analisi al radiocarbonio presenta dei vantaggi significativi e primo fra tutti l'intervallo di datazione che va da 400 a 50.000 anni fa ma, soprattutto, grazie alle nuove e moderne tecniche e all'introduzione di speciali contatori a gas è possibile applicare questo metodo, e quindi datare, campioni di piccolissime dimensioni.

Dal punto di vista metodologico nella procedura tradizionale, nella quale si misurava direttamente la debole radioattività dovuta alla massa sopravvissuta dell'isotopo ^{14}C , erano infatti necessari non solo tempi lunghi ma anche, a seconda del tipo di materiale, circa dai 10-12 g ai 100-200 g di campione originale per ottenere 5 g di carbonio puro dopo la purificazione; mentre i più moderni contatori a gas richiedono soltanto qualche centinaia di milligrammo di campione, ad esempio di carbone¹⁹², e, in tempi di lavoro più brevi, vanno a confrontare quantitativamente il ^{14}C sopravvissuto al momento dell'esame e le quantità di isotopi naturali del carbonio anch'essi presenti nel campione. Inoltre, alcuni laboratori impiegano oggi il metodo basato sulla spettrometria di massa con acceleratore ad alta energia (AMS accelerator mass spectrometry) che permette di usare quantitativi di materiale ancora più piccoli e, dal momento che funziona trascurando la loro radioattività bensì andando a contare direttamente gli atomi di carbonio-14

¹⁹¹ Renfrew e Bahn, 2016.

¹⁹² Renfrew e Bahn, 2016.

comparandoli e rapportandoli con gli altri isotopi presenti nel campione, la massa minima di campione decresce e si riduce fino ad appena 5-10 mg.

Nella fase di campionamento del sondaggio NR1, controllando attentamente di non apportare alcuna contaminazione, sono stati prelevati lungo tutto il troncone e posti in piccoli contenitori 11 campioni di materiale organico ai fini della datazione a radiocarbonio. In particolare è stato preso non solo sedimento ricco di sostanza organica ma anche inclusi come materiale conchigliare, legno e carbone (Fig. 31).



Fig. 31. Vista zenitale della seconda porzione della carota NR1 con lunghezza 55-105 cm, aperta e completamente campionata per le analisi finora citate. Foto di Venturoli, 2021.

I campioni sono stati successivamente inviati dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa a tre diversi istituti per le analisi specialistiche. I laboratori scelti sono stati il Beta Analytic negli Stati Uniti, il Vilnius Radiocarbon in Lituania e il Poznań Radiocarbon in Polonia.

Verrà fatto riferimento a tutti i laboratori ma nello specifico si presenterà quest'ultimo, il Poznań Radiocarbon Laboratory, per quanto riguarda la procedura e i passaggi che comprendono: la preparazione chimica iniziale, la produzione di CO₂ e la grafitizzazione, la misurazione del carbonio-14 con AMS e il calcolo e calibrazione dell'età dei campioni.

Innanzitutto i campioni vengono pretrattati utilizzando sia delle procedure fisiche sia dei prodotti chimici in base al tipo, alla quantità e alle condizioni del materiale. In generale, la preparazione iniziale ha lo scopo di rimuovere sia eventuali impurità sia carbonio che si sono depositati nel

campione dopo che l'organismo è morto, senza, ovviamente, introdurre inquinamento e contaminazione, per produrre un catodo di grafite dal carbonio. I materiali contenenti carbonio, perciò contaminanti come acidi umici e fulvici, che sono stati introdotti nell'ambiente post-deposizionale e hanno circondano un qualsiasi campione di carbone sepolto, così come quei contaminanti artificiali utilizzati durante la sua raccolta e conservazione, potrebbero aver già alterato il suo contenuto di carbonio 14.

Il trattamento fisico consiste nella rimozione delle radichette delle piante, la setacciatura del sedimento per rimuovere eventuali radici o macrofossili, la pulizia e abrasione della superficie del materiale o, direttamente, l'eliminazione dello strato esterno e la riduzione delle dimensioni, solitamente usando un mortaio e un pestello, per aumentare la superficie complessiva del campione per il pretrattamento successivo. In questa fase la pulizia in acqua viene effettuata con ultrasuoni.

Il pretrattamento chimico viene eseguito prima della datazione al carbonio-14 AMS per garantire che tutti i possibili contaminanti siano stati rimossi prima dell'analisi. Tra le metodologie di preparazione chimica vi è, a titolo d'esempio, la dissoluzione acida selettiva oppure il metodo standard AAA (acido-alcali-acido) – conosciuto anche come ABA (acido-base-acido)¹⁹³ – un trattamento usato per la maggior parte dei campioni organici che fa uso di soluzioni di acido e di base al fine di rimuovere gli acidi umici e i carbonati secondari incorporati nel materiale organico del campione¹⁹⁴. Per esempio in merito al pretrattamento chimico del carbone o del legno di frammenti vegetali, tessuti o torba anche se diversi laboratori AMS presentano delle lievi variazioni nella procedura, il più delle volte i campioni vengono lavati con una sequenza di acido cloridrico a 80° (HCl) e acqua distillata per eliminare i carbonati, seguito dall'uso di alcali come l'idrossido di sodio (NaOH) per rimuovere gli acidi organici rimanenti e, nell'ultimo passaggio, risciacquati con acido (HCl) per neutralizzare gli alcali prima dell'essiccazione del campione. Invece, per quanto riguarda i gusci di conchiglie, riportando qui un altro esempio, questi vengono lavati con acido cloridrico (HCl) diluito per rimuovere i componenti esterni del guscio e della calcite e trattati con acido fosforico.

Dopo questa prima fase imprescindibile, da un lato i campioni organici vengono inceneriti in tubi di quarzo sigillati sotto vuoto dall'altro i campioni di carbonato vengono scomposti usando l'acido ortofosforico concentrato (H₃PO₄). Il gas ottenuto, ossia anidride carbonica e vapore acqueo, viene poi diretto alla grafitizzazione (Fig. 32), un'operazione in cui il gas viene quindi essiccato sotto vuoto e ridotto con idrogeno (H₂), utilizzando 2 mg di polvere di Fe come catalizzatore. L'anidride

¹⁹³ Brock *et alii*, 2010 ; Molnár *et alii*, 2013.

¹⁹⁴ I metodi di pretrattamento chimico seguono generalmente quelli utilizzati nella Oxford Radiocarbon Accelerator Unit, come descritto da Brock *et alii*, 2010, Radiocarbon, 52, 102-112.

carbonica viene perciò convertita in carbonio ridotto, o appunto grafite, che andrà a costituire il materiale catodico nello spettrometro¹⁹⁵.

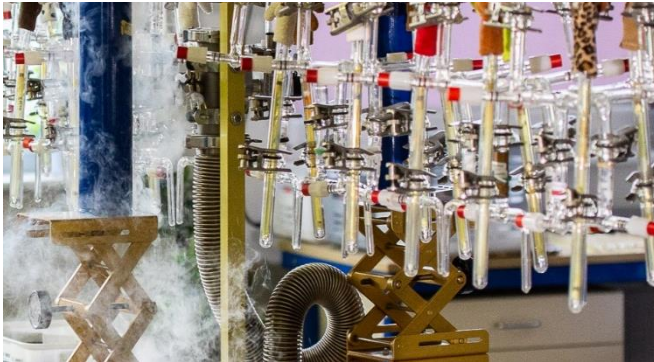


Fig. 32. Sistema a vuoto per la grafitizzazione di campioni nel laboratorio al radiocarbonio di Poznań e postazioni di lavoro durante la fase di preparazione del campione da datare all'interno del laboratorio. . <https://radiocarbon.pl/preparatyka-grafityzacja/>.

La fase seguente prevede la misurazione e la datazione tramite allo spettrometro di massa con acceleratore (AMS), che si divide in due fasi (Fig. 33). La prima fase prevede l'accelerazione degli ioni ad energie cinetiche straordinariamente elevate, la seconda l'analisi della massa.

I catodi di carbonio, precedentemente ottenuti e preparati a partire dai campioni da datare, vengono immagazzinati in un'atmosfera di argon e quindi collocati in una sorgente che produce un fascio di ioni carbonio caricati negativamente che vengono poi iniettati nell'acceleratore e, per evitare l'influenza di altri ioni che interferiscono con l'acceleratore, gli ioni della massa desiderata vengono separati dal magnete di iniezione. Questi ioni $^{12}\text{C}^-$, $^{13}\text{C}^-$ e $^{14}\text{C}^-$ sono quindi attratti verso il terminale dell'acceleratore dove cambiano la carica elettrica in positivo e quindi vengono spinti verso il magnete di analisi. Dal momento che la datazione al radiocarbonio richiede la conoscenza delle relazioni isotopiche $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$, lo spettrometro AMS deve misurare anche la corrente ionica ^{12}C e ^{13}C . a tal fine il magnete dirige gli ioni ^{+12}C e ^{+13}C all'interno della camera di deriva, nella quale sono posizionate lattine di Faraday che raccolgono e misurano separatamente la carica elettrica di entrambi i tipi di ioni. Mentre gli ioni ^{+14}C , dopo aver attraversato l'analizzatore elettrostatico necessario per la rimozione finale dal fascio di altri ioni che sono riusciti a passare attraverso il magnete di analisi, vanno a un rivelatore che consente di contare e misurare l'energia dei singoli ioni.

¹⁹⁵ La descrizione fornita da Czernik J., Goslar T., 2001, Radiocarbon, 43, 283-291.

Il rivelatore a semiconduttore è collegato a una tensione costante in modo che normalmente non conduca una corrente elettrica. Una particella carica ad alta energia, come uno ione ^{14}C , rilascia una certa quantità di portatori di carica elettrica liberi causando una piccola scarica elettrica nella regione del semiconduttore, la quale può essere registrata come una singola caduta di tensione a breve termine.



Fig. 33. Rappresentazione del laboratorio AMS, dotato di due spettrometri di massa con acceleratore tipo 1.5 SDH-Pelletron Modello "Compact Carbon AMS" prodotti dalla National Electrostatics Corporation, Middleton (USA). <https://radiocarbon.pl/spektrometr-ams-ogolne-informacje/>

Come già anticipato, il principale vantaggio che la datazione al radiocarbonio con AMS offre rispetto ai metodi radiometrici è la ridotta quantità di campione necessaria: infatti, gli spettrometri di massa con acceleratore richiedono da un minimo di 20 ad un massimo di 500 milligrammi per campioni, ossia delle quantità nettamente minori di campione rispetto ai metodi tradizionali, con un rapporto di 1 a 1.000. Proprio la possibilità di analizzare un basso quantitativo di materiale comporta una minore distruzione del reperto archeologico o di una carota e l'occasione di datare piccoli artefatti e materiali molto costosi o rari.

In considerazione di ciò, il laboratorio Vilnius Radiocarbon in Lituania consiglia la quantità adeguata di materiale che deve contenere un campione per le datazioni, soprattutto a fini archeologici. Per esempio, raccomanda espressamente che siano inviate almeno 10-100 mg di carbone, 5-100 mg di semi, 20-100 mg di legno o di materiale conchigliare, 10 g di torba, sostanza organica e suolo etc.¹⁹⁶ Allo stesso modo anche il laboratorio Beta Analytic negli Stati Uniti consiglia sul suo sito web di riferimento¹⁹⁷ la dimensione dei campioni e in aggiunta fornisce

¹⁹⁶ <https://vilniusradiocarbon.ftmc.lt/en/sample-quantities/>

¹⁹⁷ <https://www.radiocarbon.com/>

indicazione del contenitore, come fogli di alluminio, sacchetti a chiusura lampo in cui conservare il materiale.

I dati che si arrivano ad ottenere alla fine del processo di misurazione sono tuttavia ancora dati inesatti perché non corretti. La misurazione accurata dell'attività del ^{14}C di un campione è infatti ancora influenzata da errori di conteggio, dalla radiazione cosmica di fondo e da altri fattori intrinseci.

Una delle ipotesi metodologiche nella prima approssimazione, che si è poi rivelata inesatta o non del tutto corretta, per esempio, è stata assumere che la concentrazione di ^{14}C presente nell'atmosfera, ovvero la quantità al momento della morte dell'organismo, fosse la stessa della biosfera moderna e che quindi fosse rimasta costante nel corso del tempo. Questo ha di conseguenza portato, in modo eccessivamente semplificato ed impreciso, a calcolare l'età del campione confrontando il rapporto $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ nel campione con quello nella biosfera moderna.

La correzione che deve essere compiuta verte allora sul frazionamento isotopico, il quale costituisce la variazione della velocità delle reazioni chimiche e dei processi fisici a seconda della massa dell'isotopo. Perciò non è sufficiente nelle analisi basare le misurazioni solamente sul rapporto $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, ma è invece necessario valutare il frazionamento tenendo in considerazione il rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ il quale, dal momento che entrambi questi isotopi del carbonio sono stabili, non cambia dopo la morte del corpo, può essere misurato in laboratorio e consente una correzione del rapporto $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$.

I dati risultanti sono inoltre grezzi, ovvero non calibrati, e non corrispondono agli anni calendaristici. Per cui la determinazione della relazione tra radiocarbonio ed età del calendario, e perciò la conversione dei dati grezzi radiocarbonici in anni calendaristici, è soggetta alla calibrazione e all'uso delle curve di calibrazione, costruite a partire dagli anelli di accrescimento annuali degli alberi, dai coralli, dai sedimenti marini e dalle datazioni precise di campioni di ^{14}C di età di calendario esattamente note. Naturalmente accanto alle curve di calibrazioni, la cui conoscenza equivale ad individuare i cambiamenti nella concentrazione di carbonio-14 nell'atmosfera in passato, è necessario realizzare anche delle analisi statistiche tramite degli appositi programmi¹⁹⁸. Ad oggi, inoltre, le date di alta precisione sono ottenibili soltanto in pochi laboratori di datazione al radiocarbonio al mondo.

Infine, in taluni e peculiari casi di studio pianificati in ambienti marini, bisogna tenere presente l'effetto serbatoio dell'acqua di mare nel Mediterraneo. Sappiamo difatti che l'integrazione del

¹⁹⁸ Il software per calibrare le date al radiocarbonio può essere trovato, ad esempio, sul sito web [del 14C Laboratory di Oxford](#) o sul sito della rivista *Radiocarbon - International Journal of Cosmogenic Isotope Research* all'indirizzo www.radiocarbon.org.

radiocarbonio cosmogenico nell'atmosfera avviene in modo pressoché immediato a differenza di quello che avviene con il dominio marino in cui lo scambio è più complesso e lento. Questo comporta in primo luogo che è più facile determinare l'età al radiocarbonio corretta per i resti di organismi che durante la loro vita hanno prelevato carbonio dall'atmosfera e in secondo luogo che gli organismi che traggono carbonio dall'ambiente acquatico di solito hanno un contenuto minore di radiocarbonio e quindi rapporto inferiore di $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ rispetto all'atmosfera¹⁹⁹. L'età al radiocarbonio dei resti di tali organismi risulta sopravvalutata e se non viene effettuata allora una correzione la datazione dei materiali marini mostra un invecchiamento o "età apparente" di circa 300/400 anni, nonostante l'entità dell'effetto serbatoio debba essere sempre determinato separatamente in base al bacino che si va ad indagare.

¹⁹⁹ Goiran e Morhange, 2001; Renfrew e Bahn, 2016.

Capitolo V

Risultati delle analisi del primo sondaggio NR1

Individuazione e descrizione delle unità litostratigrafiche

Come esposto nel capitolo precedente, durante l'estrazione della successione di sondaggio la prima operazione, compiuta sia direttamente in campo, una volta prelevato ogni spezzone e aperta la sonda russa, sia in un momento successivo precedente alla campionatura, ha riguardato l'osservazione dettagliata della granulometria, del colore, della consistenza e degli elementi accessori al fine di avere immediatamente una prima panoramica macroscopica della stratificazione, una prima lettura stratigrafica e riconoscere le litofacies presenti (Fig. 34).

La descrizione stratigrafica e litostratigrafica dell'intero carotaggio NR1 verrà di seguito presentata, mantenendo la distinzione fissata in campo che rispecchia i quattro diversi spezzoni realizzati, a partire dal suolo attuale del terreno e quindi dall'alto stratigrafico verso il basso stratigrafico fino alla massima profondità raggiunta (Fig. 35).

Primo spezzone: 0-50 cm

La prima porzione, estratta tra i 0 cm e 50 cm e caratterizzata da una lunghezza di 50 cm, è stata suddivisa in tre unità litostratigrafiche di diversa dimensione e mostra le seguenti caratteristiche:

- 1) Nella parte superiore da 0 a 3 cm troviamo ancora sedimenti riferibili al suolo attuale e costituiti da argilla organica con una elevata densità di frustoli e frammenti vegetali. Il passaggio all'intervallo sottostante è netto.
- 2) La frazione da 3 a 20 cm è composta da argilla poco siltosa di colore grigio con presenza di frammenti vegetali sparsi. Compresa tra i 10 fino a 16 cm si può invece notare della sabbia frammista a ghiaino fine. Il passaggio all'intervallo sottostante è netto per un cambio nella granulometria ed elementi accessori.
- 3) A partire da 20 cm è ben visibile all'interno del sedimento argilloso poco siltoso l'aumento della quantità di frammenti vegetali in disfacimento accanto a frammenti ossidati o frazioni minerali dovuti all'ossidazione la cui presenza rappresenta l'elemento più evidente che caratterizza e marca la distinzione con l'intervallo precedente. Il colore è un grigio screziato, ovvero contrassegnato da screziature rossastre-nerastre. Mentre incorporati tra i 40 e i 50 cm sono stati osservati dei clasti bianchi molto probabilmente attinenti alla classe della sabbia grossolana.

Per questa primo spezzone realizzato bisogna sottolineare che la porzione da 0 a 3 cm coincide con il suolo attuale e quindi poco interessante ai fini dell'indagine, mentre il sedimento di maggiore interesse è compreso tra 3 e 50 cm. Un'ulteriore annotazione riguarda la porzione di sedimento tra 50 e i 55 cm compresa tra due singole operazioni di carotaggio e di cui non abbiamo informazioni poiché corrisponde a un mancato recupero di materiale.

Secondo spezzone: 55-105 cm

Il secondo sondaggio, di seguito descritto e sempre lungo 50 cm e realizzato a partire da 55 cm fino a 105 cm di profondità, è stato possibile individuare e scindere tre diverse unità litostratigrafiche, i cui passaggi si presentano abrupti. Inoltre, bisogna segnalare la presenza di un intervallo fossilifero contenente apparati radicali, ovvero frammenti vegetali di piante, paralleli alla lunghezza della carota e da evitare durante il campionamento.

- 1) Nella prima sezione da 55 a 59 cm è presente argilla limosa plastica di colore grigio-verdognolo con resti vegetali e piccole screziature che si delineano in particolare nella parte alta. Il passaggio all'intervallo sottostante è netto per cambio nel colore ed elementi accessori.
- 2) La seconda unità, compresa tra 59 e i 75 cm, nonostante presenti ancora argilla limosa molto plastica si differenzia per un colore ora più grigio scuro, la scomparsa delle screziature e l'insorgenza di resti vegetali macro, ovvero di dimensioni maggiori a quelli già individuati nelle frazioni più alte, da campionare al radiocarbonio. Il passaggio all'intervallo sottostante è netto per cambio nel contenuto in elementi accessori.
- 3) Da 75 a 105 cm è presente del sedimento composto da limo argilloso grigio scuro, plastico al tocco e molto ricco in frammenti di gusci di molluschi. Sono altresì presenti resti vegetali ben preservati.

Terzo spezzone: 105-155 cm

La terza porzione, avente lunghezza di 50 cm ed eseguito da 105 fino a una profondità di 155 cm è stato ripartito in quattro unità dal punto di vista litologico e mostra le seguenti caratteristiche:

- 1) La frazione tra 105 e 129 cm corrisponde alla parte finale del precedente sondaggio, quindi composta ancora da limo argilloso, ma contenente vari inclusi e gusci di molluschi, in particolare esemplari di gasteropodi. Oltretutto tra 113 e 114 cm sono stati prelevati due campioni di resti vegetali su cui effettuare delle analisi specifiche a radiocarbonio.

- 2) Da 129 a 132 cm il sedimento rappresenta un passaggio all'intervallo sottostante graduale tra le unità 1 e 3.
- 3) Scendendo tra 132 e 151 cm il deposito con colore grigio scuro risulta più granulare (limo sabbioso-sabbia limosa) e privo di fossili ma contenente, anche se scarsi, resti vegetali.
- 4) Infine, la transizione all'ultima parte, qui individuata tra 151 e 155 cm, risulta abrupta dal punto di vista granulometrico dal momento che il sedimento è costituito da sabbie grossolane miste anche a ghiaie; il deposito, perciò, si presenta essere più grossolano.

Quarto spezzone: 155-176 cm

Il quarto spezzone della carota, che corrisponde alla profondità compresa tra 155 e 176 cm di lunghezza minore rispetto ai tre spezzoni precedenti, è stata divisa in tre unità litostratigrafiche distinguibili soprattutto per la composizione e la granulometria:

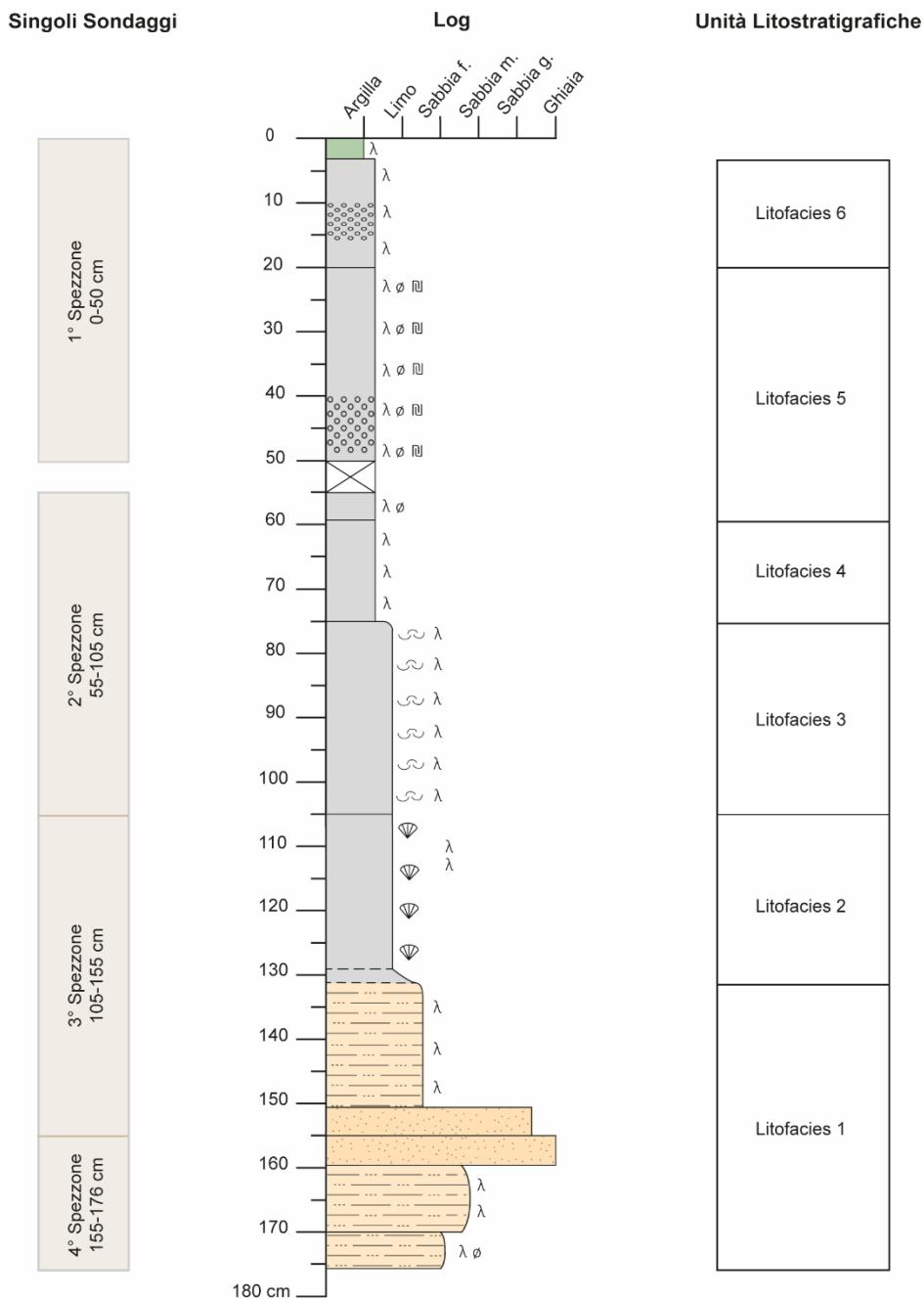
- 1) La parte superiore, da 155 a 159 cm, risulta più grossolana per la presenza di una quantità prevalente di ghiaino in una matrice sabbiosa.
- 2) Tramite un passaggio abrupto e quindi netto a partire da 159 a 170 cm sono presenti dei depositi meno grossolani costituiti da limi sabbiosi - sabbia limosa di colore grigio-verde contenenti abbondanti resti vegetali, i quali, presenti soprattutto tra i 163 e i 164 cm sono stati campionati come materiale per l'analisi radiocarbonica.
- 3) Il passaggio tra la penultima porzione e questa, quindi verso i 170 cm si rivela essere ancora abrupto per granulometria con un sedimento meno granulare e grossolano. Quest'ultima frazione di deposito estratto fino alla massima profondità raggiunta di 176 cm è costituito infatti da limo argilloso con componente sabbiosa, anche se questa è poco evidente. Il colore è arrossato, screziato e sono presenti frammenti vegetali. Anche questi ultimi, indicati come vegetal debris, insieme al sedimento organico sono stati selezionati durante la campionatura per l'analisi al C14 e prelevati intorno ai 170,5-171.5 cm e i 175-176 cm.

Successivamente, a partire dall'osservazione ordinata e complessiva dei quattro spezzoni sono stati individuati sei intervalli o litofacies, ognuno dei quali comprende sedimento simile per granulometria, colore, consistenza e/o elementi accessori. La distinzione è stata quindi compiuta sulla base della similitudine o della discrepanza esistente tra strati consecutivi. Ogni litofacies è perciò rappresentata da depositi con caratteristiche distinte rispetto ai depositi sottostanti e sovrastanti.



Fig. 34. Immagini fotografiche di tre dei quattro spezzoni della carota NR. Le foto sono state scattate ai singoli spezzoni ancora contenuti nella sonda russa, qui vista aperta, utilizzata come carotiere manuale per l'estrazione, durante la prima osservazione e descrizione qualitativa del sedimento. Foto di Venturoli, 2021.

Sondaggio NR1



Legenda:

Argilla e Limo	Argilla e Limo con elementi sabbiosi-ghiaiosi sparsi	Suolo attuale	λ Resti Vegetali	Gasteropodi/Bivalvi
Mancato recupero	Limi sabbiosi-sabbia limosa	Matrice sabbiosa con ghiaio	\emptyset Screziature	Frammenti conchigliari
			— Passaggio Netto	Ossidi/Frazione Minerale
			- - - - - Passaggio Graduale	

Fig. 35. Log stratigrafico del sondaggio NR1 con definizione della granulometria, del colore e degli elementi accessori. Accanto sono indicati sia i quattro spezzoni, esito delle singole e distinte operazioni di estrazione durante il sondaggio, sia le diverse litofacies individuate. Elaborazione di Rossi e Venturoli, 2022.

Sempre a partire dall'alto stratigrafico, escludendo la porzione di suolo attuale nei primi tre centimetri, vi sono:

- Litofacies 6 da 3 a 20 cm: composta da argilla e limo con presenza di elementi sabbiosi-ghiaiosi sparsi tra i 10 e 16 cm ed elementi vegetali ben distribuiti nell'intera estensione.
- Litofacies 5 da 20 a 59 cm: si presenta molto simile per granulometria ed elementi accessori alla litofacies 6, essendo costituita da argilla e limo con elementi sabbiosi-ghiaiosi sparsi tra i 40 e 50 cm e resti vegetali, ma si differenzia per l'ulteriore presenza di screziature e ossidi o comunque frazione minerali ben visibile a occhio nudo sulla base del diverso colore. Questa unità è incompleta a causa del mancato recupero di 5 cm di sedimento verificatosi tra un'operazione e l'altra tra i 50 e i 55 cm.
- Litofacies 4 da 59 a 75 cm: questa unità assomiglia per granulometria, argilla e limo, e materiali accessori, resti vegetali, alla litofacies 6 presentando però come unica differenza la mancanza di elementi di natura sabbioso-ghiaiosa.
- Litofacies 3 da 75 a 105 cm: è composta da argilla e limo con all'interno sia elementi vegetali sia frammenti conchigliari diffusi omogeneamente in tutta l'unità.
- Litofacies 2 da 105 a 132 cm: si scinde con facilità dall'intervallo precedente perché, nonostante l'identica natura sedimentaria consistente sempre in limo ed argilla, essa contiene esemplari interi sia di gasteropodi sia di bivalve in associazione con pochi elementi vegetali concentrati maggiormente nella porzione superiore.
- Litofacies 1 da 132 a 176 cm: costituisce l'ultima unità individuata ed è composta in generale da un sedimento a matrice sabbiosa. Nelle porzioni superiori e inferiori è stata riscontrata la presenza di limi sabbiosi e di sabbia limosa contenenti dei resti vegetali mentre nella porzione centrale la sabbia è accompagnata da del ghiaio e non trattiene inclusi di alcun tipo, ovvero è sterile.

Osservazione e descrizione qualitativa dei campioni

Come precedentemente specificato, dal sondaggio NR1 sono stati ottenuti sia per l'analisi litologica sia paleontologica in totale 42 campioni di sedimento. I lavati contenenti la frazione di sedimento maggiore di 125 μm sono quindi stati osservati e descritti qualitativamente al microscopio binoculare per meglio precisare sia la tessitura sia il contenuto vegetale e faunistico (Tabella 1).

Numero campioni	Profondità in cm	Peso a secco in grammi	Peso frazione >63 µm in grammi	Descrizione qualitativa del campione nella frazione > 125 µm	Meiofauna: Ostracodi	Meiofauna: Foraminiferi bentonici	Macrofauna e/o reti vegetali:
1	0-3	3,89	0,24	Granuli di sabbia che dal punto di vista mineralogico sono composti in prevalenza da quarzo.	NO	NO	/
2	3-8	10,06	1,52	Granuli di sabbia e presenza di fibre vegetali.	NO	NO	/
3	8-12	13,69	3,63	Granuli di sabbia (trasparenti, arancioni, rosa), poche fibre vegetali.	NO	NO	2 elementi vegetali carboniosi
4	12-16	14,62	6,06	Granuli di sabbia e pochissime fibre vegetali	NO	NO	/
5	16-20	19,31	4,68	Granuli di sabbia (trasparenti, bianchi, rosati, neri) e poche fibre vegetali.	NO	NO	/
6	20-24	19,54	3,99	Granuli di sabbia e presenza di fibre sia chiare sia scure di colore marroni/neri.	NO	NO	/
7	24-28	19,41	2,11	Granuli di sabbia, poche fibre vegetali, qualche concrezione arancio/marrone.	NO	NO	/
8	28-32	16,60	1,84	Granuli di sabbia, poche fibre vegetali, tante concrezioni arancio/marroni.	NO	NO	/

9	32-36	12,44	1,43	Granuli di sabbia, fibre vegetali, concrezioni.	NO	NO	1 elemento carbonioso
10	36-40	13,53	1,21	Granuli di sabbia, fibre vegetali, concrezioni.	NO	NO	/
11	40-44	10,48	0,94	Granuli di sabbia e concrezioni, abbondanti fibre vegetali.	NO	NO	1 elemento carbonioso
12	44-50	10,51	2,26	Granuli di sabbia, qualche fibra vegetale e molte concrezioni.	NO	NO	/
13	55-59	11,82	0,11	Granuli di sabbia e molte concrezioni.	SI: 1 sola valva di <i>Cyprideis torosa</i> .	NO	/
14	59-63	7,43	0,01	Granuli di sabbia, qualche concrezione grigio/marrone.	NO	NO	1 elemento carbonioso
15	63-67	7,77	0,24	Grande abbondanza di granuli di sabbia (bianchi e trasparenti), fibre ed elementi vegetali.	NO	NO	/
16	67-71	9,13	0,21	Grande abbondanza di granuli di sabbia (bianchi e trasparenti), elementi vegetali	NO	NO	/
17	71-75	6,91	0,20	Molti granuli di sabbia (bianchi e trasparenti).	NO	NO	1 elemento carbonioso
18	75-79	9,23	3,74	Granuli di sabbia e miche.	SI Molti	SI Pochi e piccoli	Frammenti di mollusco e 1 seme
19	79-83	5,26	0,53	Granuli di sabbia e fibre vegetali.	SI Molti	SI Molti	/

20	83-87	10,50	1,14	Granuli di sabbia.	SI Molti	SI Pochi	Frammenti di molluschi e 1 seme
21	87-91	10,76	2,85	Granuli di sabbia ed elementi vegetali.	SI Molti	SI Molti	Frammenti di molluschi e 1 seme
22	91-95	9,49	1,28	Granuli di sabbia ed elementi vegetali.	SI In numero sufficiente	SI Pochi	Frammenti di molluschi e 1 seme
23	95-99	13,26	1,54	Abbondante quantità di granuli di sabbia (trasparenti) e presenza di fibre vegetali.	SI Pochi	SI Pochi e piccoli	Gasteropodi
24	99-103	7,53	2,44	Granuli di sabbia.	SI Molti	SI In numero sufficiente	Gasteropodi e frammenti di molluschi
25	105-109	16,49	3,92	Granuli di sabbia, qualche fibra vegetale e concrezione marrone.	SI Molti	SI In numero sufficiente	Gasteropodi e frammenti di molluschi
26	109-113	15,59	6,74	Molti granuli di sabbia (trasparenti), fibre vegetali e concrezioni.	SI Molti	SI Alcuni inclusi nel sedimento vegetale	Gasteropodi e molti frammenti di molluschi
27	113-117	15,03	8,53	Molti granuli di sabbia (trasparenti e grigi).	SI Molti	SI Molti	Molti frammenti di molluschi e 1 seme
28	117-121	17,50	5,94	Molti granuli di sabbia (trasparenti e grigi) ed elementi vegetali.	SI In numero sufficiente	SI In numero sufficiente	Gasteropodi, frammenti di molluschi e 1 seme

29	121-125	19,34	5,35	Molti granuli di sabbia (grigi), agglomerati.	NO	NO	Elevata quantità di frammenti di molluschi
30	125-129	16,89	3,86	Molti granuli di sabbia, agglomerati ed elementi vegetali.	NO	NO	Pochi elementi appartenenti a materiale conchigliare
31	129-132	16,26	4,47	Granuli di sabbia (trasparenti e grigi), agglomerati e un elemento nero organico.	NO	NO	Qualche frammento di mollusco
32	132-134	14,78	5,65	Granuli di sabbia (trasparente).	NO	NO	Gasteropodi e frammenti di molluschi
33	134-138	11,72	5,72	Granuli di sabbia.	NO	NO	1 elemento carbonioso vegetale
34	138-142	16,64	5,43	Granuli di sabbia.	NO	NO	1 elemento carbonioso vegetale
35	142-146	16,55	10,11	Granuli di sabbia e presenza di un clasto appartenente per dimensioni alla classe delle ghiaie.	NO	NO	1 elemento carbonioso vegetale
36	146-150	17,27	12,86	Granuli di sabbia e presenza di un granulo appartenente per dimensioni alla classe delle ghiaie	NO	NO	/
37	150-155	13,70	9,94	Granuli di sabbia e presenza di granuli appartenenti per dimensioni alla classe delle ghiaie.	NO	NO	1 elemento carbonioso vegetale

38	155-159	10,55	8,58	Presenza di sedimento sia composto da granuli di sabbia sia da molti granuli di ghiaia.	NO	NO	/
39	159-163	15,51	8,31	Granuli di sabbia piccoli (di colore molto chiaro trasparente e rosa).	NO	NO	/
40	163-167	14,78	8,38	Granuli di sabbia.	NO	NO	Elementi carboniosi
41	167-170	23,45	11,11	Granuli di sabbia grossolana e granuli di ghiaia. Elementi vegetali	NO	NO	/
42	170-176	12,61	4,39	Granuli di sabbia molto piccoli (di colore trasparente, rosa, giallo/ocra) con granuli della classe della ghiaia.	NO	NO	1 elemento carbonioso vegetale

Tabella 1. Elenco e descrizione dei campioni prelevati dalla carota NR1. Elaborazione di Rossi e Venturoli, 2021.

Quindi, da una valutazione d'insieme, il sedimento presente nei campioni dal punto di vista tessiturale comprende cristalli e grani di sabbie fini, medie e grosse che possono essere sia visti ad occhio nudo oltre che con maggior dettaglio al microscopio, come si può notare dalle seguenti immagini (Fig. 36), sia sentiti tra le dita.



Fig.36. Rappresentazioni fotografiche della composizione di un campione: il sedimento maggiore o uguale di 125 μm rientra nella classe delle sabbie, perciò comprende la sabbia fine, media, grossa e molto grossa fino ad arrivare alla classe della ghiaia, ed è costituito da cristalli di sabbia e minerali argillosi. Come si può notare in questo campione non sono presenti esemplari né di meiofauna né di macrofauna. La prima foto è stata scattata a occhio nudo mentre la seconda foto è stata realizzata sfruttando l'ingrandimento offerto dal microscopio elettronico. Foto di Venturoli, 2021.

Questi sono composti anzitutto da minerali o frammenti di minerali stabili e resistenti come quarzo, feldspati, mica, muscovite, biotite, minerali pesanti, i quali sono caratterizzati da un colore bianco, rosato, giallognolo-marrone, arancio, grigio e da una lucentezza da trasparente a vitrea, ma anche da minerali argillosi e qualche concrezione formata da frammenti organogeni. Non mancano, prevalentemente nella porzione più superficiale della carota, granuli di ghiaia compresi dal punto di vista dimensionale tra 2 e 4 mm. Per quanto riguarda la morfologia dei granuli esistono diverse classi o gradi di arrotondamento: nel nostro caso la sabbia appare contraddistinta da forme angolose e subangolose con qualche grano anche subarrotondato, ma in generale scarsamente arrotondati e sferici. In merito alla classazione o “sorting” ovvero la distribuzione delle dimensioni dei grani all'interno del sedimento possiamo dire che questo è mediamente classato. Inoltre, sono presenti, come sostanza organica, da un lato molte fibre e frustoli e resti vegetali, forse anche elementi appartenenti a radici, di colore marroncino e dall'altro diversi elementi e residui carboniosi. Infine, in termini di contenuto fossile e faunistico i bioindicatori appartenenti alla meiofauna, ossia le valve quali unici elementi che restano degli ostracodi nel sedimento, in associazione con i foraminiferi bentonici, sono concentrati nel tratto centrale della carota tra i -75 e i -121 cm in undici campioni, caratterizzati da un sedimento che si evolve in modo più grossolano. All'interno di alcune di queste

frazioni e anche in campioni successivi appartenenti dal punto di vista stratigrafico alla metà inferiore del sondaggio, tra i -83 e i -134 cm, vi sono per di più sia qualche esempio di gasteropodi conservatisi interi sia molti frammenti di conchiglie, ovvero i gusci a protezione dei molluschi che sono invertebrati. Il phylum dei molluschi è diviso in otto classi, tra queste le più importanti e principali sono i gasteropodi, i bivalvi e i cefalopodi. Proprio la compresenza di bioindicatori del meiobenthos e del macrobenthos, all'interno di una matrice sedimentaria ricca di granuli e minerali di colore grigio e con pochi elementi vegetali, ci permettono quasi subito di individuare una facies marina o comunque molto influenzata da dinamiche di mare aperto. Nel chiudere questa generale descrizione è opportuno porre in risalto la presenza di alcuni ostracodi, foraminiferi e frammenti di molluschi distinguibili per una patina superficiale. Alcuni esemplari hanno la patina di colore arancio/marrone, forse dovuta al processo di ossidazione, e si trovano a partire dai campioni prelevati tra i -99 e i -103 cm verso il basso stratigrafico soprattutto presenti fino al sedimento compreso tra i -121 e i -125 cm di profondità. Altri ancora si distinguono per un colore grigio opaco all'interno dei campioni più ravvicinati alla superficie. In particolare, sono stati isolati nella slide 75-79 cm, al fine di essere meglio osservati, tre valve di ostracodi di colore grigio scuro.

“Picking” del contenuto in meiofauna

A seguito della quartatura con microsplinter del sedimento maggiore o uguale di 125 μm in frazioni minori, per essere meglio esaminato al microscopio, si è proseguito con il prelievo sia delle valve di ostracodi sia, in un momento diverso e successivo, dei foraminiferi bentonici. Difatti, nonostante abbiamo già sottolineato l'importanza di uno studio combinato di foraminiferi bentonici e ostracodi per ottenere dei risultati solidi e affidabili, nella prima fase si è deciso di concentrarsi solamente sulle informazioni derivanti dalle valve di ostracodi. Tuttavia, dopo aver valutato non solo le tempistiche del lavoro ma anche l'utilità o meno, si è proceduto con lo studio dei foraminiferi bentonici.

Nel nostro caso l'operazione di “piccaggio”, ossia l'estrazione e rimozione dei microrganismi fossili dalla matrice sedimentaria che li contiene, comunemente nota ed indicata come “picking” è stata realizzata su tutti gli undici campioni dell'intervallo compreso tra 75-79 e 117-121 cm (Fig. 37), nei quali era stata osservata una percentuale di meiofauna, fino ad arrivare a un minimo di 150 valve per gli ostracodi tra adulti e giovanili contati tutti assieme e a un minimo di 100 foraminiferi altresì piccoli e grandi, in modo da garantire la robustezza statistica ed avere un buon numero per lo studio tassonomico futuro. Inoltre, laddove gli esemplari della frazione quartata e analizzata si siano contati in numero minore ai 150 esemplari si è proceduto con il prendere tutti quelli presenti nel campione andando a guardare anche l'altra frazione fino al raggiungimento della quantità minima. Tuttavia,

nell'eventualità in cui nell'intero campione l'ammontare dei microfossili non sia stato sufficiente, e quindi il minimo numero non si sia raggiunto, si è proceduto con il prelevare comunque tutte le valve e segnare il loro numero nella tabella di conteggio (Tabella 2).



Fig.37. Slide ordinate dall'alto stratigrafico al basso stratigrafico esito del picking di ostracodi e foraminiferi bentonici dai campioni compresi nell'intervallo da 75-79 a 117-121 cm. Foto di Venturoli, 2022.

Profondità Campioni in cm contenenti Meiofauna	Picking Ostracodi	Picking Foraminiferi bentonici
75-79	SI: 150	SI: 50
79-83	SI: 150	SI: 100
83-87	SI: 150	SI: 88
87-91	SI: 150	SI: 100
91-95	SI: 150	SI: 75
95-99	SI: 120	SI: 70
99-103	SI: 150	SI: 100
105-109	SI: 150	SI: 100
109-113	SI: 150	SI: 100
113-117	SI: 150	SI: 100
117-121	SI: 150	SI: 100

Tabella 2. Elenco dei campioni, indicati con le relative profondità in cm all'interno della carota NR1, i quali contengono organismi fossili di meiofauna. Per ogni campione viene specificato il numero di ostracodi e di foraminiferi, la cui quota minima è 150 e 20, che è stato possibile prelevare. Elaborazione di Venturoli, 2022.

Da quanto si evince dalla tabella riassuntiva tutti i campioni caratterizzati da meiofauna contengono sia valve di ostracodi sia fossili di foraminiferi bentonici.

Dopo che i fossili sono stati posti sul vetrino ovviamente possono essere contati rapidamente se è sufficiente la determinazione degli organismi ad alti livelli sistematici, ma se invece risulta imprescindibile, come nella nostra ricerca, la valutazione della diversità a livello di specie allora è necessaria la determinazione accurata al microscopio stereoscopico che richiede tempi più lunghi. Al fine di identificare a livello tassonomico le specie, in primo luogo, si sono consultati una serie di lavori di riferimento contenenti una descrizione tassonomica dettagliata e corredati da tavole realizzate con le microfotografie realizzate al microscopio elettronico a scansione (SEM) dei taxa sia di ostracodi sia di foraminiferi bentonici più comuni o peculiari. Alcuni degli studi di riferimento e dei risultati più completi ed esaustivi consultati sono ad esempio stati i lavori di Athersuch et al. (1989), Barbieri e Vaiani (2018), Mazzini et al. (2021) o Horton e Edwards (2006). Il passo successivo è stato poi osservare e considerare attentamente tutte le caratteristiche morfologiche a noi note, quali ad esempio per gli ostracodi gli elementi fenotipici come l'impronta muscolare, il numero e il tipo dei porocanali normali, la tipologia e struttura della cerniera, la forma e l'ornamentazione etc. oppure

per i foraminiferi le camere e la forma del guscio, la presenza o meno del bottone o la somiglianza o meno tra il lato dorsale e il lato ventrale, operando anche dei confronti con le tavole.

Nelle tabelle seguenti (Tabella 3-4-5-6) per ogni campione analizzato sono stati riportati, per enfatizzare la biodiversità degli assemblaggi, la diversità e le associazioni delle specie individuate. Inoltre, è stata riportata sia la quantità numerica assoluta di ciascuna specie rispetto al numero di esemplari estratti per ogni campione e la percentuale relativa, ottenuta tramite una proporzione, al fine di plottare nel log il contenuto in meiofauna (Fig. 38), sia quindi relativo alle valve di ostracodi sia agli esemplari di foraminiferi bentonici.

Matrici di conteggio degli ostracodi:

TAXA OSTRACODI	75-79	79-83	83-87	87-91	91-95	95-99	99-103	105-109	109-113	113-117	117-121
NUMERO ASSOLUTO											
<i>Cyprideis torosa</i> (Jones, 1850)	150	149	141	149	146	116	143	149	145	150	148
<i>Loxoconcha elliptica</i> (Brady, 1868b)	0	1	9	1	4	4	7	1	5	0	2
Totale Ostracodi (n valve)	150	150	150	150	150	120	150	150	150	150	150

Tabella 3. Matrice di conteggio con indicazione per ogni campione analizzato delle specie e del numero assoluto di ostracodi presenti. Elaborazione di Venturoli, 2022.

TAXA OSTRACODI	75-79	79-83	83-87	87-91	91-95	95-99	99-103	105-109	109-113	113-117	117-121
PERCENTUALE RELATIVA											
<i>Cyprideis torosa</i> (Jones, 1850)	100	99,33	94	99,33	97,333	96,667	95,333	99,333	96,667	100	98,667
<i>Loxoconcha elliptica</i> (Brady, 1868b)	0	0,667	6	0,667	2,667	3,333	4,667	0,667	3,333	0	1,333
Totale Ostracodi (n valve)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 4. Matrice di conteggio con indicazione per ogni campione analizzato delle specie e della percentuale relativa delle valve di ostracodi presenti. Elaborazione di Venturoli, 2022.

Matrici di conteggio dei foraminiferi bentonici:

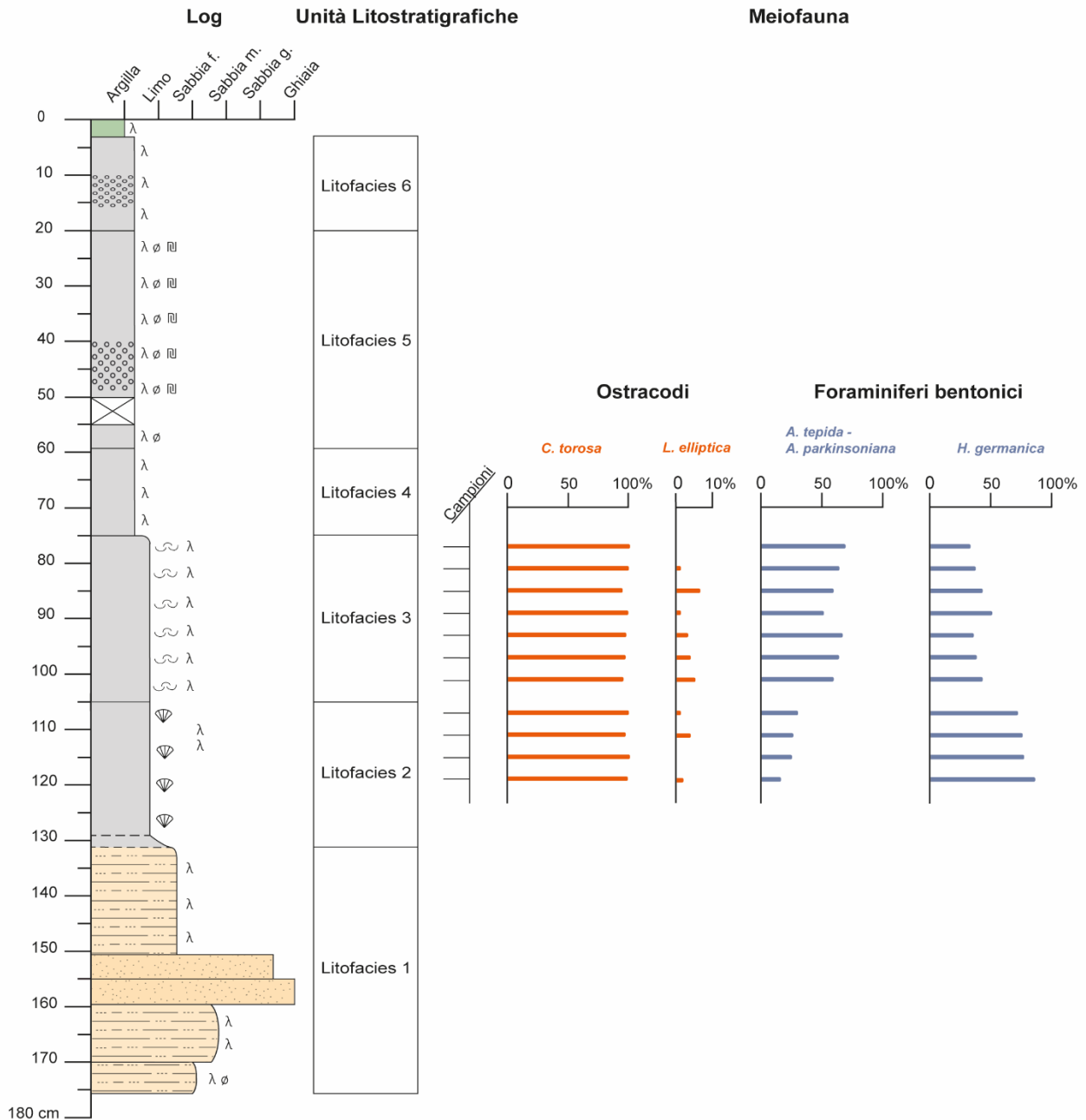
TAXA FORAMINIFERI BENTONICI	75-79	79-83	83-87	87-91	91-95	95-99	99-103	105-109	109-113	113-117	117-121
NUMERO ASSOLUTO											
<i>A. tepida – A.parkinsoniana</i> <i>(Cushman, 1926 et d'Orbigny, 1839)</i>	34	63	51	50	49	44	58	29	25	24	15
<i>Haynesina germanica</i> <i>(Ehrenberg, 1840)</i>	16	37	37	50	26	26	42	71	75	76	85
Totale Foraminiferi bentonici	50	100	88	100	75	70	100	100	100	100	100

Tabella 5. Matrice di conteggio con indicazione per ogni campione analizzato delle specie e del numero assoluto di foraminiferi bentonici presenti. Elaborazione di Venturoli, 2022.

TAXA FORAMINIFERI BENTONICI	75-79	79-83	83-87	87-91	91-95	95-99	99-103	105-109	109-113	113-117	117-121
PERCENTUALE RELATIVA											
<i>A. tepida – A.parkinsoniana</i> <i>(Cushman, 1926 et d'Orbigny, 1839)</i>	68	63	57,95	50	65,33	62,86	58	29	25	24	15
<i>Haynesina germanica</i> <i>(Ehrenberg, 1840)</i>	32	37	42,05	50	34,67	34,67	42	71	75	76	85
Totale Foraminiferi bentonici	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 6. Matrice di conteggio con indicazione per ogni campione analizzato delle specie e della percentuale relativa dei foraminiferi bentonici presenti. Elaborazione di Venturoli, 2022.

Sondaggio NR1



Legenda:

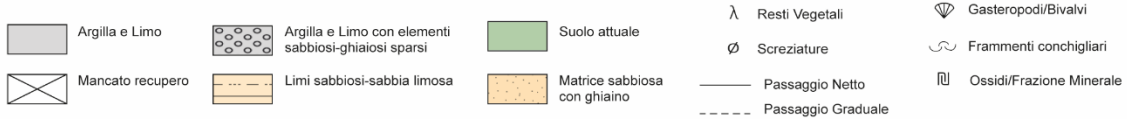


Fig.38. Log stratigrafico del sondaggio NR1 con indicazione dei campioni e dei livelli stratigrafici caratterizzati dalla presenza di meiofauna nell'intervallo compreso tra -75 e -121 cm. Le percentuali relative ottenute sia per le valve di ostracodi sia per gli esemplari di foraminiferi bentonici sono state plottate nel log per avere la percezione precisa del dato quantitativo al fine della ricostruzione paleoambientale. Elaborazione di Rossi e Venturoli, 2022.

I taxa presenti nei campioni: diversità e assemblaggi degli ostracodi e dei foraminiferi bentonici

La scienza che definisce i taxa è la tassonomia, la quale utilizza un sistema gerarchico per classificare gli organismi. A livello tassonomico, perciò, ogni taxon o unità tassonomica possiede e si situa in più livelli gerarchici detti categorie tassonomiche, quali regno, phylum, classe, ordine, famiglia, genere, specie e sottospecie. L'azione di classificare, secondo uno schema di classificazione linneana, gli organismi in taxa in modo formale e quindi assegnare loro un nome in latino, una descrizione etc. ha avuto e ha tuttora lo scopo di fornire una denominazione con valore universale, indipendentemente dalla lingua utilizzata per la comunicazione o dal lavoro di ricerca che si sta svolgendo. Tuttavia, è sempre necessario specificare, nel momento in cui si parla di una data specie e si cita la definizione e la descrizione, il riferimento cioè il nome dell'autore o degli autori che l'hanno realizzata, i quali figureranno con l'anno dopo il nome della specie in oggetto. In particolar modo in questo lavoro si è preso come riferimento e utilizzato per esporre le specie sia di ostracodi sia di foraminiferi il World Register of Marine Species (WoRMS), ovvero un registro delle specie marine, nato dall'European Register of Marine Species (ERMS) e dalla sua combinazione con molti altri registri delle specie tenuti presso il Flanders Marine Institute (VLIZ), il quale ha lo scopo, fornendo un elenco autorevole e completo di nomi di organismi marini, di altri nomi in uso, delle descrizioni, dei riferimenti bibliografici, di essere una guida nell'interpretazione della letteratura tassonomica.

Nell'analisi paleoecologica criteri utili sono di fatto sia l'uniformismo tassonomico, ovvero il ritrovamento e il riconoscimento di rappresentanti di certi gruppi tassonomici che sono esclusivi di un particolare ambiente fin da epoche più antiche, sia le caratteristiche morfologiche funzionali degli organismi che sono presenti perché riflettono l'adattamento ad un particolare ambiente e modo di vita.

Per quanto riguarda la classe Ostracoda²⁰⁰ classificata da Latreille nel 1802 nel regno degli Animalia, nel phylum degli Arthropoda, nel subphylum dei Crustacea e nel superclasse degli Oligostraca, gli undici campioni includono un abbondante numero di valve di ostracodi appartenenti a tre specie principali: dominante è la presenza del taxon salmastro *Cyprideis torosa* senza nodi accanto a esemplari di *Loxococoncha elliptica* (Fig.39). Questi taxa, ovvero le specie eurialine come la *C. torosa* e le specie salmastre come la *L. elliptica* tolleranti una più o meno ampia variabilità del parametro salinità, sono comunemente presenti e dominanti come associazione salmastra tendenzialmente

²⁰⁰ Athersuch *et alii*, 1989; WoRMS - World Register of Marine Species - Ostracoda: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1078>;

oligotipica in contesti definiti “brackish” ossia scarsamente marino-influenzati proprio come le lagune.

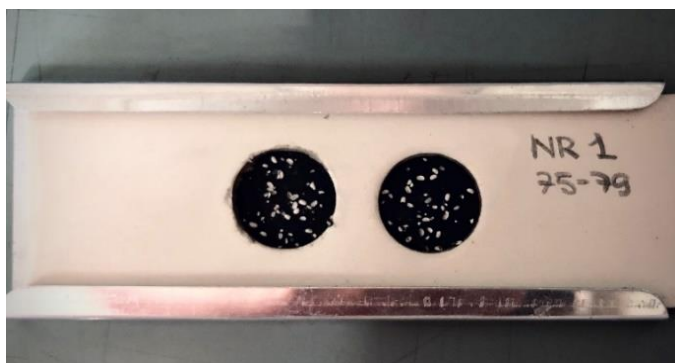


Fig.39. A sinistra: Slide contenente 150 esemplari di ostracodi esito di picking dal campione 75-79 della carota NR1; a destra: immagine al microscopio stereoscopico di una valva. Foto di Venturoli, 2022.

La *Cyprideis (Cyprideis) torosa* (Jones, 1850)²⁰¹ è una specie della famiglia *Cytherideidae* (Sars, 1925) e del genus *Cyprideis* (Jones, 1857) fortemente eurialina e opportunista, ovvero capace di tollerare, oltre il suo valore di salinità ottimale, variazioni di salsedine e perciò diverse condizioni di salinità talvolta anche molto accentuate nell'ambiente acquatico in cui vive. Lo scenario naturale infatti è spesso salmastro e protetto con un substrato fangoso o sabbioso fangoso. Difatti, è uno dei taxa più frequenti negli ambienti marini marginali e prossimi ai siti archeologici caratterizzati da regimi d'acqua dolce a salmastra con valori oligoalini fino a possibili transizioni a valori iperalini in cui non sembrano influire più di tanto il tipo di substrato, dalla copertura vegetale, dalla temperatura e dalla concentrazione di ossigeno²⁰². Tali habitat molto presenti nel Mediterraneo e dell'Atlantico nord-orientale, nonostante la diversa nomenclatura utilizzata (ambiente marino aperto, mare poco profondo, mare costiero, mare fitale, laguna fitale, laguna salmastra), sono ambienti salmastri costieri poco profondi contraddistinti sia da apporti marini sia da apporti fluviali o comunque d'acqua dolce e da un'elevata variabilità ambientale temporale con elevata produttività organica in cui, tramite varie analisi degli ostracodi, si è visto che la specie *Cyprideis torosa* prospera. Sebbene le indicazioni fornite dalla sua presenza possano essere estremamente utili proprio a causa della sua ampia tolleranza alla salinità spesso solo la fauna associata, ossia le specie accompagnatrici, consente il rilevamento delle variazioni ecologiche, ovvero climatiche e ambientali degli ecosistemi antichi e definiscono meglio gli apporti di acqua dolce o marina nel sito studiato. Molto interessante è anche

²⁰¹ WoRMS - World Register of Marine Species - *Cyprideis (Cyprideis) torosa* (Jones, 1850): <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=811641>; Athersuch *et alii*, 1989.

²⁰² Meisch, 2000.

la capacità di questa specie di essere in grado di sopportare condizioni ipossiche, ovvero contrassegnati da carenza di ossigeno. Malgrado gli ostracodi spesso esibiscano un dimorfismo sessuale del carapace espresso in differenti forme e grandezze, per esempio il carapace femminile è marcato dal margine ventrale quasi dritto mentre il carapace maschile si mostra più allungato, la *C. torosa* è inconfondibile oltre che per la forma subtriangolare con un margine anteriore, posteriore, dorsale, ventrale molto riconoscibile anche da precisi attributi osservabili solo dalla vista interna. Tra questi caratteri vi è la lamella interna piuttosto stretta, i porocanali marginali numerosi, corti e dritti anche se non sempre visibili, la mancanza di vestiboli, la struttura della cerniera, detta merodonte, con due denti e barra o doccia e la peculiare impronta muscolare. In particolare tra tutti gli esemplari sono stati rilevati delle valve femminili per la presenza di due porocanali corti e delle valve maschili riconoscibili invece per un solo porocanale marginale ma più allungato, un'impronta muscolare in una forma giovanile quasi adulta e un solco dorso mediano, generalmente poco pronunciati²⁰³, nella vista esterna di un esemplare maschile adulto.

Negli ambienti marini marginali o meglio confinati, come ad esempio stagni lagune costiere, laghi costieri, estuari o anche ambienti comunque associati ad alghe o a un substrato fangoso, è altrettanto comune e assolutamente prevedibile la compresenza con il taxon di *Loxoconcha elliptica* (Brady, 1868)²⁰⁴, una specie salmastra oligoalina-polialina, appartenente alla famiglia *Loxoconchidae* (Sars, 1925) e al genus *Loxoconcha* (Sars, 1866). I carapaci presentano forme ovoidali e subrettangolari con margine ventrale quasi dritto e mentre il margine dorsale è quasi dritto nel maschio nelle femmine è leggermente arcuato. Inoltre le valve sono finemente ornate con piccole fossette ovvero si presentano puntinate con punteggiatura organizzata in cerchi concentrici. A differenza della *C. torosa* i porocanali marginali sono poco numerosi e dritti e sono presenti due vestiboli, invece l'impronta muscolare è identica. Un ulteriore fattore di distinzione tra le specie riguarda il ciclo di vita: mentre per la *C. torosa* una generazione per anno è apparentemente divisa in due perché nei mesi invernali non vi è sviluppo e una popolazione svernante composta sia di adulti sia di giovani di grandi dimensioni in primavera formano un'unica popolazione adulta e danno origine a nuove generazioni che si sovrappongono nel tempo. Ciò ovviamente implica che alcuni individui raggiungono la maturità in autunno mentre altri che si schiudono più tardi in primavera non maturano fino all'anno seguente; invece, gli adulti e i giovani svernanti di *L. elliptica*, che rientra tra le specie che hanno cicli di vita più brevi e possono produrre più di una generazione durante il periodo caldo dell'anno,

²⁰³ Athersuch *et alii*, 1989.

²⁰⁴ WoRMS - World Register of Marine Species - *Loxoconcha elliptica* Brady, 1868 - <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=128226>

iniziano la riproduzione in primavera dando vita a due o tre generazioni in estate che vanno a sopravvivere all'inverno²⁰⁵.

Tutte tre le specie presenti nel sedimento sono dunque state in gran parte “piccate” come valve singole grandi, corrispondenti agli adulti, e piccole, relative agli stadi giovanili, ma non è mancato di riuscire a mettere in luce ed estrarre dalla matrice anche qualche esemplare conservatosi integro, ovvero con le due valve ancora unite insieme. Nel procedere con la descrizione delle particolarità osservate possiamo evidenziare sia il colore sia la durezza dei carapaci che sono stati degli elementi fin da subito chiari e percettibili. Alcune valve, infatti, avevano un colore bianco e risultavano sufficientemente resistenti e robuste da non rompersi durante l'estrazione, altre, al contrario, avevano il carapace trasparente e molto fragile tanto è vero che vi sono stati casi di rottura durante l'analisi. La pigmentazione poco marcata e la facile rottura suggeriscono logicamente una loro composizione a basso contenuto di carbonato di calcio (CaCO₃). Infine, pochi ma altrettanto importanti esemplari si sono distinti durante l'osservazione al microscopio per la sussistenza parziale o addirittura totale sulla superficie esterna dell'esoscheletro di tracce arancio/marroni, forse dovute a ossidazione, oppure per un colore grigio scuro. Per quanto riguarda l'ornamentazione invece questa è poco pronunciata ma in alcuni casi sono ben visibili dei puntini corrispondenti ai pori. In generale quando esiste, come per il nostro caso, una bassa diversificazione nelle caratteristiche morfologiche, soprattutto per la *C. torosa*, può essere un buon indicatore di un ambiente a bassa energia caratterizzato da poco moto ondoso.

L'ambiente salmastro è quindi confermato sicuramente dalla presenza di *C. torosa*; tuttavia, la sua unica occorrenza, come già sottolineato, non consente di differenziare in modo dettagliato il range di salinità per cui è fondamentale analizzare i taxa associati. Ogni taxon associato a tale specie molto abbondante rappresenta e indica infatti un intervallo di salinità individuale e specifico. In associazione con la *C. torosa* abbiamo perciò *L. elliptica*, la quale, dal momento che rientra nelle specie d'acqua salmastra ma che possiede una larga tolleranza alla salinità fino al 33-36 per mille circa, non solo comprova l'esistenza di un ambiente umido riparato e salmastro ma indica oltretutto anche una influenza dell'acqua di mare²⁰⁶. Solitamente l'assemblaggio che meglio caratterizza le aree più stabili e protette dove la salinità è bassa ma comunque presente e oscillante è dato proprio da specie fangose come *Cyprideis torosa* e *Loxoconcha elliptica*. È possibile però avere un quadro maggiormente chiaro e completo guardando alla fauna associata dei foraminiferi bentonici che solitamente si presenta con una diversità molto bassa (da una a quattro specie).

²⁰⁵ Athersuch *et alii*, 1989.

²⁰⁶ Pint e Frenzel, 2017.

Per quanto riguarda il phylum dei Foraminifera²⁰⁷, studiato da d'Orbigny nel 1826 e classificato nel regno dei Chromista, nel sottoregno degli Harosa e nell'intraregno dei Rhizara, gli undici campioni contengono un numero abbastanza rilevante di foraminiferi appartenenti a due specie principali: l'*Ammonia tepida* – *Ammonia parkinsoniana* in associazione salmastra con l'*Haynesina germanica*, due specie eurialine di foraminiferi bentonici che suggeriscono lo sviluppo di un ambiente lagunare salmastro (Fig. 40). Questi taxa inoltre dominano ambienti ecologici dove salinità, ossigeno, materia organica e nutrienti cambiano rapidamente²⁰⁸ e sono comunemente registrati insieme negli assemblaggi lagunari centrali del Mediterraneo.

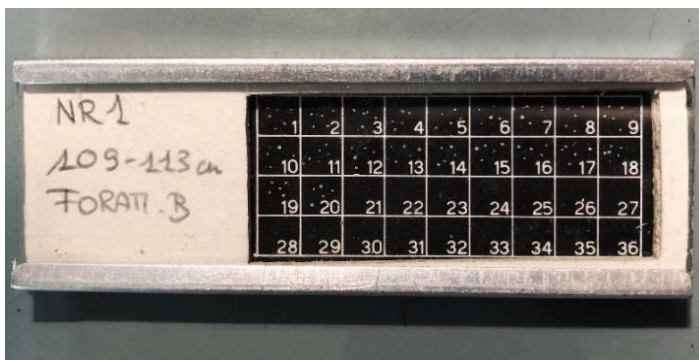


Fig.40. A sinistra: Slide contenente 100 esemplari di foraminiferi bentonici esito di picking dal campione 108-113 della carota NR1; a destra: immagine al microscopio stereoscopico di un foraminifero. Foto di Venturoli, 2022.

Solitamente, come riscontrato in altri contesti, il taxon dell'*A. tepida* – *A. parkinsoniana* domina la fauna foraminifera seguito proprio dall'*H. germanica* come subordinata, anche se per i nostri campioni è possibile vedere dai conteggi che all'aumentare di una vi è una diminuzione quantitativa dell'altra, ovvero il trend varia in modo inversamente proporzionale con la profondità.

In questo lavoro, da come si può notare dai conteggi, le specie di foraminiferi di *Ammonia tepida* e *Ammonia parkinsoniana*, categorizzate nella familia Rotaliidae (Ehrenberg, 1839) nella sottofamiglia Ammoniinae (Saidova, 1981) e nel genus *Ammonia* (Brünnich, 1772), sono state considerate insieme come un taxon unico intermedio.

L'*Ammonia tepida* (Cushman, 1926)²⁰⁹ presenta un guscio trocospirale, ovvero un modello di crescita nei foraminiferi in cui il materiale si aggiunge al guscio in modo elicoidale, basso e costituito da sei fino a otto camere visibili nell'ultima spirale del lato ombelicale ad evolvente. Il contorno è

²⁰⁷ WoRMS - World Register of Marine Species - Foraminifera - <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1410>

²⁰⁸ Alve e Murray, 1994; Stouff *et alii*, 1999; Barbieri e Vaiani, 2018.

²⁰⁹ WoRMS - World Register of Marine Species - *Ammonia tepida* (Cushman, 1926)- <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=112857>

lobato, con camere fortemente gonfiate e una periferia largamente arrotondata. Distinguiamo il lato dorsale con visibili le camere e la zona centrale dal lato ventrale con il bottone aperto. È una specie eurialina diffusa e dominante nelle lagune, negli estuari e negli ambienti delta²¹⁰ solitamente dalle zone più interne a quelle più esterne delle lagune e in prossimità delle foci dei fiumi. È inoltre nota per la grande sopportazione ad ambienti marcati da alti livelli di sostanza organica e, a differenza dell'*H. germanica*, alla quale è comunemente associata negli insiemi lagunari centrali del Mediterraneo, è in grado di consumare molte fonti di cibo, compreso il materiale refrattario oltre che alla materia organica labile. Non da ultimo per importanza, è un taxon molto tollerante tanto è vero che sa adattarsi a una ampia varietà di stress naturali ed antropogenici, tra i quali l'inquinamento ecologico e non solo l'alta ma anche la ridotta salinità del contesto.

L'*Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny, 1839)²¹¹ è per forma e caratteristiche molto simile alla *A. tepida* ma, appunto, non uguale. Questo taxon possiede un guscio con avvolgimento trocospirale a spira bassa, una spirale laterale evoluta e lato ombelicale evolvente con otto-nove camere nella spirale finale. Il contorno è circolare, la periferia arrotondata mentre le camere non sono gonfiate come la *A. tepida*. Ovviamente anche in questo caso il lato dorsale è diverso e distinguibile dal lato ventrale, mentre il bottone è chiuso. Questa specie è molto diffusa lungo le coste italiane, tanto è vero che domina gli insiemi di foraminiferi bentonici tra i 10 e i 20 m di profondità soprattutto nel mare Adriatico, ma sembra comune anche nelle lagune mediterranee e nei laghi costieri²¹². Tuttavia al contrario dell'*A. tepida*, la *A. parkinsoniana* è considerata meno tollerante ai sistemi inquinati e perciò vive e si ritrova maggiormente in ambienti o poco contaminati o meglio puliti. Ciò ovviamente non esclude che qualche esemplare magari anormale e in numero relativamente basso sia presente in acque salmastre inquinate mostrando quindi un certo margine di tollerabilità a condizioni stressanti. L'*Haynesina germanica* (Ehrenberg, 1840)²¹³ è una specie accettata di foraminifero, appartenente alla famiglia Nonionidae (Schultze, 1854) e al genus *Haynesina* (Banner and Culver, 1978), tipica di acque poco profonde e di ambiente marino che si presenta con guscio a forma circolare ma più allungato rispetto agli esemplari dell'*Ammonia planispirale* evoluta con 6-12 camere nell'ultimo giro. Il contorno è lobulato, il profilo gonfiato con lati paralleli, e la periferia largamente arrotondata. Le suture curve all'indietro, leggermente depresse, diventano più depresse e larghe vicino alla regione ombelicale. L'ombelico si mostra depresso ed è occupato da papille. La caratteristica principale che permette di riconoscere meglio questo taxon è la perfetta identità tra il lato dorsale e il lato ventrale.

²¹⁰ Jorissen, 1988; Debenay *et alii*, 2000; Murray, 2006.

²¹¹ WoRMS - World Register of Marine Species - *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny, 1839) - <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=418095>

²¹² Carboni *et alii*, 2009; Coccioni *et alii*, 2009; Barbieri e Vaiani, 2018.

²¹³ WoRMS - World Register of Marine Species - *Haynesina germanica* (Ehrenberg, 1840) - <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=113294>

Per quanto riguarda l'ambito di distribuzione è una delle specie dominanti degli ambienti salmastri e in particolare delle aree più interne, confinate e centrali delle lagune mediterranee influenzate da apporti di acqua dolce²¹⁴, ma anche marine, e contraddistinte da fondali argillosi ricchi di sostanze organiche²¹⁵. Inoltre l'*H. germanica* è una buon proxy per l'inquinamento dal momento che viene considerata come specie molto tollerante e reagisce all'ambiente lagunare contaminato, ad esempio da metalli o da rifiuti urbani, sviluppando delle caratteristiche anormali.

Prime considerazioni dalle analisi paleontologiche

La prima indicazione che deriva dal dato della meiofauna è l'individuazione chiara e netta di tre intervalli in cui si può ripartire la carota NR1.

Il primo intervallo comprende il sedimento da -121 a -176. Il secondo intervallo corrispondente alla porzione centrale del sondaggio ed è infatti compreso tra -75 e -121 cm. Infine, il terzo intervallo va dalla superficie, ovvero dal suolo attuale, fino a -75 cm.

Questa distinzione deriva non tanto dal contenuto generale di fauna bensì dalla specifica presenza o assenza di meiofauna, quindi di ostracodi e di foraminiferi bentonici (Fig.38).

In particolare, è stato possibile determinare la presenza di questi organismi fossili di medie dimensioni e in associazione soltanto all'interno del deposito sedimentario centrale. Né sopra né sotto questo intervallo abbiamo infatti evidenze di meiofauna bentonica. Perciò, in considerazione di questo dato, di seguito verrà fatto riferimento esclusivamente al momento geomorfologico ed ecologico corrispondente a tali strati centrali e si tenterà di dedurre il quadro ambientale generale con le dinamiche correlate. Nel perseguire tale scopo è possibile cogliere molto bene come l'utilizzo combinato delle due tipologie di microfossili, quali indicatori, e la loro conseguente analisi quantitativa, tramite conteggio anche applicando un approccio statistico, sia sempre consigliabile.

La seconda indicazione che acquisiamo esaminando il contenuto in meiofauna riguarda l'elevato numero di individui e l'associazione faunistica degli assemblaggi: infatti, abbiamo una tipica associazione salmastra oligotipica e, pertanto, per il contesto norense possiamo affermare di essere di fronte a un caso standard e da manuale. Anche per quest'ultimo motivo, tutte le conclusioni che verranno qui asserite sono verificate sia alla luce delle caratteristiche intrinseche e peculiari dei taxa considerati sia in considerazione di altri esempi presenti nella letteratura edita.

Il contesto doveva essere, quasi indubbiamente, sommerso e contraddistinto da acqua salmastra, ossia

²¹⁴ Debenay *et alii*, 2000; Carboni *et alii*, 2009; Barbieri e Vaiani, 2018.

²¹⁵ Melis e Covelli, 2013.

caratterizzato né da apporti solo dulciacquicoli né completamente marini. Non vi erano perciò grandi influenze né da terra né da mare. La presenza in quantità abbondante se non prevalente, tra gli esemplari di ostracodi riconosciuti, della *C. torosa* indica sicuramente un ambiente salmastro a salinità variabile e con un fondale o substrato poco profondo non solo sabbioso ma anche fangoso, per cui costituito da argilla e limo come viene confermato dalla composizione e dalla granulometria del nostro sedimento. Tuttavia, nonostante la *C. torosa* sia in grado, quale specie eurialina e opportunistica, di sostenere variazioni di salsedine talvolta molto accentuate, sopportando bene sia l'aumento sia la diminuzione della salinità, possiamo escludere con certezza che il contesto fosse prettamente dulciacquicolo dal momento che non sarebbe stato tollerato né dai taxa di foraminiferi bentonici riscontrati né dall'altra specie di ostracode accompagnatrice più comune individuata: infatti, da un lato l'*H. germanica* è tipica di acque poco profonde e di ambiente marino dominante in zone interne e confinate con modesti apporti di acqua dolce, dall'altro la *L. elliptica*, che è una specie non eurialina ma più precisamente salmastra/brackish e d'acqua stagnante e poco profonda, possiede una larga tolleranza alla salinità e, di conseguenza, testimonia un contributo importante e considerevole del mare. Se quindi l'ambiente umido non era unicamente determinato dall'incidenza delle acque dolci non era neanche completamente marino e aperto ma anzi, come suggeriscono sia l'*A. tepida* sia l'*A. parkinsoniana*, doveva essersi formato in condizioni tranquille e riparate tanto da diventare sia poco contaminato sia ricco in sostanza organica.

In merito all'idrodinamismo, sulla base della lieve e poco pronunciata ornamentazione, percettibile solo dai tubercoli fenotipici e dall'esoscheletro puntinato, delle forme allungate e della bassa diversificazione delle caratteristiche morfologiche dei carapaci, l'area sembra essere stata condizionata da bassa energia con poco moto ondoso. Inoltre, l'aspetto trasparente e lo stato molto fragile dato soprattutto da uno spessore esiguo del carapace delle valve degli ostracodi e dei gusci dei foraminiferi da un lato indicano una composizione e disponibilità bassa di carbonato di calcio nell'ecosistema e dall'altro avvalorano l'ipotesi di un ambiente fitale a bassa energia.

In accordo con tutte le informazioni che abbiamo è possibile quindi immaginare nell'area studiata per l'intervallo di profondità compreso dai -121 cm fino alla quota di -75 cm rispetto al suolo attuale l'esistenza di una laguna, in cui avveniva un afflusso continuo ma ineguale di acqua dolce e salata. Come le lagune, anche i laghi costieri e gli estuari sono ambienti salmastri nei quali domina la *C. torosa* ma dobbiamo escluderli per la nostra attuale ricostruzione dal momento che l'associazione non avviene con altri ostracodi salmastri-marini bensì con taxa dulciacquicoli-ipoalini.

Sulla base dei conteggi, chiaramente riportati nel log (Fig. 38) e nella tabella 5, si può notare, accanto alla presenza prevista e costante della *C. torosa* accompagnata dalla *L. elliptica*, una significativa variazione quantitativa dei foraminiferi bentonici, i quali, in accordo con altri studi per le lagune

situate ai margini del mare, sono rappresentati proprio da esemplari di *A. tepida* – *A. parkinsoniana* e *H. germanica*. Il numero di queste due specie non solo cambia con la profondità ma queste tra loro si rapportano anche in modo inversamente proporzionale, ovvero all'aumentare di una diminuisce l'altra. Entrambe queste constatazioni suggeriscono una trasformazione graduale ma significativa dell'ambiente sommerso e del rapporto con il mare.

Partendo dal basso stratigrafico, da -121 fino a -105 cm, l'ambiente è soggetto a una forte transizione, ovvero diviene l'esito di un passaggio da una condizione emersa e asciutta a uno status sommerso e umido, in cui dominano due specie di microfossili eurialini: tra gli ostracodi la *C. torosa* e all'interno dell'assemblaggio dei foraminiferi la *H. germanica*. Scarsamente presenti sono invece la *L. elliptica* per gli ostracodi e l'*A. tepida* – *A. parkinsoniana* per i foraminiferi bentonici. Di fatto questa associazione lascia supporre l'esistenza di un contesto, per questo primo periodo, confinato. Ciò implica che vi era sicuramente uno scambio e un collegamento con il mare ma ridotto. Di conseguenza, a livello geomorfologico, se effettivamente vi era, come teorizzato, una laguna questa doveva probabilmente essere aperta in connessione con il mare ma molto interna e caratterizzata da un fondale basso e argilloso-limoso.

A seguito di un'ulteriore modificazione, verosimilmente dovuta più a fattori naturali che antropici, a partire da -105 fino a -75 cm l'ambiente rimane sommerso ma caratterizzato da un diverso rapporto con gli altri elementi del paesaggio. Innanzitutto vediamo come la percentuale di *C. torosa* rimane inalterata e alta mentre vi è un lieve aumento della *L. elliptica* per gli ostracodi; secondariamente tra i foraminiferi si nota chiaramente un incremento dell'*A. tepida* – *A. parkinsoniana* con diminuzione dell'*H. germanica*. Questi due taxa sono infatti presenti in numero inversamente proporzionale. Specifichiamo, inoltre, che, come si è osservato nelle slide dopo il piccaggio nonostante non sia stata fatta per scelta di studio una distinzione nei conteggi complessivi, la specie dell'*A. tepida*, riconoscibile per il bottone aperto, è presente in quantità maggiori rispetto all'*A. parkinsoniana*, con bottone chiuso. All'interno di questa porzione di sedimento la crescente presenza dell'*Ammonia tepida*, che da un lato come in altri contesti di studio è di molto maggiore in percentuale rispetto alla specie accompagnatrice e dall'altro è una specie comune e generalmente presente in ambienti salmastri con bassa salinità, sembra indicare in realtà un'ulteriore chiusura dello spazio salmastro rispetto al mare

Come già accennato, per la medesima area sia gli strati inferiori sia quelli superiori a questo intervallo sono emersi. Tuttavia, dapprima la sommersione dell'area emersa con la formazione di una laguna poco profonda a quota -121 cm e successivamente l'emersione della stessa zona alla profondità di -75 cm costituiscono due grandi cambiamenti ecologici e geomorfologici e, in particolare, l'emersione dovette avvenire in modo rapido e abrupto. Possiamo però anche sostenere con sicurezza, data la

totale assenza di microfossili appartenenti alla meiofauna in tali intervalli, che non vi è stata una transizione graduale tra i contesti ambientali diversi ma il passaggio è stato abbastanza netto. Il prossimo proposito consiste quindi nell'inquadrare cronologicamente questi strati e questi intervalli attraverso le datazioni ottenute dalle analisi al radiocarbonio e capire cosa sia avvenuto, tentando di comprendere se le cause sono esclusivamente naturali, legate addirittura alla variazione del livello del mare, oppure se sono da imputare a un impatto antropico.

Primi risultati relativi al contenuto pollinico

Bisogna sottolineare ed anticipare che le analisi polliniche rappresentano un tipo di ricerca ad altissima risoluzione e piuttosto elaborata e lunga, soprattutto a causa della complessità delle tecniche di trattamento chimico-fisiche, del procedimento metodologico standard seguito, del grado di conservazione e quindi dell'individuazione del materiale pollinico tramite l'osservazione al microscopio. Conseguentemente, avendo tenuto presenti le diverse difficoltà, sono stati trattati, per volta, un numero di campioni ridotto e circoscritto limitatamente alla profondità o agli intervalli più interessanti ed utili ai fini della ricostruzione paleoambientale.

In questo lavoro verranno quindi presentati e descritti, per il momento, i primi risultati, limitati ma molto incoraggianti, relativi a una serie di campioni della carota NR1 per abbozzare, nel prossimo capitolo, una prima ricostruzione paleovegetazionale. Anticipiamo, però, che lo scenario ecologico e vegetazionale fin qui emerso potrà essere dettagliato e verificato, al fine di ottenere un record pollinico definitivo e pubblicabile, grazie a una maggiore disponibilità di tempo e ad ulteriori indagini e trattamenti in programma sia su altri campioni prelevati dal medesimo sondaggio NR1 sia su campioni del sondaggio NR3.

Innanzitutto, anche questa tipologia di analisi ha permesso di suddividere l'intera successione stratigrafica della carota in intervalli in base alla presenza o all'assenza di contenuto pollinico. Sono state perciò individuate complessivamente quattro palinofacies o intervalli pollinici: a partire dal basso stratigrafico vi è un primo intervallo sterile fino a -150 cm, da -150 a -70 cm rispetto al piano di campagna un secondo intervallo ricco di polline, i campioni prelevati successivamente non hanno mostrato un contenuto pollinico ad esclusione di un campione a -4 cm, portando così a distinguere altre due unità (Fig. 41). Sottolineiamo, inoltre, che un elemento che ha aiutato molto l'identificazione e l'esame, sia quantitativo sia qualitativo, dei granuli è stato il tasso percentuale presente all'interno dei campioni con polline. A ragione di ciò, infatti, la concentrazione pollinica dei campioni compresi nell'intervallo pollinico è abbastanza buona e in alcuni è perfino superiore a migliaia di granuli per grammo (10000 granuli/grammo).

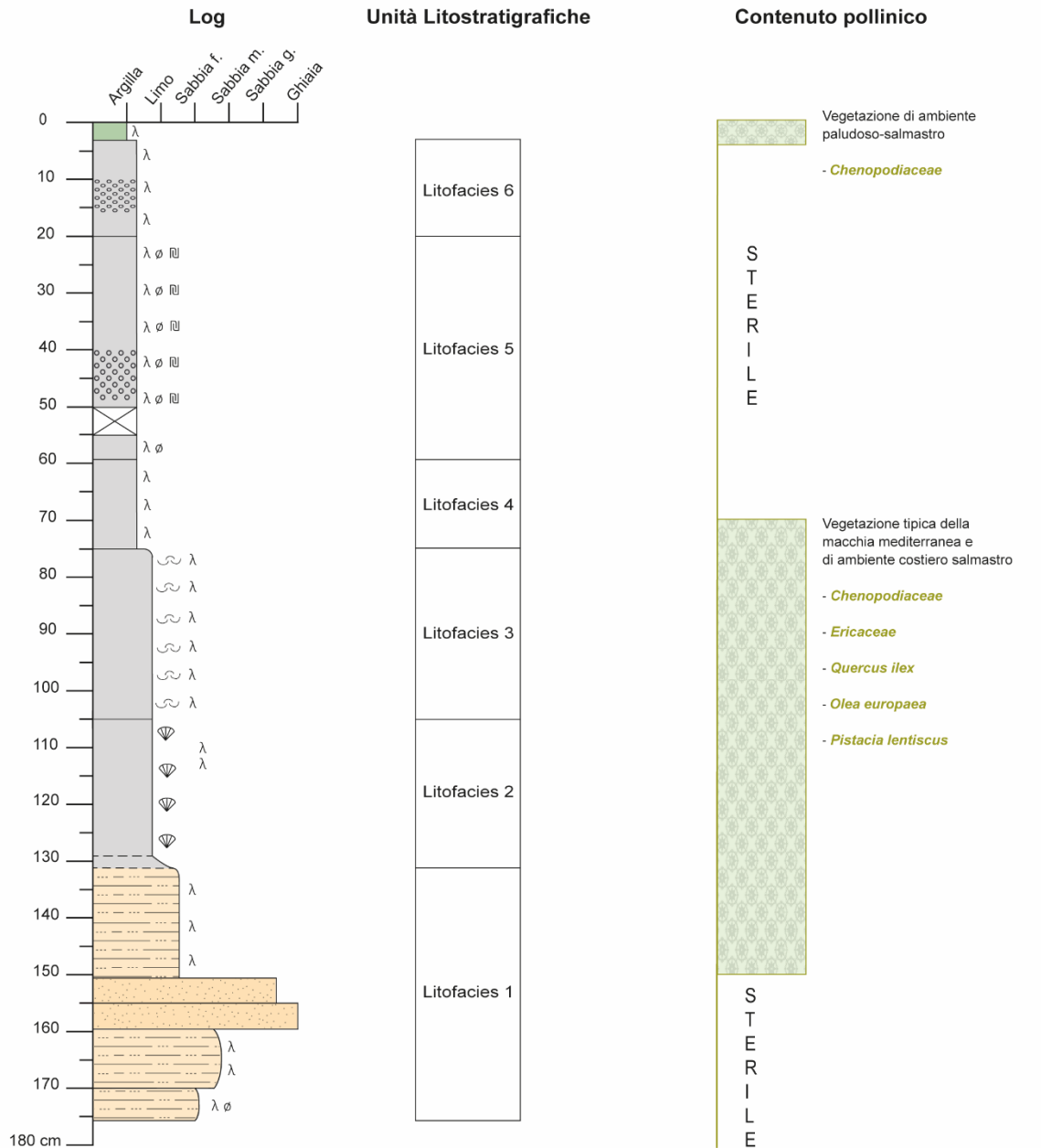
Per quanto riguarda lo stato di conservazione dei granuli pollinici osservati questo è molto variabile tanto è vero che alcuni ben visibili hanno presentato un buono stato di preservazione, invece, altri granuli, contenuti in qualche campione dell'intervallo con polline, hanno mostrato un discreto stato di conservazione ed è stato possibile distinguerli per dei segni di corrosione. In generale, è però anche possibile aggiungere che non vi è stata né una corrosione particolare e mirata su granuli di specie con esina meno resistente né la formazione di livelli stratigrafici caratterizzati da una marcata preservazione selettiva dei granuli pollinici resistenti alla corrosione.

In seguito all'estrazione dal sedimento si è proseguito, seguendo la metodologia di routine per praticità e precisione, con l'osservazione accurata dei granuli, che hanno in media dimensioni intorno ai 30 μm , e il riconoscimento dei taxa al microscopio ottico. Ai fini del riconoscimento palinologico al microscopio, sono sempre rilevanti le dimensioni, la polarità, la forma, le caratteristiche della superficie esterna del granulo, e, in particolare, l'architettura della parete pollinica: termine proposto da Walcker e Doyle (1976) per includere tutti gli aspetti della morfologia della parete pollinica come la stratificazione, la struttura e le sculturazioni. A seguito di tutti gli attributi appena elencati il laboratorio di Archeobotanica e Palinologia del Dipartimento di Biologia Ambientale della "Sapienza" ha redatto una preliminare biodiversità floristica che, per ora, è rappresentata da quasi 50 taxa, tra i quali troviamo non solo Granuli pollinici di piante terrestri, Granuli pollinici di piante acquatiche ma anche Palinomorfi non-pollinici (NPP), ovvero particelle di dimensioni comprese tra 5 e 500 μm che possono essere rinvenute nelle rocce sedimentarie o, soprattutto, nei sedimenti e composte di materiale organico di origine continentale, marina oppure di microresti di organismi. Sulla base dei tipi pollinici principali, sicuramente trasportati e depositati dal vento quale agente primario, domina una vegetazione tipica della macchia mediterranea di ambiente costiero: le legnose sono rappresentate solamente dal *Quercus ilex* sempreverdi, *Olea europaea* e *Pistacia lentiscus* mentre le erbacee sono costituite dall'*Ericaceae*, che sono una tipologia tipica e molto presente dell'area mediterranea, e le *Chenopodiaceae*, che sono piante tipicamente di ambiente salt-marsh e tidale come la *Salicornia* o la *Sarcocornia* (Fig.42). Queste ultime, dal momento che sono piante erbacee legate ad aree umide, sono sempre presenti nei campioni trattati e, in considerazione del fatto che le piante legnose sono poco rappresentate, indicano in modo puntuale l'esistenza passata, molto simile a quella attuale, di un'area aperta caratterizzata da boscaglie e a margine di queste soprattutto da una rigogliosa vegetazione salmastra di ambiente lagunare o comunque paludoso. Complessivamente dall'esame palinologico si è messa in luce una identità tra l'ambiente antico e la situazione attuale intorno all'area.

È molto interessante appurare che vi è una concordanza tra il dato palinologico e il dato micropaleontologico, ovvero con la facies lagunare. L'ambiente salmastro lagunare ha quindi

rappresentato il bacino deposizionale sedimentario in cui il polline non solo si è depositato ma si è anche ben preservato.

Sondaggio NR1



Legenda:

- | | | | | |
|------------------|--|-----------------------------|--------------------------|---|
| Argilla e Limo | Argilla e Limo con elementi sabbiosi-ghiaiosi sparsi | Suolo attuale | λ Resti Vegetali | Gasteropodi/Bivalvi |
| Mancato recupero | Limi sabbiosi-sabbia limosa | Matrice sabbiosa con ghiaio | \emptyset Screziature | Frammenti conchigliari |
| | | | — Passaggio Netto | Ossidi/Frazione Minerale |
| | | | - - - Passaggio Graduale | Pollini di vegetazione mediterranea salmastra |

Fig. 41. Log del sondaggio NR1 con indicazione degli intervalli palinostratigrafici, ovvero dei livelli sedimentari contenenti polline, e dei taxa principali riconosciuti. Come si vede la maggior parte si trovano alla profondità compresa tra -150 e -70 cm. Elaborazione di Di Rita e Venturoli, 2022.

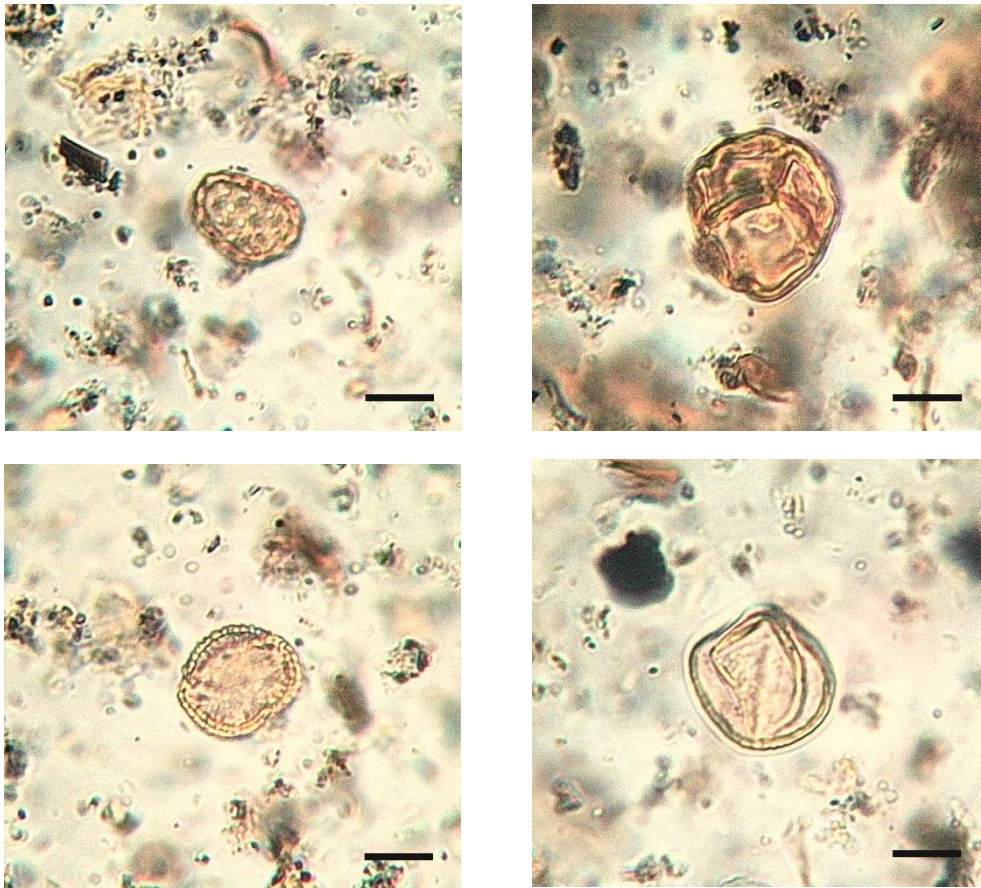


Fig.42. Foto di granuli pollinici, visti al microscopio, più rappresentativi della sequenza pollinica della carota NR1. In alto a sinistra: granulo di Chenopodiaceae; a destra: granulo di Ericaceae. In basso a sinistra: granulo di Olea; a destra: granulo di Quercus ilex sempreverde. La barra nera indica il rilevamento micrometrico di 10 micron. Foto e riconoscimento ad opera di Di Rita, 2022.

Datazioni al radiocarbonio (C14): ipotesi di lavoro e risultati complessivi

I dati grezzi, ossia le date radiocarboniche non calibrate, vengono solitamente indicate come età al carbonio-14 ed espresse in anni BP (Before Present), calcolati a ritroso a partire dal presente, il quale è convenzionalmente assunto attualmente all'anno 1950 d.C. Tali date devono essere sempre pubblicate insieme a quella calibrate, nelle relazioni scientifiche, perché più vicine ai raw data in quanto non ancora manipolate statisticamente tramite il processo di calibrazione

Le datazioni corrette sono poi fornite, dopo la calibrazione, sia come cal BP sia espresse come date calendaristiche in anni a.C. o BC e d.C. o AD, ma si deve ricordare che sono sempre affette da errore statistico o deviazione standard, indicata con il simbolo \pm .

Come possiamo quindi osservare dalla tabella seguente, che riporta in dettaglio i risultati relativi alle analisi al radiocarbonio, il nostro set di datazioni inerente al sondaggio NR1 ha dato un esito abbastanza ad alta precisione dal momento che l'errore, considerato prima del processo di

calibrazione, si è stabilito in media intorno ai ± 30 anni. Difatti, sottolineiamo, a titolo di confronto, che ottenere delle date ad alta precisione significa che queste sono affette da un errore realistico di soli ± 20 anni per cui, dopo la calibrazione, è possibile generalmente datare il campione entro 100 anni o meno. In alternativa alle analisi radiocarboniche, che da un lato sono dispendiose e dall'altro richiedono tempi lunghi di elaborazione, gli archeologi usano date multiple dello stesso campione per ottenere date medie con una deviazione standard minore.

Come illustrato nel capitolo concernente le diverse analisi effettuate, i campioni organici sono stati inviati a differenti laboratori, i quali hanno restituito le proprie datazioni in momenti diversi. La scelta di appoggiarsi per le analisi al carbonio-14 a più laboratori, indipendenti o affiliati all'ambito universitario, e in questo modo a più team di specialisti, è un ulteriore elemento di controllo e conferma dei risultati, i quali se vanno a coincidere, come nel nostro caso di studio, permettono di avere a disposizione un dato solido e verificato. Ad esempio, il primo set di datazioni ricevuto è stato successivamente confermato dalle ultime date ottenute, le quali sono state successivamente tutte calibrate mediante software Calib 8.1 con la curva di calibrazione INTCal 13 (Tabella 7).

Sondaggio	Profondità (cm)	Campione analizzato	Età C14 (BP) con errore	Età C14 (cal BP) con errore	Età cal BC	Elevazione
NR1	25 cm	<i>Sedimento organico</i>	2664 \pm 30	2794 \pm 27	899-792	-0,25 m
NR1	38 cm	<i>Sedimento organico</i>	3613 \pm 37	3956 \pm 62	2131-1882	-0,38 m
NR1	56 cm	<i>Sedimento organico</i>	3538 \pm 29	3801 \pm 51	1954-1750	-0,56 m
NR1	68 cm	<i>Sedimento organico</i>	2394 \pm 29	2402 \pm 44	496-408	-0,68 m
NR1	77 cm	<i>Sedimento organico</i>	2461 \pm 30	2525 \pm 86	661-489	-0,77 m
NR1	91 cm	<i>Sedimento organico</i>	2754 \pm 29	2803 \pm 29	882-824	-0,91 m
NR1	113 cm	<i>Sedimento organico</i>	2886 \pm 29	2954 \pm 95	1099-909	-1,13 m
NR1	130 cm	<i>Conchiglia</i>	3439 \pm 31	3242 \pm 98	1390-1194	-1,3 m
NR1	138 cm	<i>Legno</i>	3520 \pm 30	3428 \pm 27	1505-1451	-1,38 m
NR1	154 cm	<i>Carbone</i>	3827 \pm 29	4248 \pm 76	2374-2222	-1,54 m
NR1	164 cm	<i>Sedimento organico</i>	3910 \pm 30	4332 \pm 43	2425-2339	-1,64 m

Tabella 7: Set di datazioni dalle analisi ^{14}C della carota NR1. Elaborazione di Vacchi e Venturoli, 2022.

Così come vale il principio per cui una sola data non è una data, ovvero non è sufficiente e ne serve più di una, allo stesso modo per un'area estesa e complessa un unico carotaggio, nonostante le approfondite indagini programmate e compiute, non è sufficiente. Questo lavoro, ricordiamo, è stato pensato per focalizzarsi espressamente e specificatamente sul primo sondaggio NR1 della campagna di carotaggi 2021, tuttavia è necessario precisare che in contemporanea all'analisi di questo sono stati esaminati anche gli altri sondaggi e in particolare la carota NR3 che ha restituito per il momento, anche se è ancora in fase di analisi, delle date comprese dal 1800 al 2600 BP.

Ritornando al sondaggio NR1, dal punto metodologico, per prima cosa si è cercato di individuare una sequenza relativa interna alla carota sulla quale poter disporre i campioni in modo che l'unità più bassa abbia la data più antica e pertanto realizzare una verifica interna sulla coerenza o meno sia dei risultati determinati in laboratorio sia della qualità del campionamento condotto in campo.

Complessivamente possiamo affermare che, a partire da materiale organico vario, comprendente legno, carbone, sedimento organico e conchiglie, prelevato lungo tutta la carota, i dati ottenuti sono buoni. Disponiamo infatti di ottime date dalla base della carota fino a circa alla profondità di -68 cm (Fig. 43). La porzione superiore della carota tra -56 cm e 0 cm, ovvero appartenente all'alto stratigrafico e comprendente sia l'intervallo tra -55 e -50 cm di mancato recupero del sedimento sia lo strato di suolo attuale, ha dato invece delle inversioni nelle datazioni dovute probabilmente a contaminazione o più probabilmente al rimaneggiamento del sedimento, ipotesi che verrà esposta meglio più avanti (Fig. 44).

Il dettaglio positivo che fin da subito risalta ad una prima valutazione dei dati è che i campioni e, quindi, le date ricavate da essi ci confermano i bassissimi tassi di sedimentazione nella zona. Inoltre, le date danno età comprese tra il 2400 BC, ovvero il III millennio, il II millennio e l'epoca antica, coincidente con il I millennio, confermando che è stato possibile con un carotaggio manuale intercettare pienamente la fase prenuragica, nuragica, quella fenicio-punica e il momento di passaggio tra l'occupazione punica e la prima parte della dominazione romana.

In merito ai risultati, all'interno della porzione inferiore del sondaggio corrispondente con il basso stratigrafico, dalla massima profondità raggiunta, equivalente a -176 cm, fino a -121 cm sono stati raccolti vari campioni di diversa natura. In particolare i campioni di sedimento organico a -164 cm, di carbone a -154 cm, di legno a -138 cm e di materiale conchigliare a -130 cm hanno consentito di datare gli strati sia al III millennio sia al II millennio ovvero dall'età del Rame fino all'età del Bronzo Antico, Medio e Recente, corrispondenti quindi per la Sardegna al periodo sia prenuragico sia pienamente nuragico. Questi sono quindi gli strati più profondi e, come era corretto aspettarsi dalle analisi radiocarboniche che hanno confermato la sequenza relativa e stratigrafica della carota, più antichi.

L'intervallo centrale del sondaggio, compreso fra -121 cm e -75 cm, è stato interessato dal prelievo di tre campioni di sedimento organico alle quote -113 cm, a -91 cm e a -77 cm. Il primo risultato certo è che le datazioni ottenute si riferiscono in primo luogo al periodo fenicio, ovvero alla precolonizzazione di gruppi alloctoni provenienti dal Oriente e alla prima frequentazione stabile fenicia dell'area, e in secondo luogo alla successiva occupazione punica.

L'ultima porzione della carota da -75 a 0 cm, ubicata nella parte alta del deposito, dal punto di vista stratigrafico, è stata campionata in quattro punti siti alle quote di profondità di -68 cm, -56 cm, -38

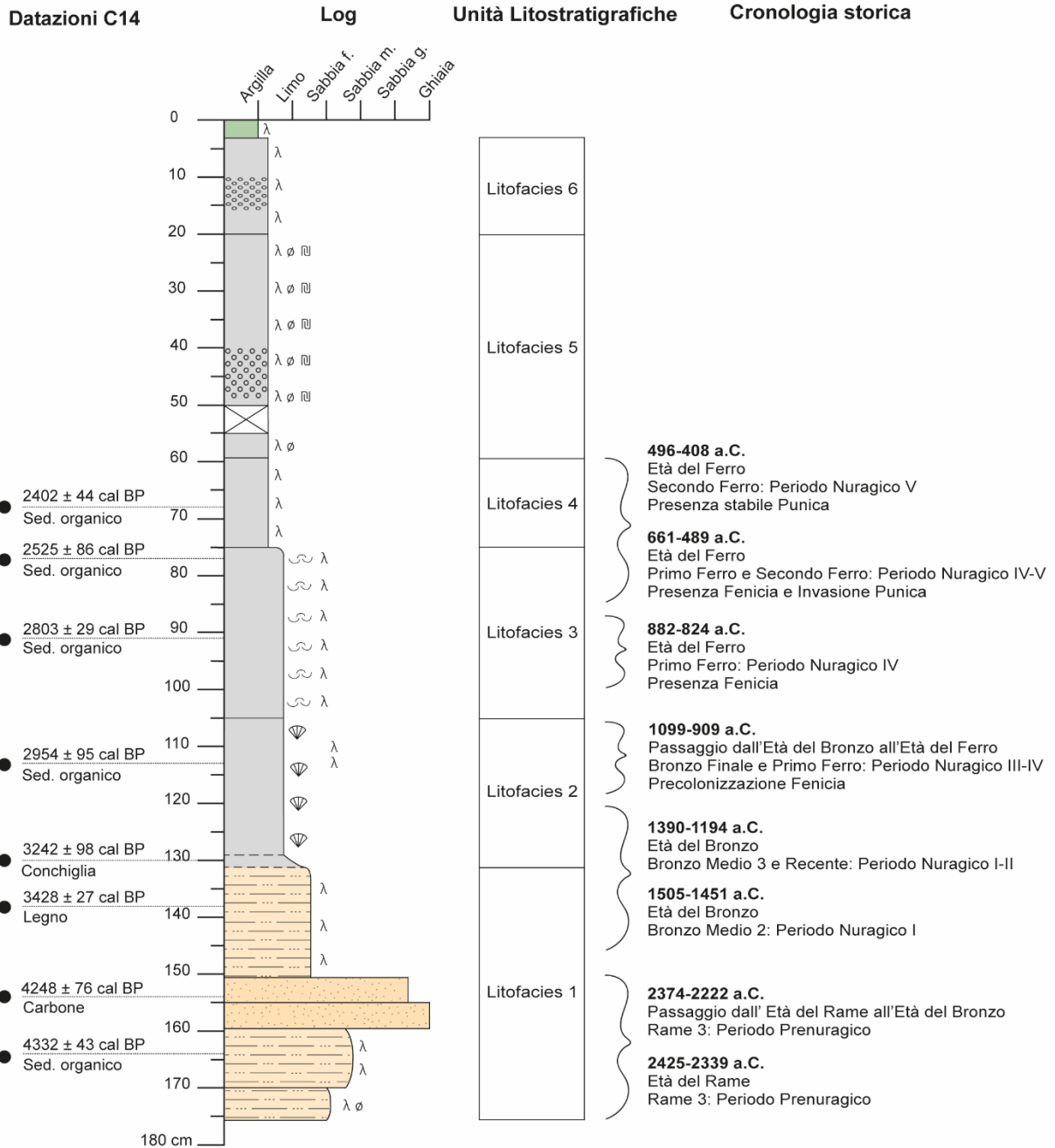
cm e -25 cm. Anche in questa occasione, durante il campionamento, si è scelto di prelevare tramite una lama pulita unicamente sezioni di sedimento organico, il quale offre la possibilità di essere datato in tre modi differenti a seconda della quantità e della qualità. In particolare, dopo il setacciamento dei sedimenti a 180 µm si può scegliere di datare solo la frazione organica rimasta oppure la frazione solubile in alcali, detta anche frazione unica, oppure unicamente la frazione insolubile in alcali. Tuttavia, esclusivamente la data ricavata dal campione a quota -68 cm e riferita all'età punica è stata valutata buona e ancora correttamente verificata grazie alla sua posizione all'interno della stratificazione. Le altre tre date ricevute dalle analisi al ^{14}C dei campioni contenuti ed estratti dagli ultimi 60 cm verso l'alto stratigrafico sono invece fin da subito apparse errate dal momento che hanno restituito dei risultati più antichi del previsto.

La prima giustificazione che si può dare riguarda la fase e le operazioni di campionamento in cui, nonostante le basse probabilità, non è possibile escludere che vi sia stata una qualche contaminazione dei materiali. D'altro canto, prima di giungere a delle conclusioni troppo affrettate e scartare quindi questi dati cronologici, è imprescindibile aver indagato e studiato preventivamente il territorio in esame non solo dal punto di vista geomorfologico ma anche storico e antropico. Difatti le ragioni di una così evidente inversione nelle datazioni possono essere ricondotte alla storia archeologica dell'area, che sebbene fosse comunque esterna alla città antica era sicuramente ad essa funzionale. Nella tabella sono inoltre riportati i dati relativi all'elevazione, la quale corrisponde alla profondità della carota rispetto al datum geodetico di riferimento che, nel nostro caso, è il datum geocentrico WGS84 (World Geodetic System, 1984).

L'uso dell'altitudine del piano campagna rispetto al livello medio mare (lmm) e dell'elevazione considerata insieme alle facies datate – e, nello specifico per questa carota, insieme alla facies lagunare che risulta collocata all'interno dell'intero sondaggio in una posizione davvero poco profonda come evidenziato dai dati della meiofauna e dei pollini – è particolarmente importante per dedurre il livello relativo del mare (RSL). Perciò, un record affidabile della variazione del livello del mare può essere elaborato solo sulla base di una buona conoscenza della natura dell'ambiente sedimentario in esame, della tipologia del sedimento e delle sue alterazioni ed evoluzioni, le quali vanno collocate in un solido quadro cronologico.

Chiaramente, dal momento che una ricerca di questo livello richiede la raccolta di campioni di informazioni da più carote per avere un quadro completo, i dati qui presentati derivano principalmente dall'indagine del sondaggio NR1 ma sono integrati anche dalle nuove acquisizioni ottenute dall'analisi della carota NR3 e sono potenzialmente rappresentativi della stabilità oppure dei cambiamenti sedimentari dell'area a scala locale.

Sondaggio NR1



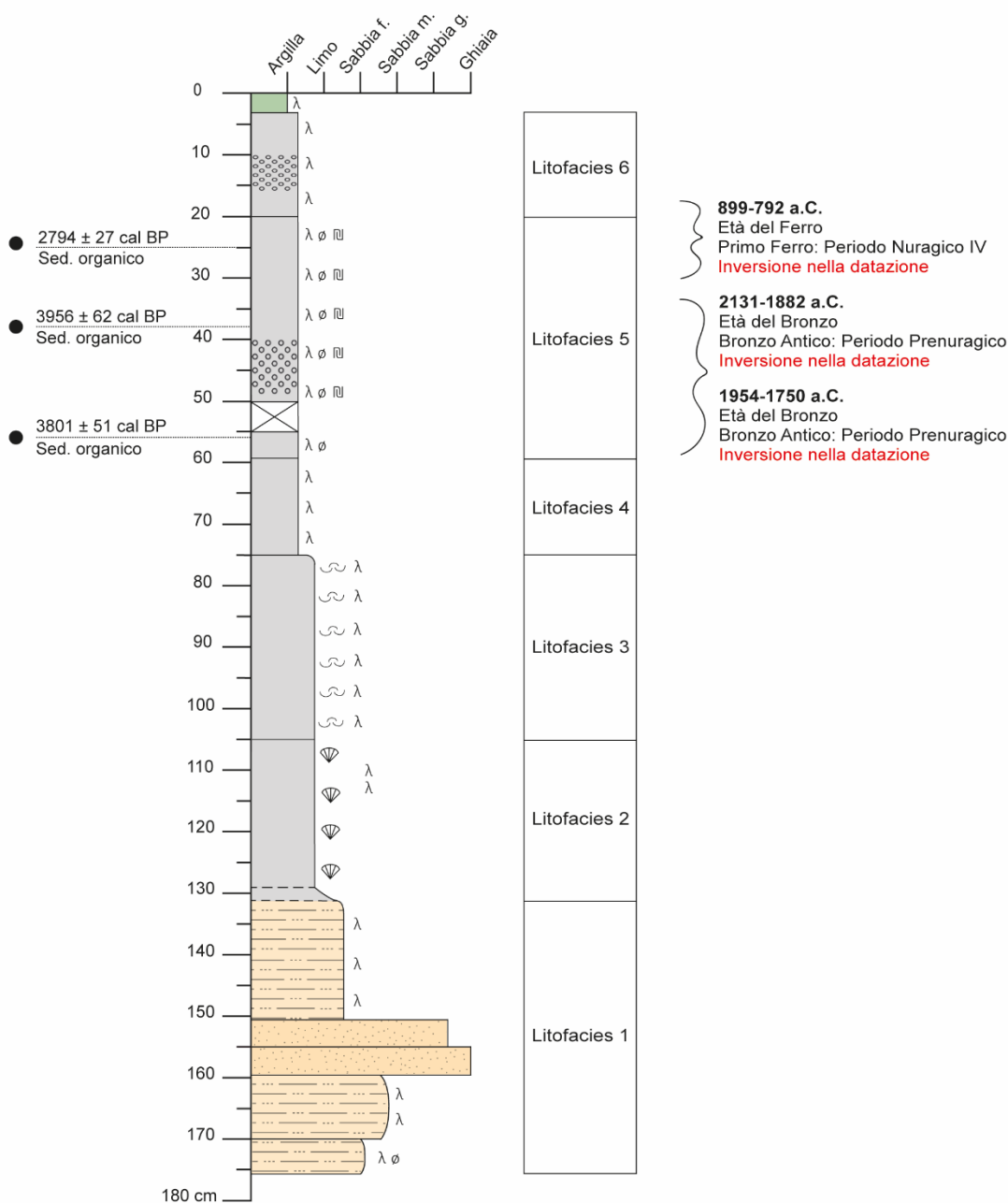
Legenda:



Fig.43. Log del sondaggio NR1 con indicazione della tipologia e della profondità dei campioni, costituiti da sedimento organico, materiale conchigliare, carbone e legno, prelevati per le analisi radiocarboniche. Le otto datazioni ottenute tra -60 e -176 cm si riferiscono alla fase nuragica, a quella fenicio-punica e alla prima parte del dominio romano. Elaborazione di Venturoli e Vacchi, 2022.

Sondaggio NR1

Datazioni C14 Log Unità Litostratigrafiche Cronologia storica



Legenda:

Argilla e Limo	Argilla e Limo con elementi sabbiosi-ghiaiosi sparsi	Suolo attuale	λ Resti Vegetali	Gasteropodi/Bivalvi
Mancato recupero	Limi sabbiosi-sabbia limosa	Matrice sabbiosa con ghiaio	∅ Screziature	Frammenti conchigliari
			— Passaggio Netto	Ossidi/Frazione Minerale
			- - - Passaggio Graduale	● Età C14 cal BP con errore

Fig.44. Log del sondaggio NR1 con indicazione della tipologia e della profondità dei campioni, in questo caso tutti costituiti da sedimento organico, prelevati per le analisi radiocarboniche. Tali campioni compresi tra 0 e -60 cm hanno dato delle inversioni nelle datazioni. Elaborazione di Venturoli e Vacchi, 2022.

Capitolo VI

Proposta di ricostruzione paleoambientale della laguna norense

Ipotesi dell'evoluzione paleoambientale dell'area

L'obiettivo principale del lavoro è la ricostruzione dell'ambiente passato a partire dall'area specifica in cui è stato realizzato il carotaggio sia per capire gli antichi rapporti con la laguna e il mare attuali sia per comprendere, correlando le informazioni con i dati archeologici, lo sfruttamento del territorio da parte dei diversi popoli che frequentarono più o meno stabilmente e occuparono con continuità la città antica di Nora. Questo studio rivolto al passato si rivela comunque molto attuale dal momento che aiuta, per un contesto avente una lunga storia passata e presente come Nora, a spiegare ed inquadrare i recenti cambiamenti e ad avanzare previsioni per il futuro. Entrambi gli approcci, il monitoraggio attuale e le indagini storiche e geologiche, insieme forniscono un quadro dell'influenza antropica sul sistema naturale e viceversa.

Innanzitutto, dall'osservazione del log stratigrafico realizzato sulla base dell'analisi della caratteristiche e del contenuto, sia del sedimento sia dei campioni, emerge una successione di ambienti e condizioni paleoecologiche diverse.

Prima di dare una descrizione più dettagliata, anticipiamo che fin da subito è stato immediato individuare tre macro intervalli o paleoambienti principali. Da un lato, entrambi gli intervalli, superiore e inferiore, suggeriscono una condizione asciutta priva dell'apporto sia di acqua dolce sia di acqua marina. Il contesto sia per l'alto sia per il basso stratigrafico si presenta quindi emerso e caratterizzato dal trasporto di materiale e dalle dinamiche deposizionali. Possiamo perciò fare riferimento al ciclo dei sedimenti e ai processi sedimentari la cui formazione è influenzata dalle condizioni ambientali: infatti, clima e vegetazione controllano la tipologia dell'alterazione, se fisica, chimica o biologica, e l'intensità del weathering. Dall'altro, l'intervallo centrale ha mostrato durante l'indagine non solo di essersi formato in ambiente umido e sommerso ma anche di essere stato influenzato da fattori diversi. Infine, aggiungiamo da subito una ulteriore importante informazione: i cambiamenti ambientali che si sono verificati, e quindi la sommersione prima alla profondità di -121 cm e la successiva emersione alla quota di -75 cm rispetto al suolo attuale della barena, sono avvenuti attraverso delle differenti modalità.

In merito ai risultati, derivati non solo dalle datazioni ma da un ragionamento esteso anche a tutti gli altri dati, dalle analisi litologiche, polliniche e paleontologiche del contenuto fossile in macrofauna e meiofauna, possiamo avanzare, confrontandoli tutti insieme, le prime interpretazioni ed ipotesi paleoambientali.

Per l'intervallo inferiore, tra i -176 e i -121 cm, anzitutto, sulla base sia della composizione sia del contenuto, è plausibile immaginare che i primi strati, compresi tra -176 cm e -132 cm e costituenti un'unica unità litostratigrafica si siano formati completamente in condizione tendenzialmente emersa in un arco temporale molto antico, tra l'età del Rame e l'età del Bronzo Antico e Medio. Tali depositi, composti da limi sabbiosi-sabbia limosa e da un livello più grossolano di sabbia e ghiaino, sono infatti molto simili dal punto di vista granulometrico e tessiturale dal momento che condividono una matrice sabbiosa e non contengono evidenze faunistiche bensì unicamente resti vegetali, apparati radicali e localmente screziature rossastre. Le screziature, in particolare, sono considerate indicatori di condizioni subaeree di formazione dell'orizzonte pedologico: infatti, da un lato in presenza di ossigeno e perciò in condizioni ossidanti o aerobiche il ferro precipita in composti insolubili formando le screziature o i noduli giallo-rossastri, dall'altro in presenza di acqua o di ristagno idrico e quindi in uno scenario riducente privo di ossigeno e di materia organica il ferro viene ridotto e diventa mobile. È dunque probabile che in un primo tempo l'area, con sedimento con tessitura moderatamente fine e una figura da ossidoriduzione in associazione con apparati radicali, fosse emersa ma forse caratterizzata da una condizione umida sul lungo periodo a causa dell'azione di una falda transitoria o permanente oppure a causa della difficoltà di drenaggio dell'acqua piovana da parte del terreno poco permeabile. In un secondo momento, gli strati formati successivamente risultano moderatamente grossolani, contenenti abbondanti resti vegetali e privi di acqua plausibilmente perché, essendo granulometricamente permeabili, questa viene rimossa rapidamente o la falda, se presente, è ormai piuttosto profonda.

A partire dalla quota di -132 fino a -121 cm, corrispondente dal punto di vista cronologico con l'età del Bronzo Medio e Recente si delinea il passaggio ad un ambiente salmastro suggerito dai pollini e ad una nuova litofacies (litofacies 2), poiché è chiaramente osservabile un cambio non solo nella granulometria ma anche nel contenuto fossilifero in molluschi, indice di una transizione ambientale graduale ma allo stesso tempo inequivocabile. È possibile ipotizzare la presenza ormai di ambiente di palude salmastra ma ancora emerso e subaereo. La presenza di argilla e silt indica che l'energia ambientale è bassa e quindi, contestualizzando il dato, vi doveva essere un bacino costiero almeno parzialmente protetto dal moto ondoso. L'integrazione del dato sedimentologico con quello relativo ai molluschi in associazione marino-lagunare, ovvero legata a dinamiche sia marine sia lagunari, ai pollini e alla meiofauna, in mancanza di altri dati e carotaggi vicini, ci dice che tale bacino è salmastro paludoso semi aperto con una presente ma limitata comunicazione con il mare. Se, infatti, il collegamento con il mare fosse stato più diretto e da questo l'area ne fosse stata maggiormente influenzata avremmo dovuto trovare molte più specie anche marino-salmastre nella meiofauna; invece, sono state individuate solo 4 specie tutte più o meno tolleranti ad oscillazioni di salinità ed

opportuniste. Inoltre sono stati riconosciuti, incorporati nel sedimento estratto, esemplari interi e ben conservati di grandi conchiglie appartenenti a molluschi di gasteropodi e bivalvi in associazione tipica da laguna aperta verso il mare. In modo analogo alla carota NR4, realizzata durante la campagna di ricognizione nell'anno 2020 nella medesima area, è presente in quantità prevalente come bivalve il *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789)²¹⁶, il quale è comune in ambienti sia lagunari sia marini e dominante in quelli lagunari; invece, a differenza del precedente sondaggio, quale gasteropode emerge in associazione da laguna aperta il *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778)²¹⁷, il quale è un indicatore esplicito di un ambiente bentonico influenzato dal mare. Dal punto di vista cronologico questo intervallo inferiore ed emerso è appunto molto antico e, infatti, i primi centimetri del deposito, fino alla quota di -150 cm, si sono potuti datare al Rame 3, ossia l'ultimo stadio dell'età del Rame o Eneolitico, che va dal 3400 al 2200 a.C. L'età del Rame è definita da una pluralità di elementi ed indicatori, che evidenziano ovviamente gli aspetti di discontinuità rispetto alle fasi precedenti, come le trasformazioni dell'industria litica scheggiata, della pietra levigata, della produzione ceramica, dell'economia primaria e delle tecnologie legate a questa con l'introduzione dell'aratro leggero e dei primi mezzi di locomozione a trazione animale sia con sia senza ruote, della ritualità funeraria con la nascita delle necropoli e quindi dell'ideologia, della religione e delle pratiche culturali. In modo particolare per la Sardegna, la fase del Rame 3, che si estende dal 2500 al 2200 a.C., corrisponde all'orizzonte di sviluppo sia della Cultura di Monte Claro, importata da gruppi allogeni e ben visibile in ambito funerario, sia del fenomeno di portata internazionale del c.d. "bicchiere campaniforme" che dà il nome alla Cultura omonima e con cui si designa l'insieme degli aspetti culturali, ovvero cultura materiale, funeraria, iconografia e ritualità cerimoniale, connessi alla presenza di questo particolare recipiente a campana rovesciata, di impasto molto fine e fitta decorazione geometrica a fasce orizzontali. Tuttavia, in ambito norense per questo periodo storico prenuragico appena descritto non abbiamo alcuna evidenza archeologica di frequentazione dell'area, né del promontorio né del territorio circostante. La stratificazione successiva, fino a -132 cm, si è formata in un ambiente sempre emerso e analogo a quello precedente durante le fasi iniziali dell'età del Bronzo. Di conseguenza, possiamo individuare una evidente stabilità ambientale della zona presa in esame sia nel momento di passaggio al Bronzo Antico, corrispondente ancora a un periodo prenuragico, sia durante il Bronzo Medio 1 e il Bronzo Medio 2, nei quali comincia a svilupparsi la civiltà nuragica, frutto della graduale evoluzione delle culture pre-esistenti già diffuse sull'isola sin dal Neolitico. Proprio nel corso del Bronzo Medio 2

²¹⁶ WoRMS - World Register of Marine Species - *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789), <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=138999>

²¹⁷ WoRMS - World Register of Marine Species - *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778) <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=139054>

si delinea a livello culturale la facies di Bonnanaro, regionalizzazione isolana della precedente cultura del “vaso campaniforme” con delle influenze provenienti dalla Cultura di Polada dell'Italia settentrionale, nella quale vengono eretti i primi protonuraghi. Il successivo cambiamento naturale e ambientale osservabile a partire dalla profondità di -132 cm fino a -121 cm sembra suggerire la formazione di un contesto paludoso salmastro semi-aperto sul mare e coincide sul piano temporale con le nuove dinamiche insediative e scelte culturali antropiche: infatti, questi differenti strati sono stati datati tramite datazione al radiocarbonio su conchiglia tra il Bronzo Medio 3 e il Bronzo Recente e sul piano archeologico sono riconducibili al periodo Nuragico I e II e alla facies sub-Bonnanaro. Ormai in tale fase, nonostante l'esistenza di centri e aree territoriali di aggregazione alternate ad altre più rarefatte, vi è un maggiore riguardo per l'organizzazione del territorio e una straordinaria densità insediativa con una distribuzione più omogenea e localizzata anche in nuovi spazi territoriali, senza però abbandonare definitivamente i vecchi insediamenti. Contestualmente a tali trasformazioni pure i terreni litoranei non vengono tralasciati nell'ambito delle scelte insediative, come attesta la presenza di torri e di villaggi presso le zone umide ai margini delle lagune in collegamento, grazie alla breve distanza, con il mare. In modo particolare anche alcuni nuraghi vengono costruiti nei pressi della costa e, a differenza di altre strutture o insediamenti isolati, sono collegati a un sistema territoriale dell'entroterra spesso tramite torri. Parimenti dal XII sec. a.C. sia nella penisola di Nora sia nel suo hinterland sono attestate le prime frequentazioni dell'area, grazie al ritrovamento ad esempio di ceramica nuragica sarda e dei tipici conci a “T” o ancora di un bronzetto nuragico, senza dimenticare che alcuni blocchi riutilizzati in strutture puniche-romane sono stati ricondotti a un possibile nuraghe sul Colle di Tanit. Per quanto riguarda invece il territorio, a soli 1,7 km di distanza dalla penisola nella piana di Pula e vicino alla costa in località Sa Guardia Mongiasa è stato messo in luce un sofisticato complesso nuragico, il quale non solo comprova una frequentazione antica e articolata dell'area ma costituirà successivamente anche un punto di contatto e relazione con i Fenici (Fig.45).

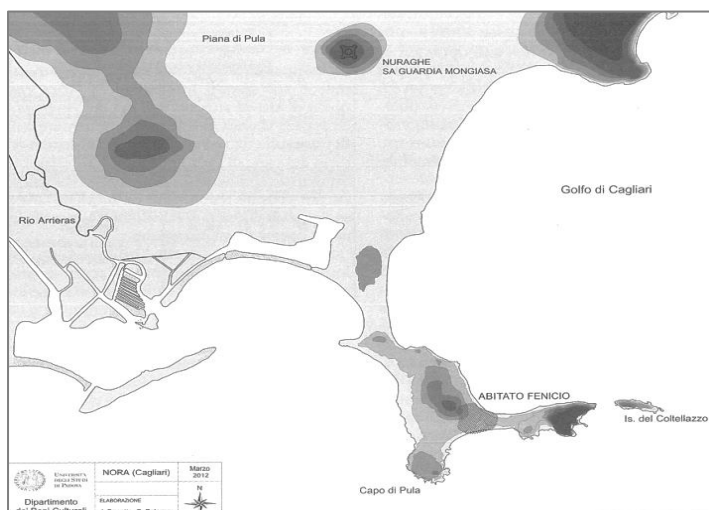


Fig.45. Carta della penisola norense e del suo territorio con indicazione della posizione e della distanza tra il nuraghe e l'abitato fenicio, in Bonetto, 2013.

Per l'intervallo centrale, tra i -121 e i -75 cm, lo scenario ecologico e ambientale, tramite un mutamento che è però graduale come lascia intendere il contenuto conchigliare, cambia nettamente e da emerso ora si presenta sommerso. L'aspetto interessante e oltremodo informativo deriva dal fatto che in questo unico intervallo si sono potute individuare due unità litostratigrafiche distinte, la litofacies 2 e la litofacies 3, che sono le sole di tutta la carota NR1 a contenere fauna. Difatti, mentre la tessitura argillosa-limosa, e quindi la granulometria fine del sedimento, rimane costante vi è invece una modificazione nella tipologia della meiofauna che suggerisce così non solo l'esistenza di due sotto-ambienti diversi ma anche di una evoluzione dell'ecosistema. Il primo contesto, corrispondente con la litofacies 2 e con i livelli sedimentari da -121 cm a -105 cm, contiene, oltre che qualche elemento vegetale, sia esemplari di gasteropodi e bivalvi interi appartenenti alla macrofauna sia ostracodi e foraminiferi bentonici della meiofauna. Sia il tipo di associazione e i rapporti quantitativi tra taxa della meiofauna sia la presenza in maggiore quantità di conchiglie indicano un ambiente confinato, una prima laguna interna, ma ancora in collegamento con il mare aperto, seppur in modo ridotto. Possiamo desumere che vi fosse quindi un ambiente lagunare di natura marino-salmastro. Il secondo contesto, invece, rispecchia la litofacies 3 estesa da -105 cm fino a -75 cm e si distingue per la presenza, accanto alla meiofauna, di frammenti conchigliari sparsi e di modeste dimensioni e di abbondanti resti vegetali. Pertanto, a parità di condizioni granulometriche mutano gli inclusi che ora non solo registrano un'ulteriore trasformazione ma vanno a definire un ambiente leggermente differente. In particolare, i microfossili come bioindicatori sono i traccianti più interessanti per specificare la modalità più o meno battuta dell'ambiente, la salinità, il tipo di connessione con il mare aperto o il grado di confinamento; la grande quantità di vegetazione sembra suggerire un ambiente palustre contraddistinto da piante perenni di tipo elofita; infine, i gusci dei molluschi e i frammenti conchigliari, che rappresentano infatti i fossili che rinveniamo a occhio nudo nel sedimento, sono utilizzati ampiamente come bioindicatori in ambienti di acqua salmastra, soprattutto perché possono sopravvivere a una maggiore dissoluzione rispetto ai gusci più piccoli della meiofauna e sono spesso più facili da trattare e identificare. Tuttavia, non sono esenti da limiti: in primo luogo, a causa delle loro dimensioni maggiori è necessario prelevare un volume maggiore di sedimento per ottenere un campione adeguato rispetto alla meiofauna e questo è spesso impraticabile, in particolare in carote di sedimenti; in seconda istanza il numero di individui potrebbe non essere sufficientemente alto per un'analisi statistica. Tutti gli elementi analizzati sembrano perciò suggerire l'originarsi di un'area paludosa e lagunare esclusivamente salmastra, interna e chiusa, poco profonda, caratterizzata da un basso fondale sempre argilloso-limoso e, in base all'abbondante meiofauna salmastra che ora domina gli assemblaggi, da una bassa salinità. Inoltre l'ambiente

risulta protetto, calmo e, essendo ormai precluso agli scambi con il mare, non interessato da idrodinamismo.

Possiamo quindi affermare che vi è stato sicuramente, nel passaggio da uno scenario emerso a sommerso, una modifica nei rapporti tra i diversi elementi del paesaggio ma non è avvenuta una variazione geomorfologica enorme. È invece maggiormente plausibile presupporre che vi sia stato probabilmente un paleo e particolare cambiamento nelle condizioni climatiche e/o di flusso, le quali abbiano portato tramite una trasgressione prima a inondare e poi a sommergere l'area, la cui quota di campagna, nel frattempo con il passare dei secoli, era anche costantemente salita a seguito di sedimentazione. Questa progressiva trasformazione dell'ambiente da semi-aperto e collegato con il mare a più confinato fino poi a una maggiore chiusura di natura lagunare-salmastra, presumibilmente a seguito di dinamiche paleocostiere e per la formazione e l'attivazione di un sistema di cordoni e barriere, è confermata da tutti i dati finora raccolti e analizzati: dalla litostratigrafia, dalla granulometria e dal contenuto, costituito da macrofauna, meiofauna, resti vegetali, ossidi, frazione minerale e pollini.

Dal punto di vista storico-archeologico, cercando di correlare tali mutamenti naturali con gli eventi storici contemporanei, il periodo è piuttosto lungo e abbraccia infatti vari secoli dal XI al V sec. a.C. con il passaggio dal II al I Millennio. Innanzitutto tra l'XI e il X sec. a.C. nel passaggio alla prima età del Ferro, alla pari della città antica di Tharros nella penisola del Sinis, avviene sicuramente l'incontro tra i Sardi nuragici e i primi gruppi di mercanti Levantini. I primi rapporti, nell'VIII e VII sec. a.C., tra la comunità nuragica insediata sul promontorio e l'abitato stagionale fenicio di natura emporica, pre-urbana e pre-coloniale si vanno a contestualizzare in un momento di grande cambiamento sociale: la civiltà nuragica si trova infatti nella sua età dell'oro e nel pieno sviluppo agli albori di quella che viene definita la stagione delle aristocrazie²¹⁸ mentre la comunità fenicia, che è in fase di formazione e di stabilizzazione sulla riva orientale nella penisola, senza per ora mostrare alcun interesse per il territorio suburbano, continua sempre a mantenere stretti legami tramite il mare e il commercio con la madrepatria. Per il momento, quindi, vi è solamente un avvicinamento culturale e una condivisione fisica del luogo di residenza mentre le mansioni economiche e le specialità lavorative di sussistenza rimangono separate ed indipendenti, tanto è vero che nella piana retrostante almeno fino a tutto il VII sec. a.C. non vi è attestato alcun intervento o strutturazione dell'hinterland agrario: questo implica che non vi è alcuna grande incidenza antropica e artificiale nell'entroterra e nella zona da noi esaminata.

Lo scenario occupazionale ed economico comincia a cambiare molto più significativamente tra il VI e il V sec. a.C. con l'inizio del controllo punico soprattutto dell'area circostante la laguna e della

²¹⁸ Moravetti, 2005.

pianura in cui poi sorgono fattorie e centri produttivi. Tuttavia per questa lunga fase, tutto il periodo fenicio e l'inizio di quello punico, da un lato le variazioni ambientali in accordo con le evidenze archeologiche sono molto limitate dall'altro non è ancora plausibile, per i mezzi posseduti e le necessità economiche o portuali, che vi fosse stato un intervento antropico impattante o condizionante il sistema ecologico antico, tanto da portare a una maggiore chiusura della laguna rispetto al mare e creare un ambiente prettamente salmastro confinato.

Nell'alto stratigrafico, da -75 cm al suolo attuale, il contesto ambientale cambia ulteriormente e in modo netto, il passaggio infatti avviene senza soluzione di continuità dal momento che vi sono differenziazioni date dalle modificazioni nella tessitura, che ora non è solo argillosa e limosa ma contiene anche elementi sabbiosi-ghiaiosi sparsi, e dal contenuto sia visibile a occhio umano sia al microscopico. Difatti tutti i dati osservati insieme all'assenza totale di fauna e allo sviluppo e ricomparsa di ossidi, frazione minerale e screziature con la costante presenza di resti vegetali sono una precisa indicazione di un ambiente sempre interno e chiuso, ossia confinato rispetto al mare, ma diverso dal precedente dal momento che si presenta emerso, subaereo e, in un primo momento, paludoso.

Possiamo, grazie alle datazioni, affermare e puntualizzare che questo grande cambiamento avviene sicuramente durante l'epoca punica nel V sec. a.C., in un momento di stabilità del centro urbano e di forte sviluppo a fini agricoli e produttivi dell'hinterland. La domanda, a cui è difficile al momento attuale dare una risposta ma alla quale è solo possibile rispondere con delle ipotesi, è cosa sia accaduto e, nell'eventualità che le cause non siano solo naturali, quanto sia stato sensibile e rilevante l'impatto antropico. Secondo una prima ipotesi tale trasformazione può essere giustificata da un'azione combinata di fattori idrodinamici, come ad esempio la variazione di marea, le correnti, le tempeste o la variazione del livello del mare, con i fattori climatici, i quali, ad esempio, determinano il rapporto precipitazioni/evaporazione. Tuttavia, una conversione dell'ambiente così marcata e puntuale, a differenza della precedente che era avvenuta in modo progressivo, sembra per lo più trovare spiegazione o in un evento naturale catastrofico che abbia obliterato gli strati esistenti oppure in un'opera artificiale di bonifica che ha previsto non tanto un apporto di materiale ma quanto una riduzione del flusso e riflusso d'acqua o ancora la realizzazione di un'opera di sbarramento in modo tale da risanare e prosciugare l'area e comunque intervenire direttamente sul territorio. La prima opzione è però poco probabile per Nora dal momento che non abbiamo notizie di eventi così rilevanti e sconvolgenti. Nel secondo caso, un tale intervento sarebbe stato giustificato dalle scelte economiche e di sfruttamento di questo settore territoriale legate forse all'area portuale. Ricordiamo ed insistiamo ad evidenziare, infatti, che è proprio sotto la dominazione punica che comincia una pianificazione urbanistica ormai evoluta e ragionata degli

spazi del promontorio, della penisola e del territorio circostante con una maggiore strutturazione e configurazione dell'area volte a una stabilizzazione insediativa. Andando inoltre a riprendere lo stato dell'arte in merito alla localizzazione del porto a Nora e in particolare le ricerche di P. Bartoloni e di S. Finocchi, mentre le tre cale disposte attorno alla penisola – la rada nord-orientale, quella meridionale e quella nord-occidentale – dovevano essere utilizzate unicamente come cale di buon tempo (*summer anchorages*), ovvero come approdi occasionali e temporanei in condizioni meteorologiche favorevoli, il porto viene perennemente ubicato all'interno dell'odierna Peschiera di Nora che in antico doveva essere caratterizzata da uno specchio d'acqua profondo tale da garantire l'ormeggio delle imbarcazioni. Di conseguenza, sostenendo questa teoria, la posizione in cui è stato estratto il sondaggio NR1 e l'area complessiva retrostante la laguna attuale dovevano essere funzionali e collegate alle attività portuali (Fig. 46).



Fig.46. Confronto tra l'area in cui è stata estratta la carota NR1, qui analizzata per la ricostruzione paleoambientale, e la ricostruzione geomorfologica e portuale antica elaborata nel 1999 da Finocchi.

A sostegno di questa interpretazione esiste una lunga tradizione d'uso e continuità funzionale dell'area posta sia alle spalle sia intorno alla laguna dove fin dalla fine dell'VII sec. a.C. dovevano ruotare una serie di attività di carattere produttivo ed artigianale di cui sono rimaste tracce nei materiali anforici e negli scarti di fusione e di lavorazione dei metalli rinvenuti in diversi punti. In base alle ricerche archeologiche in particolare a partire dal periodo punico l'abitato cominciò ad estendersi verso ovest e nel contempo si svilupparono progressivamente nuovi quartieri abitativi e artigianali in direzioni proprio dell'antica insenatura portuale. Questa area industriale non solo rimane in funzione come componente urbana nel VI sec. a.C. ma si sviluppa ulteriormente a partire dalla fine del V sec. a.C. accanto allo sfruttamento intensivo del territorio con la creazione di fattorie, e la nascita di piccoli insediamenti pedemontani, che dovevano assicurare il controllo delle attività legate alla pastorizia e al reperimento del legname e dei metalli.

Una tale ricostruzione può così anche spiegare i risultati geoarcheologici e le datazioni ottenute negli ultimi 50 cm verso la superficie. Negli orizzonti più superficiali del sondaggio, corrispondenti alla quinta e alla sesta litofacies da -59 cm a -3 cm, infatti il sedimento limoso-argilloso non appare puro come nei livelli inferiori ma risulta sporco, probabilmente perché rivoltato e rimaneggiato in modo antropico, con la comparsa di materiale sabbioso e ghiaioso sparso ed elementi minerali. Peraltro, le datazioni ricevute avrebbero dovuto fare riferimento per questi ultimi strati al periodo di conquista romano e, quindi, alla piena romanità di Nora ma, malgrado le aspettative, sono risultate completamente diverse e più antiche, tanto da datare questo materiale sedimentario al periodo prenuragico e al periodo nuragico avanzato²¹⁹. Troviamo perciò un'inversione nelle date che può essere spiegata soltanto guardando alla storia e all'archeologia dell'area esaminata: emerge infatti, grazie soprattutto alle ricerche dell'Università degli Studi della Tuscia, Viterbo e da quanto è stato rinvenuto che la zona di nostro interesse, in continuità con il passato, doveva essere destinata ad attività metallurgiche anche nel corso della fase romana. Perciò in conformità con una ipotesi di lavoro da valorizzare guardando anche a futuri sondaggi, se confermata, questa porzione superiore del deposito sarebbe esito di un asporto e apporto di materiale durante operazioni di disposizione del distretto extramurario da parte dei Romani presenti nel territorio norense.



Fig.47. Immagine della zona retrostante la laguna di Nora, nella quale si vede un ambiente palustre e protetto con spazi umidi e barene, caratterizzato da una vegetazione di tipo alofita. Foto di Venturoli, 2021.

Una nota di metodo in chiusura. Questa ricostruzione paleoambientale può essere naturalmente smentita o confermata dai dati ottenuti dalle altre carote realizzate nella medesima occasione o da indagini future, ma è stata qui proposta per due motivi principali: *in primis* quale studio di partenza del nuovo interesse e problema ambientale norense che costituisce il background dello sviluppo

²¹⁹ Moravetti, 2005.

della città, *in secundis* al fine di mostrare comunque le potenzialità informative che è possibile estrarre e raccogliere da un unico isolato sondaggio.

Naturalmente l'ultimo livello della carota da -3 a 0 cm corrisponde al piano di calpestio attuale e allo strato humico recente.

Infine, ricordiamo in questa sede che un ulteriore elemento di cambiamento morfologico è stata la bonifica recente e la costruzione della diga di sbarramento artificiale nel 1957, sfruttando la penisola di Is Fradis Minoris, che ha conferito alla zona palustre l'aspetto attuale. La diga ha così confinato, impedendo il naturale ricambio idrico e l'azione idrodinamica del mare, l'insenatura esistente che quindi per l'apporto sedimentario di accumuli fangosi e di sedimenti fluviali dal Canale Saliu e dal Rio s'Orecanu si è colmato ed interrato formando una grande laguna morta.

In conclusione, lo scenario ambientale era sicuramente molto diverso rispetto a quello attuale (Fig.47 e 48) e indubbiamente più aperto ed esposto ai venti e alle dinamiche marine.

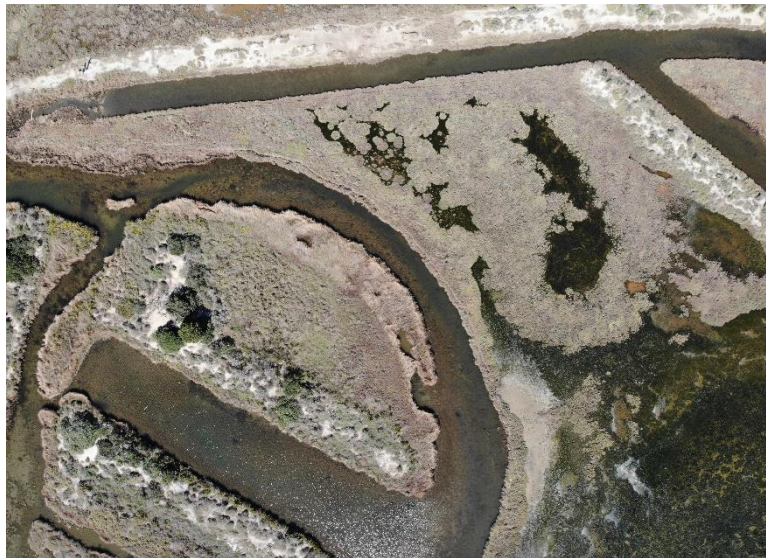


Fig. 48. sopra: Ripresa aerea zenitale, ovvero perpendicolare alla superficie, realizzata da drone dell'area a barena e del sistema di canali artificiali retrostanti la laguna di Nora ed esito di modifica antropica nel tempo. Foto di Carraro, 2021; sotto: Immagine fotografica presa a terra della medesima area in cui si può osservare bene il tipo di ambiente attuale e il paesaggio paludoso-salmastro odierno vicino alla penisola. Foto di Venturoli, 2021.

Ricostruzione paleovegetazionale con riferimenti alla paleodieta

A partire dall'analisi pollinica sono stati ottenuti dei buoni risultati in merito alla vegetazione antica, i quali hanno anche offerto la possibilità di fare un breve e limitato accenno alla paleodieta. Naturalmente la discussione seguente rimarrà su lineamenti generali poiché i dati che per il momento abbiamo a disposizione sono ancora troppo pochi, soprattutto per avere chiare indicazioni antropogeniche e parlare di impatto antropico; nondimeno sarà comunque possibile avanzare un iniziale ragionamento.

Nello specifico, in questa sede, faremo riferimento all'intervallo cronologico di maggior interesse ai fini della nostra ricerca, ossia ai livelli sedimentari compresi tra -121 e -75 cm e datati all'età del Bronzo e alla successiva età del Ferro. Difatti, sia la fase del Bronzo Finale sia il momento di passaggio alla prima età del Ferro sono periodi in cui ancora domina la civiltà nuragica, la quale raggiunge proprio durante il Nuragico III il massimo splendore, e in cui si intravede nell'isola la nuova presenza dei primi gruppi alloctoni fenici, i quali frequentano solamente gli ambienti costieri a fini commerciali senza spingersi nell'entroterra o senza realizzare strutture e fondazioni permanenti. Per quanto riguarda queste fasi storiche possiamo affermare che lo sfruttamento del territorio avviene principalmente ad opera delle comunità nuragiche e in particolare i dati, da noi raccolti nella carota confermati da altre indagini polliniche, condotte in Sardegna, lasciano intravedere chiaramente dei picchi di cerealicoltura e attestano percentuali di pollini di cereali precedentemente non documentati.

Sono infatti stati riconosciuti pollini e semi appartenenti alle graminacee che devono essere stati dispersi nell'ambiente dal vento, quale principale mezzo di trasporto, durante il periodo di fioritura, tra marzo e settembre. Possiamo perciò immaginare che accanto alla presenza di graminacee spontanee presenti in natura vi fossero le graminacee coltivate nelle quali rientrano proprio i cereali, come frumento, mais, farro, avena, orzo, segale, granturco e riso. Queste informazioni concordano molto bene con le conoscenze archeologiche – come, ad esempio, i resti di pasto, i contenitori di ceramica destinati alla cottura o i silos – che possediamo ad oggi riguardo all'alimentazione e all'uso dell'ambiente in epoca nuragica. Sappiamo di fatto, dallo studio di diverse aree d'occupazione nuragica, che l'allevamento e l'agricoltura erano alla base dell'economia della popolazione e che la trasformazione del paesaggio in questo frangente storico ha avuto dei modi e un'intensità senza precedenti. Infatti, produrre cibo significa organizzare il lavoro degli uomini nei campi, i rapporti sociali di produzione e perciò agire sulla natura. A ciò consegue che l'alimentazione, come attività vitale ed elemento culturale, riflette molto bene l'assetto dell'ambiente in un determinato luogo e momento storico. Per esempio, nonostante i tempi lunghi del percorso storico della civiltà nuragica e i luoghi diversi di un'isola così vasta abbiano originato

differenziazioni temporali e locali anche nei gusti e nelle pratiche alimentari, si può sostenere in generale che doveva essere una pratica comune fin dalle fasi finali del Bronzo Medio il metodo del “taglia e brucia” delle macchie o delle zone boschive per fare posto alle radure per la coltivazione di cereali e legumi e per creare pascoli per gli animali.

Con l’inizio del Primo Ferro, ossia dall’VIII sec. a.C., l’area di studio e in particolare le coste della penisola norense vedono non solo l’arrivo e la frequentazione stagionale da parte dei Fenici ma anche lo sviluppo dei rapporti commerciali con le popolazioni nuragiche locali. In considerazione di ciò, innanzitutto è possibile ipotizzare che il territorio, le risorse naturali e le fonti di produzione fossero ancora in mano ai gruppi indigeni maggiormente dominanti nell’entroterra e che perciò il quadro ambientale e vegetazionale non cambiò granché.

All’avvio del VII sec. a.C. la situazione sembra cominciare a mutare, anche se lentamente, sebbene non vi siano grandi rotture con il passato o cambiamenti radicali. Si può dire, sulla base della ricerca storica e archeologica, che lo scenario sociale ed insediativo fenicio diventa più stabile sul promontorio ma che l’interesse per le zone vicine e il territorio comunque appare ancora molto limitato, tanto è vero che il sostentamento alimentare del primo insediamento dipendeva ed era ancora subordinato alla produzione agro-pastorale delle popolazioni locali. La ricerca e i risultati palinologici nei livelli deposizionali del sondaggio NR1 di questo momento storico, ovvero compresi circa tra -75 cm e -90 cm, ci confermano le evidenze archeologiche e ci precisano che a partire dal periodo fenicio non vi è una grande occupazione o frequentazione fissa dell’area retrostante la penisola e dell’hinterland norense. Dal punto di vista alimentare ed ecosistemico, in primo luogo, sono stati riconosciuti sia degli elementi vegetali, quali pollini e semi, appartenenti alla vite e all’ulivo e, in secondo luogo, sono stati isolate sia le spore, che nel regno dei vegetali e dei funghi sono cellule riproduttrici, sia tracce organiche appartenenti al regno dei funghi.

In Sardegna, e soprattutto nel sud dell’isola, la presenza di alberi da frutto come l’ulivo e di arbusti rampicanti come la vite è testimoniata anche da altre indagini che hanno permesso non solo di documentare la coltivazione e l’utilizzo dei primi alberi da frutto già dal periodo fenicio-punico ma anche di sostenere l’ipotesi che l’ulivo, almeno l’oleastro (*Olea europaea*, var. *oleaster*) e il lentisco (*Pistacia lentiscus*) che costituiscono le sottospecie selvatiche e spontanee, risultava in verità già presente in diversi villaggi del periodo nuragico, nei quali sono stati rinvenuti noccioli di olive e tracce della pratica dell’estrazione dell’olio, come macine. Tuttavia, non si è ancora in grado di fornire con esattezza la fase cronologica, sicuramente però molto antica, in cui appare l’*Olea europaea*, ovvero l’ulivo coltivato. In egual maniera, esistono degli studi che, a differenza dell’opinione comune che sostiene che l’arrivo in Sardegna per la prima volta del vino e di conseguenza della successiva vitivinicoltura fosse da far risalire alle fasi iniziali della

colonizzazione fenicia, spostano la presenza della vite comune, e quindi l'addomesticazione della *Vitis vinifera silvestris*, almeno a partire dalla seconda metà del II millennio durante l'età del Bronzo Recente e Finale, periodi nei quali compaiono ulteriori nuove forme ceramiche adatte per la miscita e per il consumo di bevande e a contenere sostanze liquide di pregio, quali olio d'oliva e vino. Ciononostante, per quanto riguarda Nora e il suo territorio non abbiamo, per ora, prove o materiali che attestino lo sfruttamento della vite o dell'ulivo in tempi precedenti alla presenza fenicia. Durante il periodo di frequentazione fenicio, invece, siamo assolutamente sicuri che il vino e la vite, l'olio e l'ulivo sono già prodotti indispensabili e fondamentali dal momento che erano legati non solo all'alimentazione e allo scambio commerciale, pensiamo ovviamente alle anfore Ramon come le T-3.1.1.2., che si inquadrano nel momento in cui il sito era ancora un semplice scalo, e le T2.1.1.2., T-1.2.1.2. e T-1.4.2.1., che invece rappresentano già esemplari importati a partire dalla seconda metà del VIII sec. a.C. e fino al VI sec. a.C. in un centro che si stava pian piano andando a strutturare, ma anche al campo religioso. Difatti, l'olio d'oliva, il vino e il frumento hanno da sempre caratterizzato rituali, credenze e rappresentazioni religiose tanto da costituire quella che viene definita la "Triade sacra mediterranea". Nella sfera culturale, per esempio, le minuziose indagini di laboratorio condotte sui resti carbonizzati rinvenuti all'interno delle urne cinerarie del tofet di Tharros hanno consentito, da un punto di vista paleobotanico, di appurare che i roghi si svolgevano all'aperto ed erano alimentati mediante l'impiego di olivo, probabilmente raccolto dalla vegetazione spontanea di macchia mediterranea allora presente e disponibile nelle vicinanze, comunque appare anche difficile pensare che la stessa scelta dei legni da ardere sulla pira fosse casuale non rispondesse invece a precise pratiche di carattere rituale. Nell'ambito più specificatamente funerario, invece, facciamo riferimento direttamente a Nora e alle sepolture di età arcaica della necropoli fenicio-punica. In totale sono state scavate e indagate in modo approfondito dieci sepolture ad incinerazione che sono tra le più antiche attestazioni della presenza fenicia nella penisola. Da questo studio possiamo presentare alcuni punti fermi ed ipotesi rilevanti per la nostra attuale trattazione: in primo luogo, come per Tharros, doveva essere in uso a Nora un *ustrinum* in cui avveniva l'incinerazione dopo la quale le ossa calcinate venivano poste direttamente in appoggio ai contenitori fittili del corredo all'interno delle piccole fosse intagliate nel substrato arenitico, ragione per cui sarebbe molto interessante capire che tipologia di legno veniva bruciata; in secondo luogo, facendo ora riferimento ai corredi all'interno delle associazioni di forme troviamo innanzitutto la brocca ad orlo espanso (o "a fungo"), documentata in maniera costante nelle regioni costiere dell'intero bacino mediterraneo raggiunte dall'espansione marittima fenicia, che doveva contenere non tanto vino e acqua quanto un liquido oleoso e denso, quale l'unguento profumato, e secondariamente la brocca bilobata che solitamente conteneva vino.

All'interno degli spettri pollinici degli stessi strati, come già accennato, sono state messe in luce ed è stato possibile attestare anche pratiche legate alla pastorizia in accordo con la presenza sia di taxa indicatori di pascolo sia di buone quantità di sporefungine di coprofilo o funghi coprofilo osservati tra i Non Pollen Palynomorphs (NPP). In particolare questi funghi si sviluppano da escrementi di animali erbivori, come le capre, a partire da composti organici ancora in decomposizione.

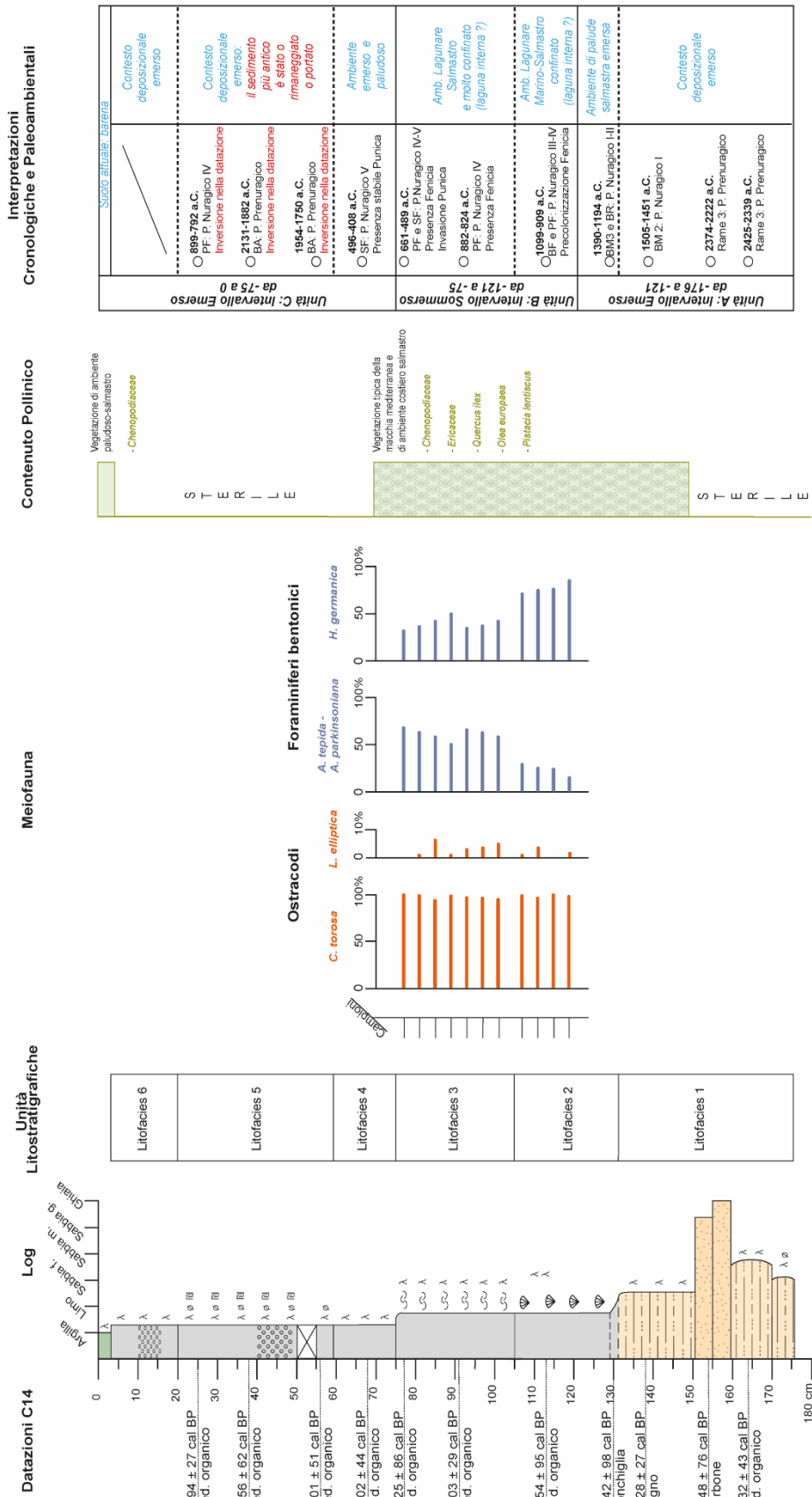
I risultati delle analisi polliniche mostrano quindi per le fasi di VII, VI e V sec. a.C. un paesaggio eterogeneo. Per quanto riguarda gli ecosistemi annoveriamo zone boschive rade o comunque distanti, la macchia mediterranea e zone a vegetazione di tipo marino e salmastro, ovvero composta da piante alofite (Fig.49). Relativamente agli agrosistemi, cioè gli ecosistemi terrestri fortemente antropizzati le cui dinamiche, pur svolgendosi secondo le leggi dell'ecologia, sono controllate dall'uomo a scopo economico, riconosciamo che nel corso dell'evoluzione paleoambientale e storica del territorio norense siano stati presenti, anche contemporaneamente, la cerealicoltura, la frutticoltura e il pastoralismo. In generale è infatti possibile affermare che esistono segni dell'influenza antropica sul paesaggio vegetale leggibili proprio negli spettri pollinici e dovuta ad attività agricole, pastorali e alla presenza di specie sinantropiche spontanee, ovvero specie vegetali che si rinvengono in ambiti alterati da una persistente attività umana.

Infine, anche i granuli pollinici rinvenuti nei livelli contenenti la meiofauna da una parte hanno suggerito che si fosse originato in un certo momento un ambiente basso dal punto di vista geomorfologico, interno e molto tranquillo contraddistinto sia da pochi cambiamenti sia dalla presenza di acqua bassa, quasi stagnante, con vegetazione di tipo alofita e d'ambito lagunare, dall'altra parte hanno rimarcato e confermato anche i bassi tassi di sedimentazione dell'area.



Fig.49. Immagine del territorio vicino alla penisola, che ha fatto parte dell'hinterland norense ed è stato sfruttato a fini produttivi dalla città. Nella foto si possono osservare come punto di riferimento la torre del Coltellazzo e la vegetazione tipica della macchia mediterranea. Foto di Venturoli, 2021.

Sondaggio NR1



- Legenda:**
- Argilla e Limo
 - Argilla e Limo con elementi sabbiosi-ghiaiosi sparsi
 - Limi sabbiosi-sabbia limosa
 - Mancato recupero
 - Suolo attuale
 - Matrice sabbiosa con ghiaio
 - Gasteropodi: B. reticulatum
 - Bivalvi: C. glaucum
 - Frammenti conchigliari
 - Ossidi/Frazione Minerale
 - Resti Vegetali
 - Soreziature
 - Pollini di vegetazione mediterranea salmastra
 - Età C14 cal BP con errore
 - Età cal BC

Fig.50. Log stratigrafico della carota NR1 completo di tutti i risultati derivati dalle differenti analisi effettuate. Inoltre sono presenti l'interpretazione cronologica e paleoambientale delle facies. Elaborazione di Venturoli, 2022.

Discussione dei dati e ricostruzione del paleolivello del mare

I depositi paludosi e lagunari, prospicienti il mare e comunemente sviluppati nelle pianure costiere e nei sistemi di back-barrier, sono intervalli di strati chiave dal momento che rappresentano degli eccellenti archivi sedimentari poiché capaci di registrare non solo le modificazioni geomorfologiche e paleoambientali di un determinato settore ma anche le variazioni della colonna d'acqua nel tempo, sia su grandi che brevi periodi, tenendo memoria quindi anche degli episodi di innalzamento accelerato del livello del mare, le trasgressioni marine. La possibilità di incrociare le datazioni al radiocarbonio dei campioni organici e la successione stratigrafica estratta nell'area umida di Nora ha permesso di formulare alcune considerazioni preliminari circa l'evoluzione di questo tratto di costa e del mare.

È stato appurato ed è certo che nel corso della glaciazione Würm, la quarta glaciazione del Pleistocene, si ebbe una fase di massima espansione dei ghiacci e alla fine di questo periodo conosciuto come Ultimo Massimo Glaciale (LGM, ~ 20 ka) il livello del mare era attestato a circa 120-140 m al di sotto del presente. Per quanto riguarda l'era geologica successiva, all'inizio dell'Olocene, il progressivo scioglimento delle calotte glaciali dell'emisfero settentrionale ha prodotto un innalzamento del livello del mare molto rapido fino a ~7,0 ka fa.

Attualmente, a fronte del gran numero di ricerche e ipotesi, sono disponibili dati alquanto contrastanti in particolare sul livello del mare e la sua variazione a partire da ~6,0 ka fa, momento in cui è possibile affermare che il livello si è stabilizzato ma i cambiamenti seppur minimi hanno comunque portato a un innalzamento costante. Ovviamente una tale situazione produce conseguenti incertezze riguardo i tempi e le dimensioni di questo importante cambiamento paleogeografico. In considerazione di ciò e con l'obiettivo di risolvere questi dubbi o comunque favorire un avanzamento nelle conoscenze odierne molti studiosi, afferenti a tutto il mondo scientifico internazionale, hanno programmato e realizzato sia indagini specifiche e diversificate sia ulteriori studi sul livello del mare a partire da differenti tipologie di markers derivati da carotaggi di sedimenti eseguiti nelle lagune costiere sarde, come nel nostro caso, da evidenze prettamente archeologiche sommerse o semisommerse e, ancora, dalla zonazione biologica in contesti interrati come ad esempio i porti antichi.

Tra i primi risultati abbiamo i modelli predittivi, i quali, sottolineiamo subito, sono ottimi strumenti ausiliari a comprendere ed illustrare le informazioni ma che però non hanno la pretesa di recuperare e di fittare tutti i dati disponibili. Il più noto è sicuramente il modello di Lambeck, il quale è costruito prettamente su parametri idro-isostatici, dal momento che la Sardegna è una delle aree tettonicamente più stabili del Mediterraneo e minimamente influenzata o interessata dal cedimento da compattazione dei sedimenti e quindi da subsidenza. Il modello e l'evoluzione del livello del

mare, che si va a ricostruire grazie a questo, si presentano allora come un aggiustamento idro-isostatico, ovvero si basano solo sull'interazione tra le componenti eustatiche e idro-isostatiche. Cosa vuol dire ciò? L'acqua del mare del Mediterraneo fa abbassare leggermente il fondale e, quindi, la crosta terrestre facendo in questo modo, salire il livello del mare relativo. Dato che la crosta galleggia sul mantello naturalmente in base a quanto si considera denso il mantello la crosta galleggia di più oppure di meno e quindi risponde di più o risponde di meno a questo peso dell'acqua. Il modello di Lambeck, realizzato anche per l'area meridionale della Sardegna, in particolare utilizza il valore di questa densità del mantello facendo in modo che la crosta sprofondi molto di più, soprattutto rispetto ai dati che abbiamo ottenuto per il nostro contesto di studio. Dunque i dati ci avvisano che tale modello possiede allora una sovrastima del contributo isostatico almeno in questa parte della Sardegna. Ovviamente nessuno sa quanto sia denso il mantello terrestre, indi per cui si avanzano delle ipotesi sulla base delle quali si usano poi i paleolivelli del mare per testarle, smentirle o confermarle. Quindi se il paleolivello del mare si trova in una determinata posizione vuol dire che il mantello ha risposto in un modo. Questa tipologia di approccio è perciò è circolare e utilizza un modello che non è sicuro per ricostruire il paleolivello del mare e questo deve essere testato dagli stessi dati che si ottengono. Inoltre, è possibile anche affermare che un'ulteriore debolezza risiede sul fatto che i dati utilizzati per tarare questo modello di Lambeck innanzitutto non sono stati presi in modo preciso e corretto, sono stati ricavati solo in alcune zone, come il Golfo di Cagliari o Santa Gilla, molto abbassate perché caratterizzate da elevata compattazione dei sedimenti, portando così a un sovrastima di questo processo isostatico che invece è molto simile ad altre aree del Mediterraneo. Infine, è un modello calibrato solamente per fittare l'interpretazione delle fishtanks, ossia le vasche d'allevamento ittico, del Tirreno a -1,20 m in epoca romana, ovvero senza considerare tutte le altre evidenze archeologiche.

Un altro approccio lo troviamo nel lavoro di Antonioli, il quale ha tentato di definire un protocollo per studiare l'altezza funzionale delle strutture archeologiche e il rapporto con il livello del mare passato e attuale in differenti siti senza però considerare alcuni fattori che possono falsare le misure. Tale "calibrazione" archeologica è infatti essenzialmente basata sulla "functional height" ovvero un tentativo di standardizzare la distanza tra un determinato indicatore archeologico (cava, molo, frangiflutti, etc.) e il paleolivello del mare al momento della loro costruzione. In pratica, la "funzionalità" era calcolata in modo semplicistico utilizzando la distanza tra un indicatore archeologico e la curva di Lambeck. Anche in questo metodo il tutto è però un po' circolare poiché, anche se non si dice esplicitamente, si partiva dal modello per definire la funzionalità. Infine, a questo sommiamo il fatto che, durante le ricognizioni e le indagini in campo, le misure degli

indicatori non sono state raccolte in modo preciso e che l'interpretazione archeologica poi realizzata presentava delle inesattezze.

Negli ultimi anni diversi lavori, editi in letteratura²²⁰, hanno quindi evidenziato tali lacune e delle incongruenze tra i dati e i modelli proposti fino a questo momento; tuttavia, il caso studio di Nora offre un record geologico e archeologico veramente eccezionale, tanto da offrire, se correttamente indagato, nuove prospettive e nuovi caposaldi per le ricerche future. Proprio in virtù di questo, tale tesi, in primo luogo, mira a fornire nuove prospettive in merito al tema del livello del mare relativo (RSL) e alla sua variazione postglaciale in questo importante settore mediterraneo in particolare per il Periodo dell'Olocene (~ 12,0 ka); in secondo luogo, tenta di ricostruire il paleolivello marino applicando un modello statistico, basato sul nuovo dataset di Nora, sui dati geologici e marker archeologici e sulle analisi GIS. Questo nuovo modello è stato sviluppato proprio per definire l'evoluzione del livello del mare in un determinato sito.

Come si è proceduto? Le datazioni al radiocarbonio hanno prodotto a partire da undici campioni undici date²²¹ riferibili tutte a un ambiente di laguna, che si era sviluppata molto bassa. Dal momento che queste lagune costiere o comunque antistanti il mare si trovano generalmente appena al di sotto del livello del mare, ovvero si formano nei primi 10 cm al di sotto del livello marino (-0.1 m s.l.m.) a loro contemporaneo, come è confermato per Nora dalla posizione dell'assemblaggio di foraminiferi riconosciuti (*A. tepida*-*A. parkinsoniana* in associazione con *H. germanica*), possiamo dire che questi nostri dati, tenendo anche conto di tutti gli errori solitamente associati a questo tipo di ambienti, sono quindi indicativi del paleolivello con una precisione di circa 10 cm. Per ognuno dei campioni è stata quindi presa la propria data a cui è stata poi associata la quota, ossia il dato di elevazione, la quale è tendenzialmente più o meno indicativa del paleolivello del mare con una precisione che è appunto ± 10 cm. Successivamente dopo aver creato il nuovo dataset di Nora, mettendo insieme tutte le date che finora abbiamo a disposizione delle carote NR1 e NR3, e dopo aver preso tutte le quote associate queste sono state usate come input e plottate, ossia è stato fatto un plot xy in cui nell'asse delle coordinate "x" vi è l'età calibrata e nell'asse delle ordinate "y" vi è indicata la quota della carota rispetto a uno 0 che indica il livello medio del mare specificatamente in relazione al mareografo di Cagliari, 1956. Tramite un software che lavora in ambiente R, ovvero un ambiente di sviluppo specifico per l'analisi statistica dei dati, il modello Gaussiano spazio-temporale, sviluppato proprio con lo scopo di raggruppare le informazioni di paleolivello del mare, prende una serie di dati che hanno due barre di errore, la barra di errore verticale legata all'altimetria e quella di errore orizzontale inerente all'età, e trova il "best fit", cioè

²²⁰ Nel riportare alcuni lavori citiamo ad esempio Vacchi *et alii*, 2016, 2018 e 2020.

²²¹ Le undici date sono riferite specificatamente e unicamente agli undici campioni prelevati dalla carota NR1.

la miglior corrispondenza, all'interno della serie di dati risolvendo la variabile orizzontale, ovvero l'errore temporale e la variabile verticale, cioè l'errore altitudinale. Come risultato il modello allora traccia una linea che esprime graficamente l'evoluzione del livello del mare locale sulla base dei dati inseriti, quindi dà la posizione del mare antico con, ovviamente, indicazione dell'errore in un determinato periodo e il tasso di risalita tra un momento e l'altro. Tra una data e l'altra però vi sono dei buchi, dal momento che nell'indagine è comunque impossibile coprire completamente 3000 anni, quindi il modello sulla base degli altri dati riesce anche a capire quale è il record più plausibile di evoluzione del livello del mare tenendo conto di come è evoluto prima e dopo e riempie lui le lacune.

In output, come risultato dal modello statistico, otteniamo sia dei dati (Tabella 8-9) poi riportati in un file excel e qui riproposti sottoforma di tabella sia un grafico (Fig.51).

Perciò, nella tabella seguente (Tabella 8), esito output del modello statistico, sono elencate tutte le date che abbiamo chiesto al modello di calcolare con relative quote per il nostro caso di studio. Nello specifico abbiamo innanzitutto 89 time steps ovvero i punti in cui il modello ha fornito una data e una quota, vale a dire in cui ha fatto una stima della sea-level position, ossia ha calcolato in un momento puntuale, definito dalla datazione assoluta, la posizione del livello del mare con l'errore associato. In totale è partito dalla data più antica che abbiamo, pari a 4374 BP e corrispondente circa a 2424 BC, e ha compiuto questa operazione ogni cinquant'anni negli ultimi 4500 anni. Oltre a ciò, troviamo anche l'indicazione della stima del tasso di risalita (rate) del livello del mare, espresso in millimetri all'anno (mm/anno), sempre calcolato ogni cinquant'anni e sempre accompagnato dall'errore statistico. È inoltre possibile notare come nella parte più antica vi siano errori di elevata entità tra i dati relativi al tasso di risalita e come questo errore diminuisca poi verso datazioni più recenti, allo stesso modo anche una porzione centrale presenta errori grossi: questo si spiega per la mancanza in quelle sezioni di un numero sufficiente di dati.

Portiamo adesso due esempi riguardanti le diverse fasi che si sono potute intercettare non solo tramite il sondaggio NR1, ovvero dal periodo prenuragico fino all'età punica lasciando quindi perdere le ultime tre datazioni, ma anche il periodo romano, che invece è stato intercettato grazie alla carota NR3. Se consideriamo, ad esempio, la data 2881 BP, corrispondente al momento di passaggio tra il Periodo del Bronzo Finale all'età del Ferro e quindi al periodo di precolonizzazione fenicio, abbiamo una posizione del livello del mare pari a $-1,05 \pm 0,12$ m s.l.m. e un tasso di risalita del livello del mare pari a $0,47 \pm 0,27$ mm all'anno. Andando, invece, a prendere la data 2381 BP, relativa alla piena fase di dominazione punica, vediamo che il paleolivello marino è attestato secondo il modello a $-0,83 \pm 0,11$ m s.l.m. con un tasso di risalita pari a $0,42 \pm 0,27$ mm all'anno. Tra le due fasi il mare si è quindi innalzato di 0,05 mm all'anno.

Time steps	Year BP	SL_est	Error	Time steps	Year BP	Rate_est	Error
1	4374,25	-1,632445661	0,265389405	1	4374,25	0,233994036	1,077195512
2	4331	-1,622114222	0,243095752	2	4331	0,243524725	0,992273198
3	4281	-1,609663014	0,22583302	3	4281	0,25439328	0,894881356
4	4231	-1,59663729	0,216720754	4	4231	0,26651077	0,800634745
5	4181	-1,583003194	0,214043345	5	4181	0,278501329	0,709178876
6	4131	-1,568791511	0,215657909	6	4131	0,289687913	0,621507787
7	4081	-1,554008762	0,219458164	7	4081	0,301427162	0,539616444
8	4031	-1,538632447	0,22378704	8	4031	0,313360473	0,466577125
9	3981	-1,522657102	0,227459691	9	3981	0,325373472	0,407276901
10	3931	-1,506078597	0,229772741	10	3931	0,33749198	0,360435182
11	3881	-1,488886538	0,230386069	11	3881	0,349893517	0,335261166
12	3831	-1,471076177	0,229243186	12	3831	0,362062921	0,323779929
13	3781	-1,452686953	0,226424492	13	3781	0,373132705	0,323464835
14	3731	-1,433731129	0,222166134	14	3731	0,384752303	0,331393444
15	3681	-1,414211455	0,21675882	15	3681	0,395528669	0,340981816
16	3631	-1,39416904	0,210551533	16	3631	0,405719852	0,348302726
17	3581	-1,373634438	0,203902575	17	3581	0,415216907	0,351573846
18	3531	-1,352638946	0,197031781	18	3531	0,424130217	0,34964912
19	3481	-1,331203274	0,190066066	19	3481	0,432824798	0,345024933
20	3431	-1,309363964	0,183168944	20	3431	0,440151825	0,338606853
21	3381	-1,287192467	0,176436179	21	3381	0,446250644	0,330399218
22	3331	-1,264710515	0,169854004	22	3331	0,452517404	0,319962617
23	3281	-1,241954201	0,163464252	23	3281	0,457247499	0,308948309
24	3231	-1,218958993	0,157250201	24	3231	0,462111337	0,30042697
25	3181	-1,1957597	0,151124971	25	3181	0,465330246	0,295118736
26	3131	-1,172413861	0,145131002	26	3131	0,467859002	0,29086555
27	3081	-1,148986034	0,139378819	27	3081	0,468767587	0,285400639
28	3031	-1,125252662	0,133884245	28	3031	0,469418135	0,281910831
29	2981	-1,102031187	0,128633068	29	2981	0,469591542	0,27819507
30	2931	-1,078562155	0,123787403	30	2931	0,469031533	0,273252382
31	2881	-1,05513725	0,119296204	31	2881	0,467426441	0,270265663
32	2831	-1,031826075	0,115324486	32	2831	0,465006249	0,268296741
33	2781	-1,008629377	0,112026646	33	2781	0,462166734	0,264506064
34	2731	-0,985560154	0,109274461	34	2731	0,459362609	0,262290998
35	2681	-0,962721371	0,107304931	35	2681	0,454971942	0,259407803
36	2631	-0,940090978	0,106074578	36	2631	0,450097277	0,257958846
37	2581	-0,917715839	0,105322178	37	2581	0,44327074	0,256828615
38	2531	-0,895713521	0,105039381	38	2531	0,438000463	0,258955684
39	2481	-0,873950462	0,105731675	39	2481	0,431520855	0,259762262
40	2431	-0,852497518	0,107152519	40	2431	0,424059277	0,262806034
41	2381	-0,831539495	0,108995998	41	2381	0,416411304	0,266750714
42	2331	-0,811006649	0,111616343	42	2331	0,407339325	0,272304274
43	2281	-0,79078417	0,114656603	43	2281	0,398919443	0,283875559
44	2231	-0,77094395	0,118613463	44	2231	0,391074732	0,294436082
45	2181	-0,751715315	0,123152821	45	2181	0,382689662	0,30713577
46	2131	-0,732705157	0,128239469	46	2131	0,375108284	0,323147661
47	2081	-0,714219544	0,134277871	47	2081	0,367495724	0,342522671
48	2031	-0,695942653	0,1411573201	48	2031	0,35963582	0,365269947
49	1981	-0,678081018	0,149835373	49	1981	0,352548395	0,394687196
50	1931	-0,660766808	0,159527461	50	1931	0,346232267	0,42424811
51	1881	-0,64363136	0,170594894	51	1881	0,340946687	0,457518963
52	1831	-0,626605927	0,183645379	52	1831	0,335304419	0,492788796
53	1781	-0,609977969	0,19878876	53	1781	0,33019281	0,528256477
54	1731	-0,593621486	0,215930856	54	1731	0,326513227	0,563089213
55	1681	-0,57726388	0,235254254	55	1681	0,322205498	0,597465111
56	1631	-0,561115856	0,256182171	56	1631	0,31992945	0,630365599
57	1581	-0,545329705	0,279521567	57	1581	0,316929432	0,659370007
58	1531	-0,529685142	0,304226966	58	1531	0,315311278	0,682783048
59	1481	-0,513802778	0,330410413	59	1481	0,313983704	0,698955576
60	1431	-0,498079691	0,357618477	60	1431	0,313341538	0,708355799
61	1381	-0,48256647	0,385189471	61	1381	0,312939496	0,710314022
62	1331	-0,466951269	0,412831167	62	1331	0,314626216	0,701778133
63	1281	-0,450942141	0,440044183	63	1281	0,315794373	0,689437051
64	1231	-0,435096792	0,466541913	64	1231	0,317897149	0,672503053
65	1181	-0,419038558	0,491676667	65	1181	0,320832254	0,649815909
66	1131	-0,40295857	0,514940566	66	1131	0,323243027	0,624211173
67	1081	-0,386863006	0,535976263	67	1081	0,32667785	0,593347872
68	1031	-0,370417534	0,554982155	68	1031	0,330476519	0,563841044
69	981	-0,353642713	0,570846857	69	981	0,333862164	0,53471531
70	931	-0,336907843	0,583602903	70	931	0,337992263	0,50943474
71	881	-0,320085374	0,59314198	71	881	0,341218847	0,486855524
72	831	-0,302872796	0,598652866	72	831	0,343919826	0,473562174
73	781	-0,285484363	0,600113626	73	781	0,347528103	0,469150066
74	731	-0,268021025	0,598339202	74	731	0,350840609	0,474501699
75	681	-0,250502338	0,592125886	75	681	0,354192353	0,491211631
76	631	-0,232635104	0,582786409	76	631	0,356428252	0,524260386
77	581	-0,214884614	0,568701354	77	581	0,358474628	0,570484343
78	531	-0,196844776	0,550346098	78	531	0,360821565	0,627600483
79	481	-0,178452713	0,527796905	79	481	0,362750188	0,692338506
80	431	-0,160413294	0,501001301	80	431	0,364159532	0,765449943
81	381	-0,14221521	0,470551078	81	381	0,365708099	0,840686903
82	331	-0,123836481	0,43651708	82	331	0,366228744	0,919464715
83	281	-0,105693778	0,399966796	83	281	0,367596513	1,003589833
84	231	-0,087341274	0,361607496	84	231	0,368076763	1,093843601
85	181	-0,068955203	0,322794784	85	181	0,368844847	1,185268654
86	131	-0,050517106	0,286526274	86	131	0,368860356	1,281030132
87	81	-0,03180714	0,257383758	87	81	0,368119359	1,378836071
88	31	-0,013166102	0,242540355	88	31	0,367672804	1,478388133
89	-50	0,016434915	0,264860581	89	-50	0,367166859	1,642249207

Tabella.8. Output del modello statistico in excel. Elaborazione di Vacchi, 2022.

Time steps	Year BP	SL_est	Error	Time steps	Year BP	Rate_est	Error	Historical chronology
10	3931	-1,506078597	0,229772741	10	3931	0,33749198	0,360435182	Rame 3: Periodo Prenuragico.
11	3881	-1,488886538	0,230386069	11	3881	0,349893517	0,335261166	
12	3831	-1,471076177	0,229243186	12	3831	0,362062921	0,323779929	Rame 3: Periodo Prenuragico.
13	3781	-1,452686953	0,226424492	13	3781	0,373132705	0,323464835	
14	3731	-1,433731129	0,222166134	14	3731	0,384752303	0,331393444	
15	3681	-1,414211455	0,21675882	15	3681	0,39552869	0,340981816	
16	3631	-1,39416904	0,210551533	16	3631	0,405719852	0,348302726	
17	3581	-1,373634438	0,203902575	17	3581	0,415216907	0,351573846	
18	3531	-1,352638946	0,197031781	18	3531	0,424130217	0,34964912	BM2: Periodo Nuragico I.
19	3481	-1,331203274	0,190066066	19	3481	0,432824798	0,345024933	
20	3431	-1,309363964	0,183168944	20	3431	0,440151825	0,338606853	BM3 e BR: Periodo Nuragico I-II.
21	3381	-1,287192467	0,176436179	21	3381	0,446250644	0,330399218	
22	3331	-1,264710515	0,169854004	22	3331	0,452517404	0,319962617	
23	3281	-1,241954201	0,163464252	23	3281	0,457247499	0,308948309	
24	3231	-1,218958993	0,157250201	24	3231	0,462111337	0,30042697	
25	3181	-1,1957597	0,151124971	25	3181	0,465330246	0,295118736	
26	3131	-1,172413861	0,145131002	26	3131	0,467859002	0,29086555	
27	3081	-1,148986034	0,139378819	27	3081	0,468767587	0,285400639	
28	3031	-1,125526862	0,133884245	28	3031	0,469418135	0,281910831	
29	2981	-1,102031187	0,128633068	29	2981	0,469591542	0,27819507	
30	2931	-1,078562155	0,123787403	30	2931	0,469031533	0,273252382	
31	2881	-1,05513725	0,119296204	31	2881	0,467426441	0,270265663	BF e PF: Periodo Nuragico III-IV. Precolonizzazione fenicia.
32	2831	-1,031826075	0,115324486	32	2831	0,465006249	0,268296741	
33	2781	-1,008629377	0,112026646	33	2781	0,462166734	0,264506064	
34	2731	-0,985560154	0,109274461	34	2731	0,459382609	0,262290998	PF: Periodo Nuragico IV. Inizio età fenicia.
35	2681	-0,962721371	0,107304931	35	2681	0,454971942	0,259407803	
36	2631	-0,940090978	0,106074578	36	2631	0,450097277	0,257958846	
37	2581	-0,917715839	0,105322178	37	2581	0,44327074	0,256828615	
38	2531	-0,895713521	0,105039381	38	2531	0,438000463	0,258955684	
39	2481	-0,873950462	0,105731675	39	2481	0,431520855	0,259762262	PF e SF: Periodo Nuragico IV-V. Età fenicio-punica.
40	2431	-0,852497518	0,107152519	40	2431	0,424059277	0,262806034	
41	2381	-0,831539495	0,108995998	41	2381	0,416411304	0,266750714	SF: Periodo Nuragico V. Presenza stabile punica.
42	2331	-0,811006649	0,111616343	42	2331	0,407339325	0,272304274	
43	2281	-0,79078417	0,114656603	43	2281	0,398919443	0,283875559	
44	2231	-0,77094395	0,118613463	44	2231	0,391074732	0,294436082	
45	2181	-0,751715315	0,123152821	45	2181	0,382689662	0,30713577	Conquista romana della Sardegna: 238 a.C.
46	2131	-0,732705157	0,128239469	46	2131	0,375108284	0,323147661	
47	2081	-0,714219544	0,134277871	47	2081	0,367495724	0,342522671	
48	2031	-0,695942653	0,141573201	48	2031	0,35963582	0,365269947	Età romana: I sec. a.C.
49	1981	-0,678081018	0,149835373	49	1981	0,352548395	0,394687196	
50	1931	-0,660766808	0,159527461	50	1931	0,346232267	0,42424811	
51	1881	-0,64363136	0,170594894	51	1881	0,340946687	0,457518963	Età imperiale romana: I sec. d.C.
52	1831	-0,626605927	0,183645379	52	1831	0,335304419	0,492788796	
53	1781	-0,609977969	0,19878876	53	1781	0,33019281	0,528256477	
54	1731	-0,593621486	0,215930856	54	1731	0,326513227	0,563089213	Età imperiale romana: III sec. d.C.
55	1681	-0,57726388	0,235254254	55	1681	0,322205498	0,597465111	
56	1631	-0,561115856	0,256182171	56	1631	0,31992945	0,630365599	
57	1581	-0,545329705	0,279521567	57	1581	0,316929432	0,659370007	
58	1531	-0,529685142	0,304226966	58	1531	0,315311278	0,682783048	
59	1481	-0,513802778	0,330410413	59	1481	0,313983704	0,698955576	Età imperiale romana: V sec. d.C.

Tabella. 9. Output del modello statistico in excel con indicazione delle date BP vicine alle datazioni ottenute dalle analisi al carbonio-14 dei campioni estratti dalla carota NRI con riferimento al periodo storico. Elaborazione di Vacchi, 2022.

D'altra parte, sempre a partire dai dati, sia datazioni sia quote, ottenute dal modello durante il lungo arco temporale tra l'inizio dell'età fenicia, 2731 BP, e l'età imperiale romana, 1731 BP, i valori pertinenti alla posizione del paleolivello oscillano tra $-0,98 \pm 0,11$ m s.l.m. e $-0,59 \pm 0,22$ m s.l.m. con una risalita del livello marino antico, considerando i tassi di $0,46 \pm 0,26$ mm all'anno e $0,33 \pm 0,56$ mm all'anno, pari a $0,13$ mm all'anno.

Questi numeri sono in tal modo molto utili perché da subito rendono chiaramente il concetto alla base della ricerca sul paleolivello marino, ovvero aiutano a capire come funziona il modello statistico qui adottato e danno immediatamente la percezione di dove si trovava in una determinata fase storica il mare e soprattutto come e a che velocità si è evoluto e innalzato. Una analisi così di dettaglio, non essendo ancora stata realizzata per i siti mediterranei e di conseguenza non avendo per ora confronti, è completamente innovativa e contribuisce a garantire che la ricerca a Nora sia costantemente aggiornata.

Oltre a ciò, otteniamo anche l'output grafico del modello (Fig. 50), che naturalmente illustra e riporta sottoforma di rappresentazione grafica su un asse cartesiano i dati appena visti, l'andamento del livello marino e il tasso di risalita.

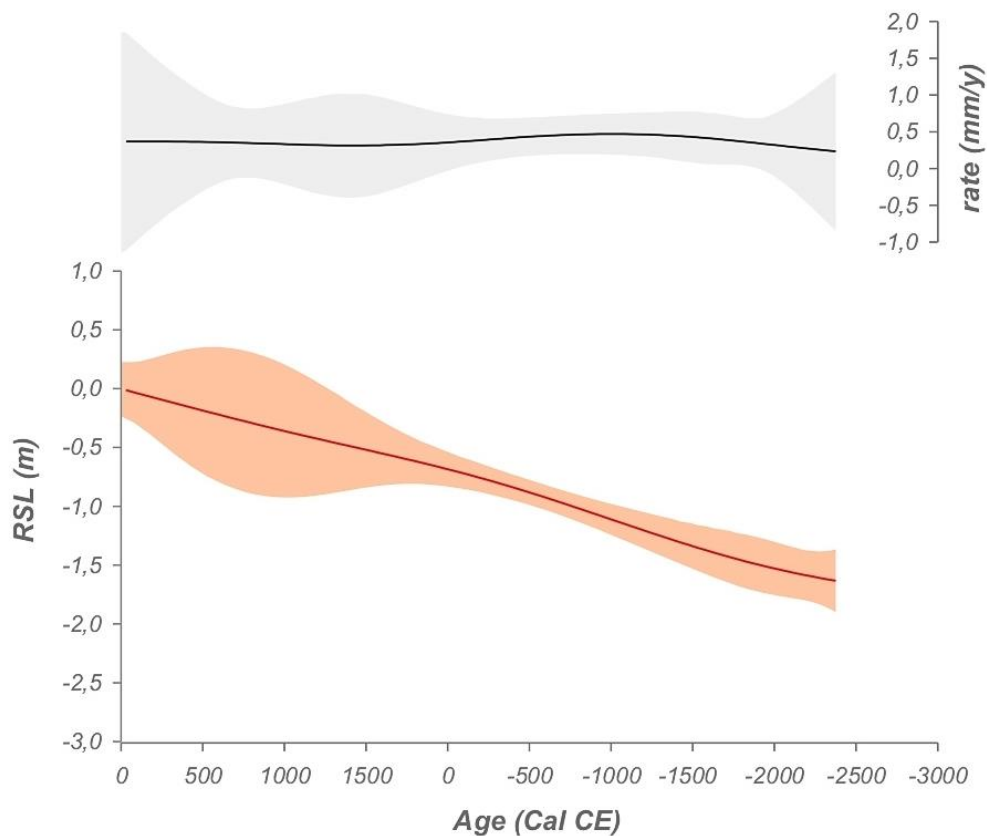


Fig.51. Immagine grafica ottenuta come output dal modello, la quale rispecchia i dati riportati nelle tabelle riportate e illustrate precedenti. Elaborazione di Vacchi, 2022.

Il grafico è composto dall'asse delle coordinate in cui è riportata l'età calibrata e l'intervallo scelto, pari a 500 anni, dall'asse delle ordinate in cui è indicato la posizione del livello del mare relativo e in alto dal rate o tasso di risalita. Se, a titolo d'esempio, consideriamo l'età compresa tra il -500 e lo 0, ovvero corrispondente alla seconda metà del I millennio, è possibile osservare come il tasso di crescita si attesti sempre sui 0,3/0,4 mm all'anno. Questo risultato è normale e corretto anche in base a ciò che già conosciamo per l'Olocene recente, vale a dire per gli ultimi 6000 anni, in cui non sono attestate grandi variazioni e il livello del mare è abbastanza stabilizzato. La porzione grigio chiara intorno alla barra rappresenta l'errore e varia molto in conformità di dove abbiamo i dati e in base alla quantità di questi, infatti, ricordiamo, più dati possediamo e più diminuirà l'errore. Questa figura è stata realizzata usando tutte le date e le quote prodotte dal modello statistico, per cui rappresenta un riferimento da un lato complessivo dello scenario ma dall'altro non del tutto specifico, per noi, poiché su di esso non sono stati espressamente e unicamente plottati i dati delle carote NR1 e NR3.

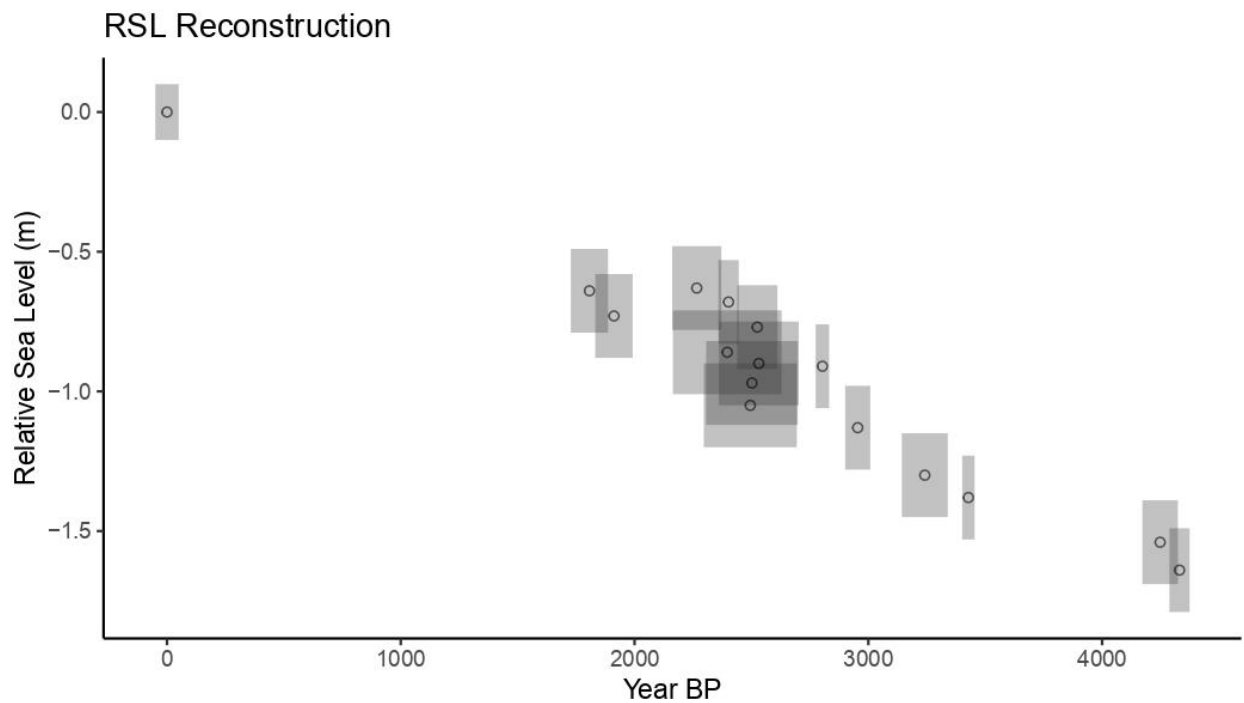


Fig.52. Ricostruzione del livello del mare relativo.

Immagine grafica con la rappresentazione unicamente dei dati grezzi (raw data) ricavati dalle carote NR1 e NR3. I quadratini corrispondono ai dati della carota mentre i cerchi vuoti rappresentano il punto mediano. Si vede bene come per ogni punto vi sia un errore verticale e un errore orizzontale. Elaborazione di Vacchi, 2022.

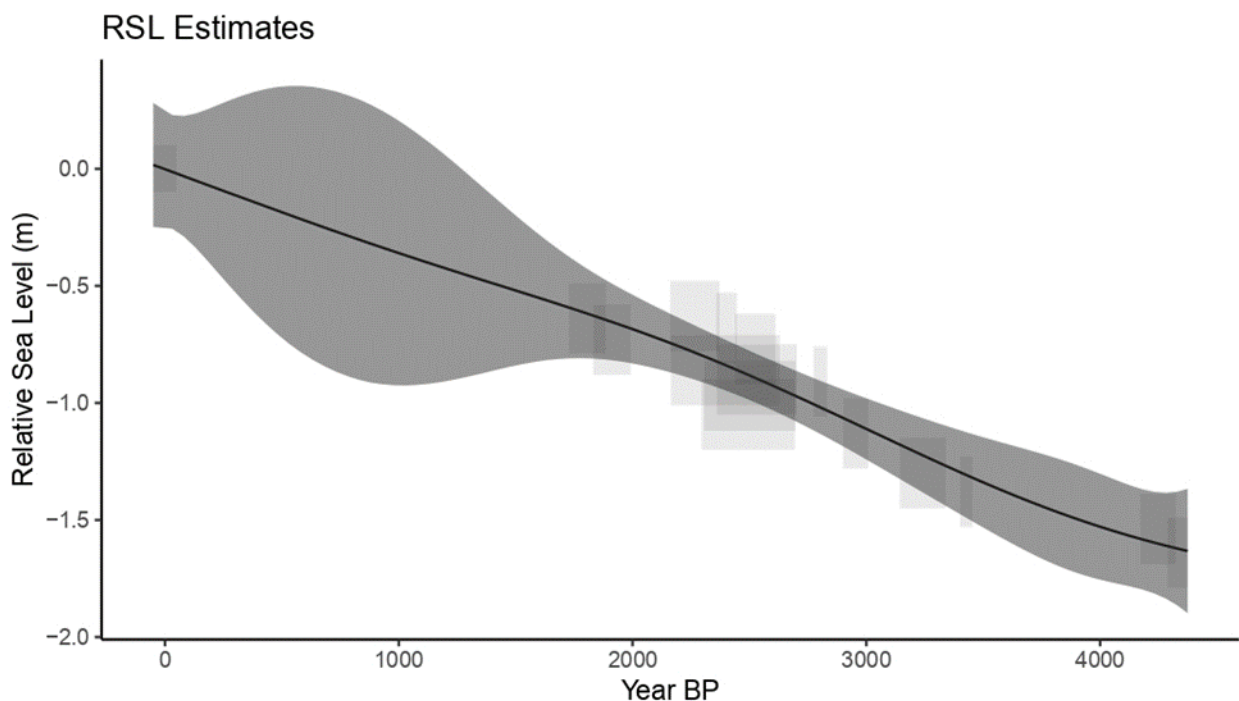


Fig.53. Stima del livello del mare relativo.

Immagine grafica ottenuta in output dal modello che rappresenta il riferimento complessivo dello scenario ambientale legato alla variazione del paleolivello del mare, sulla quale sono stati inseriti e sovrapposti i dati geologici relativi specificatamente alle carote NR1 e NR3. Elaborazione di Vacchi, 2022.

In primo luogo è quindi stata elaborata una ricostruzione del livello del mare relativo (RSL) inserendo sull'asse cartesiano – con le datazioni espresse in anni BP, quindi non calibrate, e con la posizione in metri del mare – unicamente i dati grezzi estratti sia dalla carota NR1 sia dalla carota NR3 (Fig.52) e, in secondo luogo, è stata realizzata una stima del livello del mare relativo (RSL) andando a sovrapporre questi valori grezzi all'immagine grafica ottenuta in output dal modello e che rappresenta il riferimento complessivo dello scenario ambientale legato alla variazione del paleolivello del mare (Fig. 53). Si osserva molto bene come l'errore si riduce dove sia ha la maggior parte dei dati.

Grazie a questo approccio informatico, che è in continua implementazione e tenta di andare così oltre gli altri modelli proposti, è possibile dare una nuova lettura dei tempi e dei modi dell'evoluzione marina e avanzare nuove ricostruzioni del paleolivello sul lungo e sul breve periodo. Tuttavia per raggiungere tale fine, a questo metodo principalmente geologico e matematico, in modo tale da avere un ulteriore controllo e una visione completa, è necessario in parallelo affiancare il dato archeologico²²² e ragionare sulle strutture antropiche che attualmente sono visibili sommerse, semi sommerse o in stretto contatto con il mare e, quindi, sui differenti rapporti spaziali che dovevano esistere nell'antichità (Fig.54).

In entrambi questi studi, geologico e archeologico, bisogna anche tenere in considerazione che tutti i dati sono stati acquisiti ed elaborati dallo stesso gruppo di ricercatori e la loro affidabilità risulta dunque verificata, tramite quindi un controllo interno e reciproco, pur coi limiti dovuti prettamente al dato archeologico, come la datazione precisa, la funzione e quindi anche il posizionamento esatto rispetto alla linea di riva. Dati archeologici raccolti invece da diversi studiosi e in separata sede, come è stato effettivamente per Nora, sono spesso poco solidi e discutibili.

²²² Citiamo in riferimento i principali lavori, editi in letteratura, condotti dal Dipartimento di Beni Culturali dell'Università di Padova negli ultimi dieci nell'ambito del progetto "Nora e il mare". Tali studi sono stati realizzati prendendo in esame l'andamento della linea di costa, la batimetria e le strutture archeologiche in connessione con il livello marino presente o attualmente sommerse al fine di comprendere e ricostruire attraverso il datum archeologico la variazione del livello del mare in epoca storica:

Bonetto J., Falezza G., Bertelli A., Ebner D., *Nora e il mare. Il progetto Noramar. Attività 2011*, in Quaderni Norensi 4, Padova 2012 pp. 327-338; Bonetto J. (a cura di), *Nora e il mare, I. Le ricerche di Michel Cassien (1978-1984)*, Scavi di Nora, IV, Padova, 2014; Bonetto J., Bertelli A., Carraro F., Gallucci G., Metelli M.C., Minella I., "Nora e il mare": *ricerche e tutela attorno agli spazi costieri della città*, in "L'Africa romana. Momenti di continuità e rottura: bilancio di trent'anni di convegni Atti del XX Convegno Internazionale di studi, Alghero-Porto Ricerche, 26-29 settembre 2013", Roma 2015, pp. 1841-1860; Bonetto J., *Spazio terrestre e spazio marino a Nora: dallo studio storico-archeologico alla carta del rischio idrogeologico*, in Angiolillo S., Giuman M., Carboni R., Cruccas E. (a cura di), *Nora Antiqua, Atti del Convegno di Studi Cagliari (Cittadella dei Musei 3-4 ottobre 2014)*, 2016, pp. 199-208; Carraro F., Metelli M.C., *Il progetto Nora e il mare: scenari ricostruttivi e previsionali dello spazio costiero*, in M. Capulli (a cura di), *Il patrimonio culturale sommerso, ricerche e proposte per il futuro dell'archeologia subacquea in Italia*, Atti del convegno, Udine, 2016, Udine 2018, pp. 253-258; Bonetto J. Carraro F., Mazzariol A., *Nora e il mare. La necropoli punica orientale: le nuove acquisizioni e il rischio idrogeologico*, in Quaderni Norensi 6, Padova 2017, pp. 191-200; Bonetto J. Sanna I., Carraro F., Metelli M.C., Minella I., Arcaini R., Soro L., Del Vais C., Fanni S., Sirigu M., Congia C., Lecca C., *Nora e il mare. Le indagini nelle aree sommerse e subacquee 2014-2015*, in Quaderni Norensi 6, Padova 2017, pp. 201-211.



Fig.54. Elenco ed indicazione delle principali strutture archeologiche sommerse o semi-sommerse posizionale lungo il perimetro costiero di Nora. Elaborazione di Bonetto, Carraro e Metelli, 2022.

Struttura archeologica	Coordinata est (3003)	Coordinata nord (3003)	Quota (m slm, mareografo Cagliari 1956)	Cronologia
Muro grecale 1	1501257,01	4315350,5	-0,78	Età romana: 200 a.C. - 200 d.C.
Base visibile della fronte nord di uno dei blocchi in arenaria del muro che limita l'insenatura di grecale.				
Muro grecale 2	1501269,58	4315346,19	-0,89	Età romana: 200 a.C. - 200 d.C.
Base visibile della fronte nord di uno dei blocchi in arenaria del muro che limita l'insenatura di grecale.				
Arsenali 1	1501409,29	4315292,45	-0,64	Età punico-romana: 300 a.C. - 200 d.C.
Base visibile della fronte nord del muro in grandi blocchi disposto in senso est-ovest.				
Arsenali 2	1501400,41	4315298,78	-0,83	Età punico-romana: 300 a.C. - 200 d.C.
Base visibile della fronte sud del muro in grandi blocchi disposto in senso est-ovest.				
Cave orientali	1501442,69	4315273,49	-0,37	Età punico-romana: 500 a.C. - 0
Quota del piede di taglio della cava di arenaria visibile a mare, presso l'ex biglietteria del sito.				
Carotaggio presso la Casa Sarda	1501577,99	4315064,33	-0,15	Indefinito
Piano sterile in andesite rossastra alterata, individuato tramite carotaggio profondo. Sul piano sterile venne recuperato un frammento di parete di anfora fenica a patina verdognola databile nell'ambito del VI sec. a.C. Tale piano è posto ad una quota di - 1,8 m dal piano di calpestio dello slargo dello stradello che conduce alla casa sarda.				
Foro	1501529,21	4315009,5	-0,15	Età romana: 40 a.C. - 20 a.C.
Trincea di fondazione del muro di chiusura meridionale del Foro.				
Basilica civile	1501544,48	4315007,02	-0,41	Età romana: 40 a.C. - 20 a.C.
Fondazione del muro meridionale della basilica civile foro.				
Terme di Levante 1	1501488,13	4315172,94	-0,61	Età romana: 50 d.C. - 300 d.C.
Fondazione del muro a mare direzionato N-S e lungo 43,5 m, ad est delle Terme di Levante.				
Terme di Levante 2	1501485,1	4315166,7	-0,49	Età romana: 50 d.C. - 300 d.C.
Fondazione di uno dei blocchi che costituiscono un allineamento a mare di blocchi N-S, ad est delle Terme di Levante.				
Molo Schmiedt 1	1501096,29	4315101,13	-0,83	Età punico-romana: 300 a.C. - 200 d.C.
Molo Schmiedt 2	1501164	4315053,244	-1,06	Età punico-romana 300 a.C. - 200 d.C.
Molo Schmiedt 3	1501098,19	4315102,28	-0,87	Età punico-romana 300 a.C. - 200 d.C.
Quote relative ai blocchi di fondazione del molo frangiflutti a mare.				
Basilica cristiana 1	1501244,2	4315065,214	-0,38	Fine del IV sec. d.C. - prima metà del V sec. d.C. (390 d.C. - 450 d.C.)
Quota della fronte ovest della fondazione dell'abside della Basilica.				
Basilica cristiana 2	1501249,35	4315054,66	-0,69	Fine del IV sec. d.C. - prima metà del V sec. d.C. (390 d.C. - 450 d.C.)
Quota del piede dell'ultimo filare visibile delle fondazioni della Basilica.				
Battistero della Basilica 1	1501256,68	4315086,15	-0,15	Fine del IV sec. d.C. - prima metà del V sec. d.C. (390 d.C. - 450 d.C.)
Quota della base visibile della fondazione del Battistero.				
Battistero della Basilica 2	1501260,04	4315087,55	0,48	Fine del IV sec. d.C. - prima metà del V sec. d.C. (390 d.C. - 450 d.C.)
Quota del coclopesto che riveste internamente il Battistero.				
Cave Fradis Minoris	1500452,92	4315209,22	-0,39	Età punico-romana: 500 a.C. - 200 d.C.
Blocco non cavato di fronte alla penisola di Is Fradis Minoris				
Cave di Perd'e Sali	1502209,6	4319130,3	-0,72	Età romana: 200 a.C. - 200 d.C.
Piede di taglio della cava di arenaria visibile nell'area di Perd'e Sali. Misurazione effettuata in condizioni di bassa marea.				
Terme a mare	1501276,09	4315024,9	-0,05	Fine del II sec. d.C. - primi anni del III sec. d.C. (190 d.C. - 210 d.C.)
Base della fondazione del muro perimetrale occidentale delle Terme a mare, allineato N-S, ad ovest del tepidarium.				

Tabella. 10. Elenco delle strutture archeologiche sommerse o semi-sommerse di Nora con le relative quote rispetto al mareografo di Cagliari, 1956 e le datazioni. Elaborazione di Bonetto, Carraro, Metelli, 2022.

In generale, osservando solo le quote degli indicatori archeologici di Nora (Tabella 10), si può notare per lo stesso periodo storico considerato dei valori divergenti: questo avviene perché gli edifici, le strutture e le cave indagate da un lato seguono l'andamento geomorfologico della penisola, non si trovano nella stessa posizione rispetto al mare e dall'altro hanno subito usi e modifiche diverse nel tempo, di conseguenza questi dati sono relativi e sono da esaminare caso per caso valutando di volta in volta lo scenario complessivo, come la funzionalità e la posizione rispetto al mare.

Il risultato che otteniamo è comunque molto positivo poiché la ricostruzione SRL e i valori del paleolivello effettivamente si allineano abbastanza bene ai marker archeologici rilevati, nonostante i diversi limiti; è quindi davvero interessante notare a Nora una tale coerenza di dati.

Consideriamo, ad esempio, per l'età punico-romana compresa tra il 300 a.C. e il 200 d.C. le quote prese sia alla base degli Arsenali 1 e 2 del lato orientale e poste a -0,64 e -0,83 m s.l.m. sia dal noto "Molo Schmiedt" che sono -0,83, -1,06 e -0,87 m s.l.m. secondo il mareografo di Cagliari (1956). Facendo quindi un confronto per lo stesso periodo punico-romano e successivamente solo romano il modello ha restituito delle quote del paleolivello marino che vanno da -0,81 a -0,59 m s.l.m. Per cui vi è una concordanza e nel momento in cui ad esempio gli Arsenali sono stati costruiti erano sicuramente prossimi al mare ma non toccati da esso mentre il livello marino, nel frattempo dall'età punico-romana a pienamente romana imperiale, è cresciuto di 0,08 mm all'anno.

Prendendo un altro esempio relativo all'età romana e in particolare tra il I e il IV sec. d.C. facciamo riferimento alle quote prese dalle fondazioni di un muro e di un blocco delle Terme di Levante che misurano -0,61 e -0,49 m s.l.m., le quali si allineano molto bene al modello che ha dato delle quote comprese tra -0,64 e -0,54 m s.l.m. Di conseguenza, anche per l'edificio delle Terme di Levante, affacciate sulla cala orientale, la costruzione è avvenuta in un momento in cui il mare si attestava più basso. Il tasso di risalita e variazione del paleolivello in questo caso è di circa 0,02 mm all'anno. Infine, sottolineiamo anche che le quote sia della trincea di fondazione del muro di chiusura del Foro, -0,15 m s.l.m., che del muro meridionale di fondazione della Basilica civile, -0,41 m s.l.m., sono molto basse rispetto alle misure del modello, il quale per gli anni tra il 40 a.C. e il 20 a.C. fornisce una quota più profonda pari a -0,67 m s.l.m. Quindi il livello del mare si trovava a una altezza ovviamente inferiore al piano di cantiere del muro meridionale di chiusura del Foro romano, il quale oggi si trova sommerso soprattutto a causa dei processi costieri, ovvero delle mareggiate, del moto ondoso e pertanto della conseguente e costante azione di erosione. La costa e la cala meridionale sono infatti quelle più esposte ai venti di mezzogiorno e scirocco. Concludiamo dicendo che sicuramente in tutto questo processo ha influito anche la crescita del mare, il quale però, osservando l'entità della variazione, non ha rappresentato l'agente principale.

Il passo successivo consisterà, e in parte si è già cominciato, nell'affinare ancora di più il record e aggiungere direttamente al modello, ovvero alle quote dei sondaggi NR1 e NR3, le quote delle misure degli indicatori archeologici, posizionati nella figura (Fig. 54) ed elencati nella tabella (Tabella 10), in modo tale che siano riferiti allo stesso datum e per vedere sia cosa ne risulta sia se vi siano quindi corrispondenze o dissonanze. I valori delle quote archeologiche potrebbero infatti correggere ulteriormente la precisione delle quote del modello e diminuire l'entità dell'errore.

In questa sede ci limiteremo a illustrare il procedimento iniziale e il primo risultato ottenuto andando a mettere insieme i dati geologici con i dati archeologici. Specificatamente tutti i dati, cioè le datazioni dei campioni geologici, la quota del livello del mare con i relativi errori, le strutture, ossia i marker archeologici, le quote di elevazione e la cronologia, sempre con indicazione dell'errore, sono stati plottati nell'immagine grafica precedentemente ottenuta (Fig.53), strutturata con l'indicazione del livello del mare relativo in metri (RSL) sull'asse delle ordinate e con il riferimento temporale non più in anni *Before Present* (BP) ma in anni calendaristici avanti o dopo cristo (AD/BC). Va puntualizzato che, per ora, nella figura grafica non sono stati plottati tutti i marker archeologici rilevati e misurati a Nora ma solo i più profondi. Questa scelta iniziale e temporanea ovviamente né limita né vieta la possibilità di aggiungerli tutti in un secondo momento dello studio. Riportiamo un esempio al fine di rendere meglio comprensibile la lettura e l'interpretazione dei grafici seguenti (Fig.55). Il cd. "Molo Schmiedt", datato tra l'età punico-romana (300 a.C.- 200 d.C.) e le cui quote in metri rispetto al livello del mare attuale secondo il mareografo Cagliari (1956) sono -0,83 m, -1,06 m e -0,87 m, vediamo che si allinea molto bene alla linea di stima del paleolivello del mare, il quale per la fase storica tra V, IV e III sec. a.C. si attesta tra -0,83 m e -0,70 m s.l.m.

Dati Geologici				Dati Archeologici		Elevazione	Error	Age	AgeError (±)
Age	RSL	AgeError (±)	RSL error						
				Base muro		-0,78	0,05	2000	100
				Base muro		-0,89	0,05	2000	100
1807	-0,64	79,5	0,2	Base muro		-0,64	0,05	2050	150
1912	-0,73	80	0,2	Base muro		-0,83	0,05	2050	150
2396,5	-0,86	232,5	0,2	Piede cava		-0,37	0,05	2250	250
2531,5	-0,9	170,5	0,2			-0,15	0,05	2030	10
2502	-0,97	196	0,2	Fondazione basilica		-0,41	0,05	2030	10
2495	-1,05	199	0,2	Fondazione terme		-0,61	0,05	1825	125
2266	-0,63	105	0,2	Fondazione terme		-0,49	0,05	1825	125
2402	-0,68	43,5	0,2	Molo schmiedt		-0,83	0,05	2250	250
2525	-0,77	86	0,2	Molo schmiedt		-1,06	0,05	2250	250
2803,5	-0,91	28,75	0,2	Molo schmiedt		-0,87	0,05	2250	250
2954,5	-1,13	53,75	0,2	Fondazione abside		-0,38	0,05	1580	30
3241,5	-1,3	98,25	0,2	Fondazione abside		-0,69	0,05	1580	30
3428	-1,38	26,5	0,2	Fondazione battistero		-0,15	0,05	1580	30
4248	-1,54	76	0,2			0,48	0,05	1580	30
4331	-1,64	43,25	0,2	Blocco cava		-0,39	0,05	1850	350
				Fondazione cave		-0,72	0,05	2000	200

Tabella 11. Elenco dei dati geologici, ottenuti dall'analisi dei campioni della carota, e dei dati archeologici derivati dall'individuazione delle strutture connesse al mare, dalla loro misurazione e datazione. Elaborazione di Vacchi, 2022.

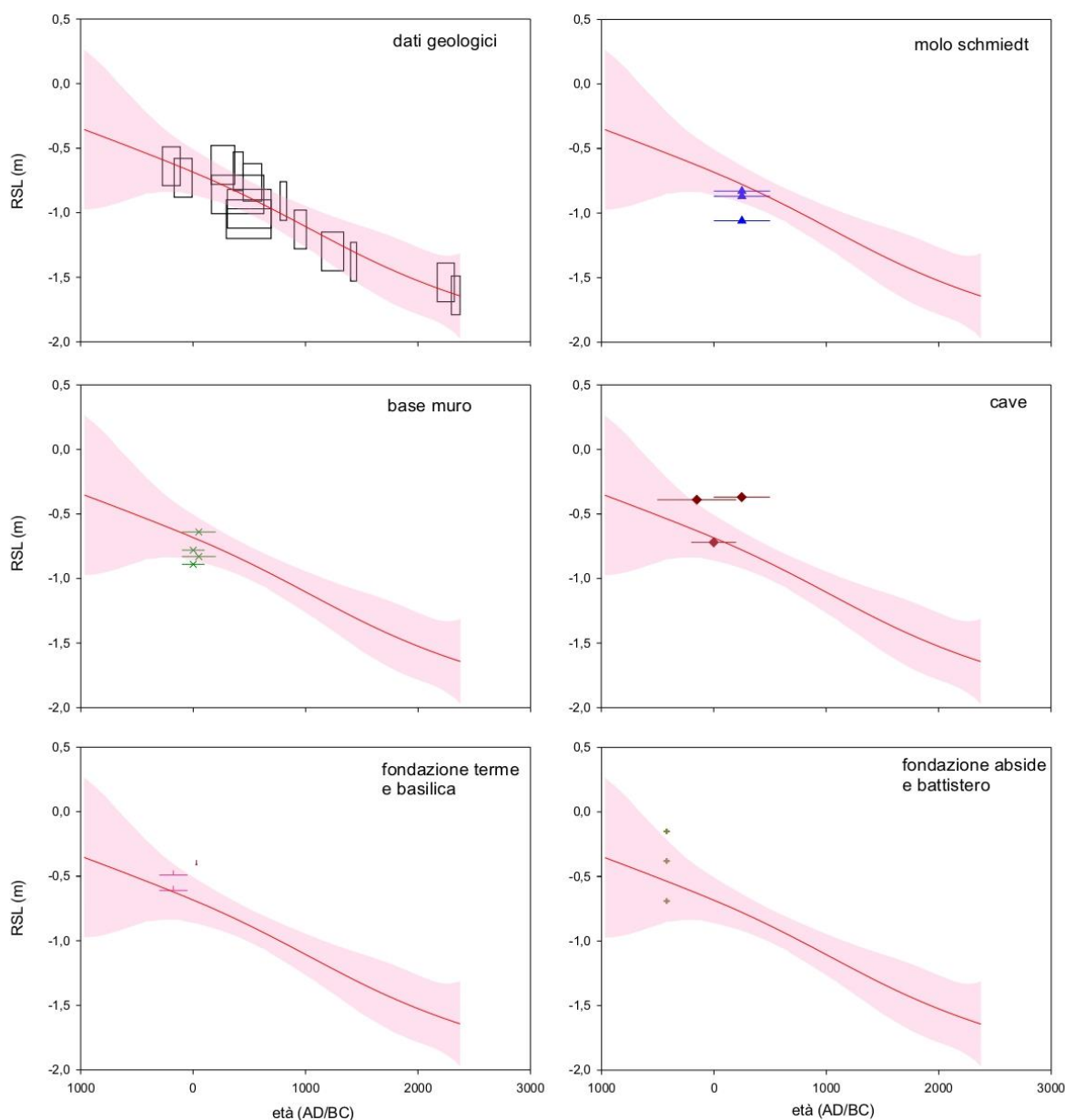


Fig. 55. Immagini grafiche esito dell'operazione di plottaggio prima dei soli dati geologici e dopo dei dati archeologici riferibili ai marker più profondi sulla linea di stima del paleolivello marino (RSL). È ben visibile quindi il rapporto funzionale e la relazione spaziale tra le strutture e il mare antico. Elaborazione di Vacchi, 2022.

Di conseguenza per il suddetto molo, una poderosa struttura di origine antropica sommersa nella cala nord-occidentale riconosciuta tramite ricognizione aerea dal generale Schmiedt, è stata confermata grazie al rapporto con il livello del mare antico e contemporaneo alla sua costruzione, la più recente proposta di lettura. Difatti, da subito venne interpretato, in termini funzionali, come

opera foranea e più nello specifico come molo punico e poi romano per l'attracco e l'alaggio delle imbarcazioni. Tuttavia, la struttura, oggetto di ripetute indagini, interventi e rilievi da cui sono state prodotte piante e sezioni, non presenta né un fondale sufficientemente basso per l'approdo di barche e/o di piccole navi alla fonda né bitte per l'ormeggio nei blocchi, i quali spesso sono anche ottimi indicatori della variazione del livello del mare. Quest'opera allora doveva molto probabilmente costituire un limite fisico e artificiale tra il mare aperto e il litorale e così garantire una protezione come frangiflutti, posto quindi in corrispondenza del pelo dell'acqua, contro l'azione erosiva causata dal moto ondoso e dalle violente mareggiate attribuibili al libeccio, il vento umido proveniente da sud-ovest.

Nel complesso i dati per Nora non sono solo molto significativi ma anche promettenti. Nel valutare tutti i risultati che abbiamo fino a questo momento e facendo specificatamente rimando all'immagine grafica ottenuta in output dal modello che rappresenta il riferimento complessivo dello scenario ambientale legato alla variazione del paleolivello del mare, sulla quale sono stati inseriti e sovrapposti i dati relativi specificatamente alle carote NR1 e NR3 (Fig. 52), possiamo indicare con notevole precisione le quote del livello del mare per ogni fase storica dell'epoca antica. Per il periodo Prenuragico e successivamente Nuragico, ovvero tra i 4000 e i 3000 anni fa, il mare doveva avere un livello compreso tra -1,50 m e -1,30 m s.l.m. I gruppi fenici che giunsero a toccare le coste norensi circa 2800 anni fa, ossia verso il IX sec. a.C., si trovarono invece un livello del mare già diverso e cresciuto tanto è vero che si attesta intorno a -1 m s.l.m. per poi crescere ulteriormente durante tutta l'età fenicia e punica arrivando circa 2300 anni fa, ovvero nel IV sec. a.C., a -0,80 m s.l.m., sempre rispetto allo scenario marino attuale. Seguendo questo ragionamento osserviamo che vi è una evoluzione e crescita continua e significativa anche per tutto il lungo periodo di dominazione romana della penisola, dalla conquista nel III sec. a.C. all'arrivo dei Vandali nella metà del V sec. d.C. In particolare, 2000 anni fa e nello specifico nel 238 a.C. corrispondente alla fase repubblicana e alla fase intermedia tra le prime due guerre puniche il livello marino norense è attestato a -0,75 m s.l.m. ed è cresciuto fino all'avvio e alla piena età imperiale di circa 11 cm arrivando a -0,64 m s.l.m. Infine, tra il III e il V sec. d.C., ovvero prima dell'arrivo degli invasori vandali e del successivo abbandono della città antica, il paleolivello oscilla crescendo tra -0,59 m e -0,51 m s.l.m. con una variazione in due secoli circa di quasi 9 cm.

Se tutti i nostri dati concreti, derivati sia dallo studio del sondaggio sia dalle evidenze archeologiche, e le nostre analisi e valutazioni sono corrette allora è possibile anche affermare che sono stati ottenuti nuovi risultati e nuove prospettive in cui inquadrare l'evoluzione dell'ambiente di Nora. Questa nuova riesamina contrasta decisamente con le curve prodotte da altre ricerche fino

ad ora prese come riferimento²²³. In modo particolare, le quote fenicie e romane differiscono molto sia da quelle date dal modello di Lambeck, il quale al contrario ha sempre suggerito che il paleolivello marino, e quindi la riva, per il periodo romano si trovasse tra -1,20 e 1,40 m s.l.m.²²⁴ sia con la ricostruzione elaborata da Antonioli che sostiene, per Nora, una variazione del livello del mare di $1,26 \text{ m} \pm 0,30 \text{ m}$ da 2000 ± 300 anni BP²²⁵.

Infine, sottolineiamo, come appunto di chiusura ma anche utile e rimarchevole, che tutti i dati acquisiti, elaborati e ivi presentati coincidono bene con i record del Nord della Sardegna e quelli della Corsica²²⁶.

²²³ Questa nuova ricerca mette in risalto anche il limite del dato archeologico considerato da solo e soprattutto la discrepanza con alcuni lavori precedenti che asserivano per Nora una variazione del livello del mare a partire dall'età romana di -1,40 m s.l.m.: Carraro F., Metelli M.C., *Il progetto Nora e il mare: scenari ricostruttivi e previsionali dello spazio costiero*, in Capulli M. (a cura di), *Il patrimonio culturale sommerso: ricerche e proposte per il futuro dell'archeologia subacquea in Italia*, Atti del V Convegno Nazionale di Archeologia Subacquea (Udine, 7-10 settembre 2016), Udine 2018, pp. 253-258. Bonetto J., Carraro F., Metelli M.C., Sanna I., *The "Nora and the Sea" Project: the sunken and the flooding city*, International WCRP/IOC Conference on Regional Sea Level Changes and Coastal Impacts Columbia University, New York, 10-14 luglio 2017.

²²⁴ Lambeck *et alii*, 2004; Lambeck *et alii*, 2011.

²²⁵ Antonioli *et alii*, 2012.

²²⁶ Uno studio molto interessante riguardante il Nord della Sardegna è ad esempio Vacchi M., Ghilardi M., Stocchi P., Furlani S., Rossi V., Buosi C., Rovere A., De Muro S., *Driving mechanisms of Holocene coastal evolution in the Bonifacio Strait (Western Mediterranean)*, in *Marine Geology* 427, 2020, pp. 1-14. Per quanto riguarda la Corsica possiamo invece citare Vacchi M., Ghilardi M., Spada G., Currás A., Robresco S., *New insights into the sea-level evolution in Corsica (NW Mediterranean) since the late Neolithic*, in *Journal of Archaeological Science: Reports*, Vol. 12, 2017, pp. 782-793; Di Rita F., Ghilardi M., Fagel N., Vacchi M., Warichet F., Delanghe D., Sicurani J., Martinet L., Robresco S., *Natural and anthropogenic dynamics of the coastal environment in northwestern Corsica (western Mediterranean) over the past six millennia*, in *Quaternary Science Reviews*, Vol. 278, 2022.

Conclusioni

*“Dove inizia la fine del mare?
Sto qui, a un passo, e neanche riesco a capire, lui, dov'è”.*
(A. Baricco)

A cosa serve davvero l'archeologia? Rispondere a questa domanda, che spesso viene posta, sarebbe qui impossibile e richiederebbe comunque una lunga e articolata dissertazione. Come disciplina è stata spesso usata per legittimare la contemporaneità o a scopo propagandistico oppure per alcuni non avendo un intrinseco valore alimentare appare inutile o per altri ancora nell'ambito di progetti di edilizia pubblica o privata costituisce un fastidioso intralcio. Infine, per tante persone è identità culturale, è il passato in cui giacciono le radici di una e allo stesso tempo di tutte le comunità.

L'archeologia serve però anche contestualizzare, inserire non solo in un tempo ma anche in uno spazio antropico o naturale, comunque in un luogo preciso, un evento o un manufatto e la civiltà che lo ha prodotto e perciò, in unione con altre discipline come le scienze naturali, può aiutare a ricostruire un determinato ambiente del passato.

Sia per la Sardegna di età storica, quindi per gli ultimi tre millenni, sia in particolare per la città antica di Nora, come abbiamo esposto brevemente in questo lavoro, le recenti e costantemente innovative ricerche geomorfologiche subacquee e costiere, grazie al contributo di diverse indagini specialistiche ad alta risoluzione, quali paleontologiche e palinologiche, alle analisi radiocarboniche e all'utilizzo di markers archeologici oltre che biologici e geologici, hanno consentito di delineare una notevole dinamica dei paesaggi costieri. Perciò, si è tentato di portare all'attenzione non solo le tracce dell'interazione esistente tra gli aspetti fisici e biologici dell'ambiente e le civiltà del passato, che sono archiviate nel record sedimentologico e geomorfologico delle pianure alluvionali e costiere, ma anche le risposte sedimentarie e ambientali sia passate sia presenti ai cambiamenti climatici e alle variazioni relative del livello del mare, la cui conoscenza è oggi fondamentale per l'uso e la gestione efficiente del suolo di queste aree nel futuro. Possiamo quindi parlare anche per Nora, alla pari di altri centri costieri mediterranei, di una co-evoluzione delle realtà insediative e produttive con i corpi deposizionali e l'idrografia del territorio che ha determinato una storia complessa e pluristratificata visibile ai nostri occhi come una o più successioni di carotaggio dalle quali poi si evincono le differenti *facies* deposizionali.

L'obiettivo dell'indagine territoriale consisteva proprio nel giungere, dopo un lavoro metodologico di analisi e di studio sia pratico sia teorico, ad interpretare le relazioni e le trasformazioni intercorse

sia tra ambiente marino lagunare e costiero sia tra spazio naturale e umano per proporre innanzitutto una prima ricostruzione paleoambientale, fisica ed ecologica ma anche economica e antropica dell'area territoriale esterna all'ismo e retrostante la laguna di Nora controllata dalla città antica; e, successivamente, valutare l'evoluzione del paleolivello del mare e l'entità della variazione, almeno per le fasi di frequentazione fenicio-punica e inizio dell'età romana rispetto ad oggi, grazie all'applicazione di un nuovo modello statistico. Tale ricerca, ricordiamo, è sempre funzionale e strettamente connessa all'annosa e complessa questione della precisa localizzazione del principale bacino portuale del centro antico e quindi della reale funzione in epoca antica della Peschiera o laguna di Nora, che in passato, a differenza della situazione attuale, era ancora aperta e collegata con il mare. A tutto ciò, quale iniziale ed immediato esito dei primi dati raccolti e dei primi risultati conseguiti, è seguita questa trattazione che si è concentrata e strutturata in modo specifico sulla descrizione e discussione del primo sondaggio eseguito durante la campagna di carotaggi 2021, ovvero la carota NR1, con alcuni doverosi e necessari riferimenti alle recenti informazioni acquisite dalla carota NR3. Quest'ultima, ancora in fase di studio e oggetto delle ultime analisi, si è già rivelata potenzialmente molto interessante e promettente, alla pari degli altri sondaggi realizzati, e per di più permetterà sicuramente di ampliare il quadro conoscitivo futuro poiché è stata estratta in una zona differente e leggermente decentrata. Da un lato, infatti, la carota NR1 è stata prelevata ai margini più lontani dell'area di retrolaguna caratterizzata da un ambiente attualmente lagunare di barena, mentre dall'altro la carota NR3 è stata ottenuta nella fascia di terraferma, caratterizzata perciò da un ambiente asciutto, alle spalle della penisola di Is Fradis Minoris adiacente lo sbocco del Canale Saliu e la laguna di Nora (Fig. 56).



Fig. 56. Foto della laguna o Peschiera di Nora e della zona umida retrostante. Nella foto, scattata mentre venivano prese tramite stazione totale i punti precisi di carotaggio e le quote rispetto al livello del mare delle carote, sono indicate le zone in cui sono state estratte le carote NR1 e NR3. Foto panoramica di Venturoli, 2021.

Per raggiungere lo scopo prefissato è stato allora essenziale il lavoro di una équipe atta a rilevare sul terreno sia il dato geologico sia il dato archeologico seguendo una metodologia calibrata e pensata

per rispondere alle caratteristiche meccaniche e tessiturali del sedimento, alle analisi programmate e alle domande e agli obiettivi della ricerca. Ovviamente fin da subito si è anche preventivato il rischio che la discrepanza tra la reale entità del popolamento e dello sfruttamento antico dell'area scelta e quindi le sue tracce ancora leggibili sul terreno fosse così forte da restituire un'immagine lacunosa e non abbastanza utile ai fini del progetto. Infine, un altro aspetto che si è rivelato limitante durante le operazioni di campo e i carotaggi è stata la conformazione e la natura dell'area da indagare: infatti, la preponderanza di rigogliosa vegetazione a macchia mediterranea e dalla flora alofila palustre tipica delle zone umide salmastre ha reso difficile l'accesso e lo spostamento; inoltre, se presenti, l'individuazione in questa tipologia di ambienti di emergenze archeologiche che non siano monumentali oppure di materiali, come scorie e strumenti di lavorazioni o ancora frammenti ceramici, è quasi nulla anche per la mancanza di attività di movimentazione del suolo; in terzo luogo sottolineiamo pure l'input antropico che ha alterato o reso comunque inaccessibili alcune porzioni non secondarie del territorio perilagunare.

Questo elaborato, chiaramente, non esaurisce le potenzialità informative del metodo geoarcheologico multidisciplinare ma ha tentato, applicandolo a un caso di studio vasto e articolato come il contesto di Nora, di mostrarne le possibilità e i vantaggi. Perciò, in conclusione, quale esito di tale approccio rimarchiamo qui in modo conciso i due maggiori risultati e le ipotesi di lavoro correlate; entrambi, però, dovranno essere sia ripresi, quali punti di partenza, negli studi successivi e nelle future attività d'indagine, soprattutto nel momento di progettazione e di programmazione di nuove operazioni da condurre sul campo, sia rivalutati.

Il primo risultato riguarda la considerevole trasformazione dell'ambiente retrostante l'attuale laguna e l'evoluzione dei rapporti tra i differenti elementi e forme geomorfologiche che hanno dato luogo attualmente, a partire da una area di terraferma emersa e completamente aperta sul mare, a una zona esclusivamente salmastra di terraferma temporanea in posizione intertidale che si è originata gradualmente isolandosi rispetto allo spazio marino. Riepilogando in breve, si sono ricostruite teoricamente sia le fasi cruciali di mutamento ed evoluzione del sistema sia i momenti di stabilità ambientale.

In un primo momento l'area doveva essere molto aperta ed emersa e presentarsi come una baia, un'insenatura costiera poco estesa con un'entrata dal mare che poi penetra profondamente nell'entroterra, dove poi si va a formare una paleospiaggia in connessione quindi con il mare, quindi emersa ma ormai condizionata anche dalle dinamiche marine.

In un momento successivo cambiano a poco a poco le condizioni che comportano sia una sommersione della zona sia una chiusura, fattori che determinano prima la formazione e poi

l'evoluzione di un ambiente da interno lagunare marino-salmastro e poco confinato a interno lagunare salmastro e ulteriormente chiuso ed isolato.

In un terzo momento l'ecosistema è condizionato molto meno dalla presenza di acqua, ma anzi deve essere ritornato rapidamente emerso caratterizzato inizialmente da una situazione semi asciutta e paludosa e successivamente completamente emersa e deposizionale. Questo ultimo scenario paleoambientale, esito di tutte le precedenti trasformazioni, è ormai interno e confinato e molto probabilmente ha visto un decremento idrico.

Restano, però, da tutta questa analisi qui tratteggiata ancora delle incertezze riguardanti la questione del porto cittadino e dell'utilizzo esatto nel tempo di questa area retrostante, in passato maggiormente connessa all'ambiente marino per l'assenza della diga di sbarramento. Difatti, nonostante l'assenza di chiare evidenze archeologiche, da un lato sorge spontaneo dal punto di vista topografico, economico-commerciale e politico presumere qui l'esistenza di un porticciolo o almeno di un'area principale d'approdo per la città di Nora e, dall'altro, la localizzazione di tali infrastrutture portuali è costantemente presupposta dalla letteratura specialistica proprio in questa zona.

Tuttavia, oltre alla mancanza di resti e strutture antropiche nell'area, un ulteriore elemento limitante, malgrado le ultime ricerche sui porti e sulle società levantine, è ancora l'esigua conoscenza, soprattutto nel Mediterraneo Occidentale, delle civiltà fenicia e punica, le quali sono essenzialmente due società marittime caratterizzate non solo da cultura, tradizioni religiose e edilizie, ma anche da modalità di navigazione, commercio e insediative particolari e diverse rispetto a quello che era il mondo greco-romano, più vicino a noi. Questo ragionamento allora spiega perché è stata avanzata e proposta l'ipotesi per Nora dell'esistenza in antico del *cothon*, un bacino contraddistinto da un canale di collegamento con il mare aperto. Riguardo a questa tecnica di sviluppo portuale vi è però una lacuna nell'epigrafia fenicio-punica poiché questa parola compare non tanto nelle fonti fenicie o puniche bensì è attestata solamente dagli scrittori greco-romani con due significati ed interpretazioni diverse²²⁷. Vi è perciò una lunga storia degli studi, in cui sono intervenuti autori come Virgilio²²⁸, Placidus²²⁹, Appiano²³⁰, Strabone²³¹ e Diodoro Siculo²³², ed esistono due scuole di pensiero in merito all'interpretazione di questo termine e del concetto edilizio, strutturale e funzionale associato. Dalle indagini geoarcheologiche condotte invece a Cartagine, a Phalasarina, a Mahdia o a Mozia, dove sono attestati dei *cothon*, si è dimostrato chiaramente che nel tempo a seconda del contesto ambientale sono state utilizzate due tecniche distinte: la prima tecnica (tipo A: artificiale), che permette di dare

²²⁷ Carayon, 2005; Carayon, 2009.

²²⁸ Virgilio, Aen., I 427.

²²⁹ Placidus, Glossae: V, 19, 13.

²³⁰ Lib.127.

²³¹ XVII,3,14.

²³² III, 44, 7-8.

una forma regolare e geometrica rettangolare o circolare al futuro porto, consisteva nello scavare una conca nella terraferma e poi collegarla con il mare attraverso un canale, mentre la seconda tipologia (tipo B: parzialmente artificiale) sfruttava le caratteristiche naturali del sito come specchi d'acqua naturali, lagune o insenature, i quali permettevano così la creazione di un porto chiuso²³³. Quest'ultimo, che non avrebbe previsto né un impatto antropico né la realizzazione di strutture e infrastrutture stabili, sarebbe lo scenario che più probabilmente si sarebbe potuto verificare o ha avuto luogo per Nora in un primo periodo in concomitanza con l'iniziale frequentazione fenicia. Perciò si sarebbe potuto sfruttare la laguna aperta e in collegamento con il mare, comunque sicura e riparata, e l'area retrostante configurata come un ambiente prima lagunare marino-salmastro e dopo solamente salmastro con fondale poco profondo. Naturalmente una tale riflessione rappresenta solamente un'ipotesi interpretativa che tenta di unire i nuovi dati e risultati paleoambientali ottenuti con precedenti ma interessanti teorie di natura archeologica portuale ma, ovviamente, non è in grado per il momento di dare una risposta definitiva. Nel proporre inoltre queste considerazioni chiudiamo evidenziando però due aspetti chiave che rimettono in discussione e inficiano tale ipotesi ricostruttiva: in primo luogo dal punto di vista archeologico, in tutti i contesti studiati ad oggi, il *cothon* costituisce non tanto il porto principale e unico di un insediamento quanto un bacino secondario e, in secondo luogo, si è visto dalla ricostruzione ambientale come a partire dal periodo di stabilità punica, momento storico in cui il *cothon* se presente continua ad essere sempre utilizzato, l'area in esame ritorni emersa. Il secondo considerevole e promettente risultato ottenuto ha riguardato il livello del mare antico e la sua probabile variazione nel corso degli ultimi 3000 anni.

Dai dati che sono stati elaborati e restituiti dal modello possiamo osservare che il livello del mare viene posizionato a una quota, ovviamente inferiore rispetto a quella attuale, per ogni periodo storico di nostro interesse. Riproponiamo qui, come esempio, ancora alcuni dati e valori esemplificativi per riassumere in modo chiaro e sintetico gli step di evoluzione e di variazione del livello marino: innanzitutto per il periodo compreso tra la precolonizzazione fenicia e lo stanziamento più stabile dei gruppi levantini il paleolivello viene indicato tra $-1 \pm 0,10$ m e $-0,90 \pm 0,10$ m s.l.m., mentre per il periodo di conquista e presenza punica si attesta tra $-0,87 \pm 0,10$ m e $-0,75 \pm 0,12$ m s.l.m., infine, in relazione al periodo romano e ai primi secoli del periodo imperiale, ossia durante il I sec. a.C. circa, il mare viene collocato intorno a $-0,7 \pm 0,15$ m s.l.m. e poi nel I sec. d.C. intorno a $-0,64 \pm 0,17$ m s.l.m.

La variazione del livello marino a partire dall'età romana di Nora, corrispondente cioè con la conquista da parte di Roma nella seconda metà del III sec. a.C., alla situazione odierna secondo questo

²³³ Carayon, 2005; Carayon, 2009.

approccio geoarcheologico e il modello statistico elaborato sarebbe allora stata di 70/75 cm. Questo valore, non basato solamente sui dati batimetrici di ricognizione e sulle misure archeologiche delle strutture, edifici ed elementi costieri, ovvero prossimi alla riva e affacciati sul mare, allo stato delle ricerche attuali si discosta dalle precedenti stime proposte ma non possiede ancora una pretesa assoluta di veridicità.

In conclusione, entrambi tali risultati relativi al paleoambiente e al paleolivello marino sono esito di un approccio integrato e articolato ma, essendo derivati dall'analisi approfondita di un'unica carota e pertinenti solo a una porzione dell'area, per il momento sono da considerarsi esclusivamente come nuovi spunti di riflessione per l'avvio di una nuova e rinnovata fase di ricerca. Al fine di conseguire una comprensione generale ed ottenere delle risposte esaurienti e complete sarà quindi necessario non limitare l'indagine solamente agli altri sondaggi realizzati ma progettare una nuova stagione di ricognizioni e una nuova campagna di carotaggi nei punti più interessanti e particolari, dal punto di vista topografico, del territorio retrostante l'area umida.

Bibliografia

- ANTONIOLI F., ANZIDEI M., LAMBECK K., AURIEMMA R., GADDI D., FURLANI S., ORRÙ P., SOLINAS E., GASPARI A., KARINJA S., KOVACIC V., SURACE L., *Sea-level change during the Holocene in Sardinia and in the northeastern Adriatic (central Mediterranean Sea) from archaeological and geomorphological data*, in Quaternary Science Reviews 26, 2007, pp. 2463-2486.
- ANTONIOLI F., ORRÙ P., PORQUEDDU A., SOLINAS E., *Variazioni del livello marino in Sardegna durante gli ultimi millenni sulla base di indicatori geo-archeologici costieri*, in Trasformazione dei paesaggi del potere nell'Africa settentrionale fino alla fine del mondo antico. Atti del XIX Convegno di Studio su L'Africa romana (Sassari 16-19 dicembre 2010), Roma 2012, pp. 2963-2972.
- ATHERSUCH J., HORNE D.J., WHITTAKER J.E., *Marine and Brackish Water Ostracods (Superfamilies Cypridacea and Cytheracea)*, in Doris M. Kermack and R.S. Barnes (edited by), Synopses of the British Fauna (New Series), No. 43, 1989.
- BARBIERI G., VAIANI S.C., *Benthic foraminifera or Ostracoda? Comparing the accuracy of palaeoenvironmental indicators from a Pleistocene lagoon of the Romagna coastal plain (Italy)*, in Journal of Micropalaeontology, 37, 2018, pp. 203-230.
- BARRECA F., *Le ricerche subacquee*, in Nora, recenti studi e scoperte, 1985, pp. 89-90.
- BARTOLONI P., *L'antico porto di Nora*, in "Antiqua", a. IV, n.13, 1979, pp. 57-61.
- BARTOLONI P., *I porti e gli approdi della Sardegna fenicia*, in Mannia S. (a cura di), Memorie del mare. Divinità, santi, eroi, navigatori, Atti del convegno internazionale (Cefalù, 4-6 novembre 2010), Palermo 2014, pp. 37-52.
- BEJOR G., *Spazio pubblico e privato nella Sardegna romana: Nora*, in La ciudad en el mundo romano/La ciutat en el món romà, Actas del XIV Congreso internacional d'Arqueologia

clásica/Actes del XIV Congrès Internacional d'Arqueologia Cl ssica (Tarragona, 5-11 settembre/setembre 1993), 1, Ponencias, Tarragona 1994, pp. 109-113.

- BEJOR G., *Una basilica a Nora*, in Gelichi S. (a cura di), Atti del I Congresso nazionale di Archeologia medievale (Pisa, 29-31 maggio 1997), Firenze 1997, pp. 251-253.
- BONETTO J., *L'insediamento fenicio di Nora e le comunit  nuragiche circostanti: contatti e distanze*, in P. Van Dommelen e A. Roppa (a cura di), Materiali e contesti nell'et  del Ferro sarda, Atti della giornata di studi (Oristano, 25 maggio 2012), Rivista di studi Fenici XLI, 1-2, Roma, 2013, pp. 173-182.
- BONETTO J., *Nora municipio romano*, in Khanoussi M., Ruggeri P. e Vismara C. (a cura di), L'Africa romana. Lo spazio marittimo del Mediterraneo occidentale: geografia storica ed economia, Atti del XIV convegno di studio (Sassari, 7-10 dicembre 2000), Roma 2002, pp. 1201-1220.
- BONETTO J., *Spazio terrestre e spazio marino a Nora: dallo studio storico-archeologico alla carta del rischio idrogeologico*, in Angiolillo S., Giuman M., Carboni R., Cruccas E. (a cura di), Nora Antiqua, Atti del Convegno di Studi Cagliari (Cittadella dei Musei 3-4 ottobre 2014), 2016, pp. 199-208.
- BONETTO J., BEJOR G., BONDÌ S. F., GIANNATTASIO B. M., GIUMAN M., TRONCHETTI C., *Sardegna archeologica. Guide e Itinerari: Nora*, Carlo Delfino editore, 2018.
- BONETTO, J., BERTELLI, A., CARRARO, F., GALLUCCI, G., METELLI, M.C., MINELLA, I. c.s., *Nora e il mare. Ricerche e tutela attorno agli spazi costieri della citt  antica*, in Ruggeri P. (a cura di), Momenti di continuit  e rottura: bilancio di trent'anni di convegni L'Africa romana. XX Convegno internazionale di studi su L'Africa romana (Alghero, 26-29 Settembre 2013). Roma 2015, pp. 1841-1860.
- BONETTO J. CARRARO F., MAZZARIOL A., *Nora e il mare. La necropoli punica orientale: le nuove acquisizioni e il rischio idrogeologico*, in Quaderni Norensi 6, Padova 2017, pp. 191-200.

- BONETTO J. CARRARO F., MINELLA I., *Il tophet ritrovato*, in Angiolillo S., Giuman M., Carboni R., Cruccas E. (a cura di), *Nora Antiqua*, Atti del Convegno di Studi Cagliari (Cittadella dei Musei 3-4 ottobre 2014), 2016, pp. 245-251.
- BONETTO, J., FALEZZA G., BERTELLI, A., EBNER, D., *Nora e il mare. Il Progetto Noramar. Attività 2011*, in Quaderni Norensi 4, Padova 2012, pp. 327-338.
- BONETTO J., FALEZZA G., PREVIATO C., CARA S., AGUS M., *L'approvvigionamento di materiale edilizio a Nora (Sardegna): la cava di Is Fradis Minoris*, in Bonetto J., Camporale S., Pizzo A. (a cura di), *Arqueología de la construcción IV. Las canteras en el mundo antiguo: sistemas de explotación y procesos productivos*, Actas del congreso (Padova, 22-24 de noviembre de 2012), *Anejos de Archivo Español de Arqueología*, LXIX, Merida 2014, pp. 189-206.
- BONETTO J., FURLAN G., MARINELLO A., *Il saggio PU: campagna di scavo 2019*, in Quaderni Norensi 8, Padova 2020, pp. 121-130.
- BONETTO J., GHIOTTO A.R., *L'Università di Padova a Nora: dai Fenici ai Bizantini. Tra studio, formazione e valorizzazione*, in *Le sette città di Nora*, Atti della Giornata di Studi (Milano, 11 febbraio 2013), "Lanx", 14, 2013, pp. 123-156.
- BONETTO J., GHIOTTO A.R., NOVELLO M., *Il foro di Nora: le indagini 2003-2004*, in Quaderni Norensi 1, Padova 2005, pp. 77-97.
- BONETTO J., MARINELLO A., *Il santuario di Eshmun/Esculapio. Campagna di scavi 2015*, in Quaderni Norensi 6, Padova 2017, pp.145-152.
- BONETTO J., MINELLA I., *NoraGIS: un sistema informativo condiviso per la città antica di Nora*, in Angiolillo S., Giuman M., Carboni R., Cruccas E. (a cura di), *Nora Antiqua*, Atti del Convegno di Studi Cagliari (Cittadella dei Musei 3-4 ottobre 2014), 2016, pp. 253-257.

- BONETTO J. SANNA I., CARRARO F., METELLI M.C., MINELLA I., ARCAINI R., SORO L., DEL VAIS C., FANNI S., SIRIGU M., CONGIA C., LECCA C., *Nora e il mare. Le indagini nelle aree sommerse e subacquee 2014-2015*, in Quaderni Norensi 6, Padova 2017, pp. 201-211.
- BOTTO M., *Urbanistica e topografia delle città fenicie di Sardegna: il caso di Nora*, in López Castro J.L. (a cura di), *Las ciudades feniciopúnicas en el Mediterraneo Occidental*, Almeria 2007, pp. 105-142.
- BOTTO M., MADRIGALI E., *Nora e i circuiti commerciali mediterranei fra VIII e VI sec. a.C. Bilancio delle indagini precedenti e dati inediti*, in Angiolillo S., Giuman M., Carboni R., Cruccas E. (a cura di), *Nora Antiqua, Atti del Convegno di Studi Cagliari (Cittadella dei Musei 3-4 ottobre 2014)*, 2016, pp. 261-270.
- BOTTO M., MELIS S., RENDELI M., *Nora e il suo territorio*, in Tronchetti C. (a cura di), *Ricerche su Nora-I (anni 1990-1998)*, Cagliari 2000, pp. 255-276.
- BONDÌ S.F., *L'Università della Tuscia a Nora (2007-2011). Nuovi dati e sintesi dei risultati*, in Quaderni Norensi 4, Padova 2012, pp. 265-271.
- BRIDI E., MAZZARIOL A., *Le tombe ad incinerazione (tombe 11, 15, 16, 18, 20, 21). Campagna di scavo 2016*, in Quaderni Norensi 7, Padova 2018, pp. 149-156.
- BRÜCKNER H., VÖTT A., SCHRIEVER A., HANDL M., *Holocene delta progradation in the eastern Mediterranean - case studies in their historical context*, in Morhange C., Goiran J., e Marriner N. (a cura di), *Environnements littoraux méditerranéens, héritages et mobilité, Coastal geoarcheology of the Mediterranean*, 104, 2005, pp.95-106.
- CARAYON N., *Le cothon ou port artificiel creusé. Essai de définition. Technologies, héritages et mobilités à l'échelle des bassins portuaires*, in Méditerranée, n° 1.2 – 2005, pp. 5-13.

- CARAYON N., *Les ports pheniciens et puniques geomorphologie et infrastructures*. Volume I: texte, premiere et deuxieme parties, These de doctorat en sciences de l'antiquite – archeologie, 2008.
- CARRARO F., METELLI M.C., *Il progetto Nora e il mare: scenari ricostruttivi e previsionali dello spazio costiero*, in Capulli M. (a cura di), *Il patrimonio culturale sommerso: ricerche e proposte per il futuro dell'archeologica subacquea in Italia*, Atti del V Convegno Nazionale di Archeologia Subacquea (Udine, 7-10 settembre 2016), Udine 2018, pp. 253-258.
- CESPAS S., *Nora. I sistemi di approvvigionamento idrico*, Edizioni Quasar, Roma 2018.
- CHERCHI A., MARINI A., MURRU M., SALVADORI I., *Dati preliminari sulla Neotettonica dei fogli 216-217 (Capo S. Marco – Oristano), 226 (Mandas), 234-240 (Cagliari – S. Efisio), 235 (Villassimus)*, Sardegna. Contr. Prelim. Realizz. Carta neotett. It., Pubbl. n. 155 P.F. Geodinamica, sottoprogetto Neotettonica, 1979, pp. 199-226.
- CHERCHI A., MARINI A., MURRU M., ULZEGA A., *Movimenti neotettonici nella Sardegna Meridionale*, Mem. Soc. Geol. It., 19, 1978, pp. 581-587.
- CHIERA G., *Testimonianze su Nora*, Redazione della Rivista di studi fenici (a cura di), Collezione di studi fenici, 11, Roma 1978.
- CICCACCI S., *Le forme del rilievo. Atlante illustrato di geomorfologia*, Mondadori (III ediz.), 2019.
- DANOVARO R., GAMBI C., MIRTO S., SANDULLI R., CECCHERELLI V.U., *Meiofauna*, in *Bio. Mar. Medit.*, 10, 2003, pp. 61-108.
- DE VINCENZO S., *Aspetti del processo di romanizzazione dei centri urbani della Sardegna in età tardo-repubblicana*, in De Vincenzo S. e Blasetti Fantauzzi C. (a cura di), *Il processo di romanizzazione della provincia Sardinia et Corsica*, Atti del convegno internazionale di studi (Cuglieri (OR) 26–28 marzo 2015), Roma 2016, pp. 123-141.

- DI GREGORIO F., PUSCEDDU M., ROMOLI E., SERRELI A., TRONCHETTI C., *Valutazione del rischio d'erosione costiera nell'area archeologica di Nora (Sardegna SW)*, in Atti 14^a Conferenza Nazionale ASITA – (Brescia 9-12 novembre 2010), 2010, pp. 869-874.
- DI GREGORIO F., FLORIS C., MATTA P., *Lineamenti geologici e geomorfologici della penisola di Nora*, in Tronchetti C. (a cura di), *Ricerche su Nora-I (anni 1990-1998)*, Cagliari 2000, pp.9-18.
- FADDA M.A., *L'architettura dedicata al culto dell'acqua in epoca nuragica*, in *L'isola delle torri* 2016, pp. 100-109.
- FINOCCHI S., *La laguna e l'antico porto di Nora: nuovi dati a confronto*, in *Rivista di Studi Fenici*, XXVII, 1999, pp. 167-192.
- FINOCCHI S., *Nuovi dati su Nora fenicia e punica*, in Tronchetti C. (a cura di), *Ricerche su Nora-I (anni 1990-1998)*, Cagliari 2000, pp. 285-297.
- FRENZEL P., BOOMER I., *The use of ostracods from marginal marine, brackish waters as bioindicators of modern and Quaternary environmental change*, in *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 225, 2005, pp. 68-92.
- FRONTORI I., *Lo scavo del cd. "Pozzo Nuragico"*, in *Quaderni Norensi* 8, Padova 2020, pp. 89-96.
- GHIOTTO A. R., ZARA A., *Nora tra III e I secolo a.C.: la graduale transizione da città punica a città romana*, in Bonetto J., Carboni R., Giuman M., Zara A. (a cura di), *Nora antiqua II, Nora dalla costituzione della provincia all'età augustea*, Atti del Convegno di Studi (Pula, 5-6 ottobre 2018) Roma, 2020, pp. 3-18.
- GIANNATTASIO B.M., *Il quartiere nord-occidentale di Nora tra età severiana e tardo-antico: recenti scavi*, in Angiolillo S., Giuman M., Carboni R., Cruccas E. (a cura di), *Nora Antiqua*, Atti del Convegno di Studi Cagliari (Cittadella dei Musei 3-4 ottobre 2014), 2016, pp. 83-90.

- GOIRAN J.P., MORHANGE C., *Géoarchéologie des ports antiques de Méditerranée. Problématiques et étude de cas*, in Topoi, volume 11/2, 2001, pp. 647-669.
- HORTON B.P., EDWARDS R.J., *Quantifying Holocene sea-level change using intertidal foraminifera: lessons from the British isles*, Cushman foundation for foraminiferal research, Special publication No. 40, 2006.
- IBBA A., *Sardi, Sardo-punici e Italici nella Sardinia repubblicana: la testimonianza delle iscrizioni*, in De Vincenzo S. e Blasetti Fantauzzi C. (a cura di), *Il processo di romanizzazione della provincia Sardinia et Corsica*, Atti del convegno internazionale di studi (Cuglieri (OR) 26–28 marzo 2015), Roma 2016, pp. 69-88.
- LABOREL J., LABOREL-DEGUEN F., *Biological Indicators of Relative Sea-Level Variations and of Co-Seismic Displacements in the Mediterranean Region*, in *Journal of Coastal Research*, 10.2, Florida 1994, pp. 395-415.
- LAMBECK K., ANTONIOLI F., ANZIDEI M., FERRANTI L., LEONI G., SCICCHITANO G., SILENZI S., *Sea level change along the Italian coast during the Holocene and projections for the future*, in *Quaternary International* 232, 2011, pp. 250-257.
- MAGRI D., DI RITA F., *Archaeopalynological Preparation Techniques*, In Yeung, E., Stasolla, C., Sumner, M., Huang, B. (eds) *Plant Microtechniques and Protocols*, Springer, Cham., 2015, Chapter 27, pp. 495-506.
- MARRINER N., MORHANGE C., *Geoscience of ancient Mediterranean harbours*, in *Earth-Science Reviews* 80, 2007, pp. 137-194.
- MAZZINI I., AIELLO G., FRENZEL P., PINT A., *Marine and marginal marine Ostracoda as proxies in geoarchaeology*, in *Marine Micropaleontology*, 2021, pp. 1-12.
- MAZZINI I., ROSSI V., DA PRATO S., RUSCITO V., *Ostracods in archaeological sites along the Mediterranean coastlines: three case studies from the Italian peninsula*, in Williams, M., Hill, T., Boomer, I. & Wilkinson, I. P. (edited by), *The Archaeological and Forensic Applications of Microfossils: A Deeper Understanding of Human History*. The

Micropalaeontological Society, Special Publications. Geological Society, London 2017, pp. 121-142.

- MELIS S., *Cenni geoarcheologici sulle variazioni delle linee di costa nel bacino del Mediterraneo: l'esempio di Nora (Sardegna meridionale)*, in Khanoussi M., Ruggeri P. e Vismara C. (a cura di), *L'Africa romana, Lo spazio marittimo del Mediterraneo occidentale: geografia storica ed economia, Atti del Convegno di studio (Sassari, 7-10 dicembre 2000)*, Sassari 2002, pp. 129-138.
- MELIS S., *La città punico-romana di Nora: un caso di studio geomorfologico e archeologico integrati*, 2013.
- MELIS S., *Variations des lignes de rivage aux environs de la ville antique de Nora (Sardaigne, Sud-Ouest-Italie) d'après les données geoarchéologiques*, in F. Vermeulen, M. de Dapper (eds.), *Geoarchaeology of classical landscapes - International Colloquium Ghent (Ghent, 23-24 October 1998)*, BaBesch, Suppl. 5, 2000, pp. 127-135.
- MEVIO S., *L'orecchino in oro dal quartiere delle Case a Mare*, in *Quaderni Norensi* 6, Padova 2017, pp.93-98.
- MORAVETTI A., *Storia della Sardegna. 1: dalle origini al Settecento*, in M. Brigaglia, A. Mastino e G.G. Ortu (a cura di), Laterza, 2005.
- MORHANGE C., MARRINER N., *Paleo-Hazards in the Coastal Mediterranean: A Geoarchaeological Approach*, in Martini I. P. e Chesworth W. (a cura di), *Landscapes and Societies*, 2009, pp. 223-234.
- MORHANGE C., MARRINER N., CARAYON N., *The geoarchaeology of ancient Mediterranean harbours*, in *La géoarchéologie française au XXIe siècle, Chapitre XX*, 2015, pp. 245-253.
- MORHANGE C., MARRINER N., LIUZZA V., *Introduction à une étude géomorphologique des ports antiques en Méditerranée*, in *Géochronique* n.130, 2014, pp. 12-14.

- OGGIANO I., *La città di Nora. Spazio urbano e territorio*, in Helas S., Marzoli D., (a cura di), *Phonizischs und punisches Stadtwesen, Akten der internationalen Tagung* (Roma, 21-23 febbraio 2007) Mainz am Rhein 2009, pp. 417-430.
- PESCE G., *Nora. Guida agli scavi*, Editrice Sarda Fossataro (II ediz.), Cagliari 1972.
- PINT A., FRENZEL P., *Ostracod fauna associated with *Cyprideis torosa* – an overview*, in *Journal of Micropalaeontology*, Vol. 36, Published by The Geological Society of London for The Micropalaeontological Society, 2017, pp. 113-119.
- PREVIATO C., *Archeologia dell'edilizia a Nora: dall'approvvigionamento del materiale lapideo all'impiego in città*, in Angiolillo S., Giunan M., Carboni R., Cruccas E. (a cura di), *Nora Antiqua, Atti del Convegno di Studi Cagliari (Cittadella dei Musei 3-4 ottobre 2014)*, 2016, pp. 231-238.
- PREVIATO C., *La cava di Is Fradis Minoris: rilievo e studio delle tracce dell'attività estrattiva. Attività 2012-2013*, in *Quaderni Norensi* 5, Padova 2014, pp. 213-218.
- PREVIATO C., *Nora. Le cave di pietra della città antica*, Edizioni Quasar, Roma, 2016.
- RENDELI M., *Paesaggi norensi – II*, in *Quaderni Norensi* 1, Padova 2005, pp. 165-181.
- RENFREW C., BAHN P., *Archaeology: Theories, Methods, and Practice*, College Edition: (7th edition), 2016.
- SECCO M., DILARIA S., BONETTO J., ADDIS A., TAMBURINI S., PRETO N., RICCI G., ARTIOLI G., *Technological transfers in the Mediterranean on the verge of Romanization: Insights from the waterproofing renders of Nora (Sardinia, Italy)*, in *Journal of Cultural Heritage*, 2020, pp. 1-18.
- SPANU P.G., *I possedimenti vittorini del priorato cagliaritano di San Saturno. Il santuario del martire Efisio a Nora*, in Martorelli R. (a cura di), *Città, territorio, produzione e commerci nella Sardegna medievale. Studi in onore di Letizia Pani Ermini*, Cagliari, pp. 65- 103

- SPANU P.G., *La Sardegna vandalica e bizantina*, in Brigaglia M., Mastino A., Ortu G.G. (a cura di), *Storia della Sardegna. 1: dalla Preistoria all'età bizantina*, Bari, Editori Laterza, 2002, pp. 93-109.
- TORRES J. R., *Las ánforas fenicio-púnicas del Mediterráneo central y occidental*, Col·lecció instrumenta, Barcelona 1995.
- TRONCHETTI C., *La facies fenicia di Nora*, in *Rivista di Studi Fenici*, XXXVIII, 1, 2010, pp. 119-130.
- TRONCHETTI C., *Le ricerche subacquee: Le anfore*, in *Nora, recenti studi e scoperte*, 1985, pp. 90-91.
- TRONCHETTI C., *Nora, Sardegna Archeologica. Guide e Itinerari*, Carlo Delfino editore (II ediz.), Sassari 2001.
- TRONCHETTI C., *Ricerche su Nora – I (anni 1990-1998)*, a cura di C. Tronchetti, Cagliari, 2000.
- TRONCHETTI C., *Ricerche su Nora – II (anni 1990-1998)*, a cura di C. Tronchetti, Elmas, 2003.
- VACCHI M., GHILARDI M., STOCCHI P., FURLANI S., ROSSI V., BUOSI C., ROVERE A., DE MAURO S., *Driving mechanisms of Holocene coastal evolution in the Bonifacio Strait (Western Mediterranean)*, In *Marine Geology* 427, 2020, pp. 1-14.
- WALSH K., *The archaeology of Mediterranean Landscapes. Human environment Interaction from the Neolithic to the Roman Period*, Cambridge University Press, 2014.
- WOODWARD J., *The Physical Geography of the Mediterranean*, Oxford University Press, 2009.

- ZAMPARO L., *Alcune attestazioni attiche dalle tombe 8 e 9*, in Quaderni Norensi 7, Padova 2018, pp. 181-188.
- ZARA A., *Evoluzione urbana e nuovo assetto monumentale di Nora in età medio-imperiale romana*, Tesi di laurea magistrale, 2011.

Ringraziamenti

Questo lavoro è nato e si è strutturato gradualmente a partire da tutta una serie di esperienze, occasioni e conoscenze diverse acquisite sia durante il corso triennale in Archeologia sia durante il corso magistrale in Scienze Archeologiche.

L'idea di base e il cuore di questo elaborato, intorno al quale si è deciso di organizzare tutto il discorso e da cui sono sorte interrogazioni e spunti di riflessione, deriva, come già accennato nell'introduzione, dalla collaborazione di due Dipartimenti molto diversi tra loro, ovvero il Dipartimento dei Beni Culturali e il Dipartimento di Scienze della Terra, afferenti a due realtà universitarie distinte, rispettivamente l'Università di Padova e l'Università di Pisa. Perciò vorrei ringraziare il Professor J. Bonetto, quale relatore e responsabile dell'annuale campagna di indagini archeologiche a Nora, per la paziente supervisione e il sostegno datomi, il Professor M. Vacchi quale correlatore e coordinatore della campagna di carotaggi e Veronica Rossi correlatrice e guida in laboratorio durante questo particolare percorso geoarcheologico.

Un ringraziamento speciale va sempre sia a Maria Chiara Metelli sia a Filippo Carraro per la loro amicizia, l'accoglienza all'interno del Progetto "Nora e il mare" e da ultimo per il supporto, quali miei colleghi, nella presentazione del poster "The archaeological and geomorphological research in the ancient coastal city of Nora (Sardinia, Italy)" al Maritime Archaeology Graduate Symposium (MAGS) svoltosi nelle giornate 25-26 Novembre 2021. Poster che alla fine delle giornate di lavoro ha anche vinto il premio, sostenuto dalla Fondazione Honor Frost e dall'Istituto di Archeologia Mediterranea (ARKAIA, AMU, Francia), per la migliore presentazione.

Un caro pensiero va poi ai professori, in primis la Professoressa K. Baika e il professor C. Morhange, a tutti i colleghi che ho conosciuto nella mia lunga ed emozionante esperienza al MoMArch dell'Università di Aix-Marseille e alle persone che hanno condiviso con me il viaggio e l'avventura dell'Erasmus. Ho infatti avuto l'opportunità e la fortuna di confrontarmi con una realtà universitaria molto internazionale e diversa per organizzazione da quella in cui vivo la mia quotidianità e che mi ha dato la possibilità di migliorare sotto il profilo professionale oltre che umano. In particolare a Marsiglia, sulla collina di Notre Dame de la Garde da cui si vede non solo tutta la città ma anche il mare fino all'orizzonte, ho lasciato un pezzo della mia anima che spero un giorno di tornare a riprendere. Legato all'esperienza dell'Erasmus devo assolutamente ricordare anche la gentilezza e la disponibilità della Professoressa M.S. Busana, che è stata mio tutor.

Inoltre, nonostante sia difficile rievocare ed esprimere a parole tutti i sentimenti, le impressioni e le emozioni positive e negative che si provano nel momento in cui si è parte di un gruppo, è per me

importante menzionare le numerose campagne di scavo a cui ho partecipato poiché hanno rappresentato delle tappe fondamentali di crescita nell'ambito delle quali ho potuto da un lato conoscere nuovi amici e archeologi da tutta Italia e dall'altro mettermi alla prova direttamente con la ricerca archeologica più pratica e le attività che si svolgono in campo. Proprio in riferimento a ciò, lo scavo a Nora è stata molto più che un'esperienza solo lavorativa: essa ha rappresentato un'evasione fisica e culturale fatta di giornate in cantiere e serate in garitta, acqua bevuta «a canna» sotto il sole e mirto sorseggiato sotto le stelle, riflessioni di fronte ad una semplice buca di palo e risate in riva al mare.

La mia più profonda gratitudine va però alla mia famiglia che mi ha sempre compresa e senza la quale non sarei arrivata fino a questo traguardo, dal momento che ogni volta che sono caduta, nonostante la mia determinazione, ho trovato sempre una mano tesa ad aiutarmi.

Infine, desidero ringraziare con affetto gli amici dell'Università e gli amici di vecchia data di Belluno, tra cui soprattutto Martina, riguardo la quale non mi dilungo dato che la nostra amicizia non solo è ormai una certezza da anni ma è bella perché semplicemente esiste e non ha bisogno di spiegazioni.

In conclusione, questa presente tesi è il risultato di un percorso di cinque anni universitari trascorsi troppo in fretta, ricchi di soddisfazioni, di belle ma anche di brutte giornate tra sessioni di esami e giorni persi in pigrizia, di scelte consapevoli e di imposizioni del fato.

Ad Maiora semper

