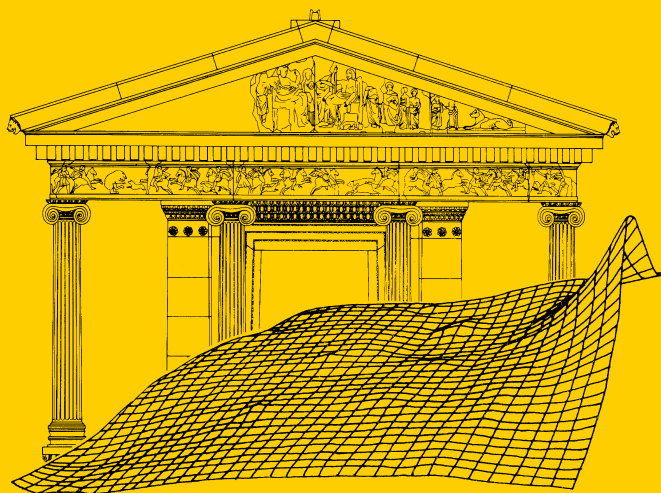




INDAGINI NON INVASIVE MULTIDISCIPLINARI PER LA CONOSCENZA DELLA TOPOGRAFIA ANTICA DI CENTRI URBANI E DEL TERRITORIO

Atti del Convegno (Roma, 22-23 settembre 2025)

a cura di
Stefano Campana, Gianluca Cantoro,
Paolo Liverani, Giorgio Franco Pocobelli

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI
Supplemento 15, 2026

All'Insegna del Giglio

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI



CNR – DIPARTIMENTO SCIENZE UMANE E SOCIALI, PATRIMONIO CULTURALE

ISTITUTO DI SCIENZE DEL PATRIMONIO CULTURALE

Rivista annuale open access e peer reviewed
fondata da Mauro Cristofani e Riccardo Francovich
già diretta da Paola Moscati (1990-2022)

Comitato Scientifico: Paola Moscati (coordinatore), Giovanni Azzena, Robin B. Boast, Julian Bogdani, Rodolfo Brancato, Francisco Burillo Mozota, Francesca Buscemi, Alessandra Caravale, Christopher Carr, Martin O.H. Carver, Enrico Crema, Francesco D'Andria, Alessandro Di Ludovico, François Djindjian, James E. Doran, José Antonio Esquivel Guerrero, Virginie Fromageot-Laniepce, Simone Garagnani, Andrea Gaucci, Antonio Gottarelli, Maria Pia Guermandi, Anne-Marie Guimier-Sorbets, Ian Hodder, F. Roy Hodson, Stephen Kay, Donna C. Kurtz, Emma Lazzeri, Daniele Manacorda, Costanza Miliani, Tito Orlandi, Clive R. Orton, Maria Cecilia Parra, Alessandra Piergrossi, Alban-Brice Pimpaud, Jonathan Prag, Xavier Rodier, Francesco Roncalli di Montorio, Bernardo Rondelli, Irene Rossi, Grazia Semeraro, Paolo Sommella, Gianluca Tagliamonte, Marco Valenti, Marc Vander Linden, Valeria Vitale

Direttore responsabile: Alessandra Caravale

Redazione ed Editing: Claudio Barchesi, Letizia Ceccarelli, Antonio D'Eredità, Andrea Di Renzoni, Giacomo Mancuso, Erika Tedino

Policy and Guidelines: <http://www.archcalc.cnr.it/pages/guidelines.php>

Autorizzazione del presidente del Tribunale di Firenze n. 3894 del 6/11/1989

Indirizzo Redazione: Rivista «Archeologia e Calcolatori», CNR – ISPC, Area della Ricerca di Roma 1, Via Salaria Km 29,300, 00015 Monterotondo Stazione (RM)
Tel. +39.06.90672670 – Fax +39.06.90672818
E-mail: redazioneac.ispc@ispc.cnr.it
<http://www.archcalc.cnr.it/>

Edizione e distribuzione: Edizioni ALL'INSEGNA DEL GIGLIO s.a.s.,
Via Arrigo Boito 50-52, 50019 Sesto Fiorentino (FI)
Tel. +39.055.6142675
E-mail: redazione@insegnadelgiglio.it – ordini@insegnadelgiglio.it
<https://www.insegnadelgiglio.it/>

INDAGINI NON INVASIVE
MULTIDISCIPLINARI
PER LA CONOSCENZA
DELLA TOPOGRAFIA ANTICA
DI CENTRI URBANI E DEL TERRITORIO

Atti del Convegno (Roma, 22-23 settembre 2025)

a cura di
Stefano Campana, Gianluca Cantoro,
Paolo Liverani, Giorgio Franco Pocobelli

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI
Supplemento 15, 2026

All'Insegna del Giglio

La sezione 1 del presente volume è realizzata con i fondi del progetto PRIN2022 *Hidden Landscape of Latium (HiLL)*, finanziato dall'Unione Europea - Next Generation EU, Missione 4, Componente 2.1.1 (settore ERC-SH6, CUP B53D23001230006).



La sezione 2 del presente volume è realizzata con i fondi del progetto PRIN2022 PNRR *Global Research on Environmental and Territorial Transformations (GreatT)*, finanziato dall'Unione Europea - Next Generation EU, Missione 4, Componente 2.1.1 (settore ERC-SH6, CUP B53D2303120001)

Si ringrazia la Rivista «Archeologia e Calcolatori» e in particolare la dott.ssa A. Caravale e la dott.ssa P. Moscati per il contributo scientifico ed editoriale fornito alla pubblicazione.

Il gruppo di ricerca esprime un sentito ringraziamento per la disponibilità e lo spirito di collaborazione al “Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica - Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano” e all’ente “Parchi Archeologici della Maremma”, che hanno reso possibile la realizzazione dei progetti illustrati in questa sede.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
SAGAS
DIPARTIMENTO DI STORIA,
ARCHEOLOGIA, GEOGRAFIA
ARTE E SPETTACOLO



UNIVERSITÀ
DI SIENA 1240

Realizzazione grafica della sovracoperta di Marcello Bellisario

Rivista «Archeologia e Calcolatori» (ISSN 1120-6861, e-ISSN 2385-1953)

Supplementi (ISSN 2385-202X, e-ISSN 2385-2038)

ISBN 978-88-9285-445-1, e-ISBN 978-88-9285-446-8

La rivista «Archeologia e Calcolatori» e i Supplementi adottano un processo di peer review.

© 2026 All’Insegna del Giglio s.a.s.

www.insegnadelgiglio.it

Stampato a Sesto Fiorentino (FI)

BDprint, febbraio 2026

INDICE

Sezione 1.

Giornata di studi sulla Tenuta presidenziale di Castelporziano

GIULIA BONELLA, <i>Premessa</i>	9
GIORGIO FRANCO POCOBELLI, <i>Introduzione alla giornata di studi su Castelporziano</i>	11
VALENTINA PESCARI, GIORGIO FRANCO POCOBELLI, <i>Contributi alla Carta Archeologica della Tenuta di Castelporziano: GIS, survey e remote sensing</i>	15
GIUSEPPE PROSPERO CIRIGLIANO, GABRIELE MAZZACCA, FABIO REMONDINO, STEFANO CAMPANA, <i>Acquisizione ed elaborazione dei dati LiDAR a Castelporziano</i>	37
BEATRICE FOCHETTI, <i>Dall'archivio al territorio: approcci interdisciplinari e dati inediti per la ricostruzione storico-topografica di Castelporziano (IX sec. a.C.-XX sec. d.C.)</i>	55
LORENZO BRAGA, DAVIDE SUSINI, ANDREA ZERBONI, ANNA MARIA MERCURI, ASSUNTA FLORENZANO, <i>La ricerca paleoambientale nella piscina di Malafede a Castelporziano: prime analisi palinologiche e geomorfologiche della carota CPZ2</i>	79
SALVATORE PIRO, <i>Indagini Georadar ad alta risoluzione nell'area archeologica di Tor Paterno (Castelporziano, Roma)</i>	107
PAOLO LIVERANI, <i>Il territorio di Castelporziano: sintesi storico-topografica</i>	121
GIUSEPPE SCARDOZZI, <i>Carta archeologica di un centro a continuità di vita: il caso di Lecce/Lupiae</i>	131
ENRICO GIORGI, ALESSANDRO CAMPEDELLI, FRANCESCA BINDELLI, GIUSEPPE GUARINO, Suasa. <i>Archeologia di una città adriatica tra scavo archeologico e indagini non invasive</i>	153

Sezione 2.

Giornata di studi sulla città di Roselle

LEONARDO BOCHICCHIO, <i>Premessa</i>	173
GIANLUCA CANTORO, <i>Introduzione alla giornata di studi su Roselle</i>	175

GIOVANNA LIBEROTTI, MARGHERITA AZZARI, GIORGIO FRANCO POCOBELLI, GIANLUCA CANTORO, <i>Dall'alto e dal passato: fotografie aeree e cartografia storica per la ricostruzione del paesaggio nell'ager Rusellanus</i>	181
GIUSEPPE PROSPERO CIRIGLIANO, GABRIELE MAZZACCA, FABIO REMONDINO KEN SAITO, STEFANO CAMPANA, <i>Indagini geofisiche e LiDAR su territorio di Roselle</i>	199
SALVATORE PIRO, <i>Indagini georadar ad alta risoluzione nell'area archeologica di Rusellae (Grosseto)</i>	217
DAVIDE SUSINI, GIUSEPPE PROSPERO CIRIGLIANO, STEFANO CAMPANA, <i>Visibilità archeologica delle necropoli etrusco-romane di Roselle nel dato LiDAR: risultati preliminari di un'analisi integrata</i>	233
CATERINA GRASSI, DANIELE FERDANI, MARIA FELICIA REGA, PAOLO LIVERANI, <i>La ricostruzione 3D del Foro di Roselle</i>	249
ANNA MARIA MERCURI, DAVIDE SUSINI, ELEONORA CLÒ, MARTA BANDINI MAZZANTI, PAOLA TORRI, STEFANO CAMPANA, ASSUNTA FLORENZANO, <i>Biodiversità e paesaggio scomparso a Roselle-Salica: dati palinologici dai sondaggi stratigrafici in età storica (VII-VI secolo a.C.-XII secolo d.C.)</i>	273
STEFANO CAMPANA, PAOLO LIVERANI, <i>Sintesi storica del territorio e della città di Roselle</i>	299
ALESSANDRO M. JAIA, LAURA EBANISTA, <i>Rilevamenti aerei multisensore per lo studio dell'urbanistica di Gortina di Creta</i>	325
JESÚS GARCÍA SÁNCHEZ, ANTONIO PIZZO, <i>La prospección geofísica con georadar en Tusculum. Las campañas de 2023-2025</i>	343
RODOLFO BRANCATO, <i>Verso la topografia archeologica di Atella (Campania): dal GIS al Digital Twin</i>	363

Sezione 1

GIORNATA DI STUDI
SULLA TENUTA PRESIDENZIALE
DI CASTELPORZIANO

LA RICERCA PALEOAMBIENTALE NELLA PISCINA
DI MALAFEDE A CASTELPORZIANO:
PRIME ANALISI PALINOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE
DELLA CAROTA CPZ2

1. INTRODUZIONE

La ricostruzione delle trasformazioni del paesaggio e delle dinamiche di uso del suolo nel lungo periodo rappresenta uno degli obiettivi centrali della ricerca archeologica e paleoambientale (SADORI *et al.* 2010; MERCURI 2014; STEPHENS *et al.* 2019; DE VAREILLES *et al.* 2021; REVELLES 2021; GAILLARD, FYFE 2025), in particolare nei contesti costieri mediterranei, dove l'interazione tra fattori naturali e attività antropiche ha prodotto assetti ambientali complessi e fortemente dinamici (ad es., DI RITA *et al.* 2011; TRIANTAPHYLLOU *et al.* 2016; BELLOTTI *et al.* 2016, 2018; REVELLES *et al.* 2019; CLÒ *et al.* 2024; MERCURI *et al.* 2025). In questi contesti, l'integrazione tra dati paleoecologici e geomorfologici consente spesso di comprendere traiettorie evolutive del paesaggio con dettagli inediti, talvolta anche in assenza di evidenze archeologiche dirette.

In tale prospettiva si inserisce il progetto PRIN 2022 “Paesaggi scomparsi del Lazio”, che ha promosso un approccio interdisciplinare volto a definire l'utilizzo agricolo e silvicolo del territorio laziale attraverso l'integrazione di dati topografici, geomorfologici e paleoambientali (cfr. CIRIGLIANO *et al.* nella sezione dedicata a Castelporziano). La ricerca, condotta con tecniche non invasive, prevede in particolare lo studio della Tenuta presidenziale di Castelporziano, nei pressi di Roma, nota per l'eccezionale valore storico e naturalistico, al centro di studi botanico-ambientali sin dallo scorso secolo (BIANCO *et al.* 2001; BROWN 2010, 2012; PIGNATTI *et al.* 2015; BLASI 2016). Scopo centrale del progetto sopra menzionato è la ricostruzione del paesaggio della Tenuta presidenziale, dalle prime fasi del popolamento fino all'età alto-medievale e successiva, contribuendo così ad ampliare il quadro conoscitivo del territorio regionale con informazioni ambientali di dettaglio a scala locale.

All'interno di questo quadro, lo studio palinologico – analisi di polline e spore di felci (ERDTMAN 1943) – costituisce uno strumento fondamentale per la ricostruzione paleoambientale. L'indagine pollinica consente infatti di ottenere descrizioni botaniche – flora, vegetazione – in prospettiva diacronica, permettendo la ricostruzione delle comunità vegetali e delle dinamiche di biodiversità, nonché delle trasformazioni nell'uso del suolo su scala plurimillennaria (FAEGRI *et al.* 1989; ELLIS *et al.* 2021; VEEKEN *et al.* 2022). L'integrazione con l'analisi geomorfologica, che fornisce il quadro fisico del territorio e dei

processi sedimentari, risulta essenziale per contestualizzare le evidenze palinologiche all'interno delle dinamiche deposizionali e nel paesaggio modellato da fattori naturali e antropici (ad es. CREMASCHI *et al.* 2016; FLORENZANO *et al.* 2022). A questo proposito, gli ambienti umidi temporanei rappresentano contesti particolarmente sensibili e informativi, in quanto la loro evoluzione è strettamente controllata dall'interazione tra assetto geomorfologico, dinamica idrologica e copertura vegetale (BIANCO *et al.* 2001; TINELLI *et al.* 2012). Uno degli habitat più peculiari e informativi della Tenuta presidenziale di Castelporziano è rappresentato dalle piscine effimere o piscinali, zone umide temporanee diffuse nel territorio e caratterizzate da una forte sensibilità alle variazioni idrologiche e ambientali (TINELLI *et al.* 2012).

Il presente lavoro illustra i risultati delle analisi interdisciplinari condotte nella Piscina di Malafede, combinando i dati geomorfologici con i primi dati palinologici al fine di ricostruire la storia evolutiva del bacino e di valutare il ruolo locale di questi ambienti effimeri nella dinamica paleoambientale e nell'uso del suolo nel tempo.

1.1 Area di studio

1.1.1 Aspetti geomorfologici

L'area di Castelporziano è ubicata all'interno di una vasta fascia sub-parallela alla linea di costa, delimitata a N dal corso del fiume Tevere, a E dal fosso di Malafede e a S dal fosso del Rio Torto (Fig. 1). Dal punto di vista geomorfologico, il territorio si presenta prevalentemente pianeggiante e caratterizzato da un graduale declivio in direzione del settore costiero. L'assetto geomorfologico è dominato dalla presenza di tre principali ordini di terrazzi marini (Unità Riserva della Macchia-RDM, Unità Tenuta di Campo Selva-TSV, Formazione Aurelia-AEL; Fig. 1), ai quali si affianca una porzione più interna alluvionale, anch'essa terrazzata, che si estende verso E oltre il fosso di Malafede (Unità di Castelporziano-CLZ; Fig. 1; FUNICIELLO, GIORDANO 2008; DE RITA *et al.* 2009). I terrazzi marini e il terrazzo alluvionale sono attribuibili al Pleistocene medio-superiore, mentre il tratto costiero è composto da spiagge sabbiose e sistemi dunari olocenici consolidati (FUNICIELLO, GIORDANO 2008; DE RITA *et al.* 2009). I terrazzi marini mostrano continuità laterale lungo l'intera area considerata, pur presentando un'estensione limitata verso l'entroterra, e si collocano a quote comprese tra +15/+25 m s.l.m. (RDM), +30/+40 m s.l.m. (TSV) e +50/+60 m s.l.m. (AEL). I relativi depositi sono costituiti prevalentemente da sabbie quarzose, associate a livelli ghiaiosi variamente pedogenizzati (FUNICIELLO, GIORDANO 2008; DE RITA *et al.* 2009). Il terrazzo alluvionale (CLZ) è rappresentato da un insieme di paleosuperfici comprese tra +50/+100 m s.l.m., con una pendenza che degrada sia verso N sia verso S. Il limite fra il terrazzo alluvionale e i terrazzi marini è segnato da

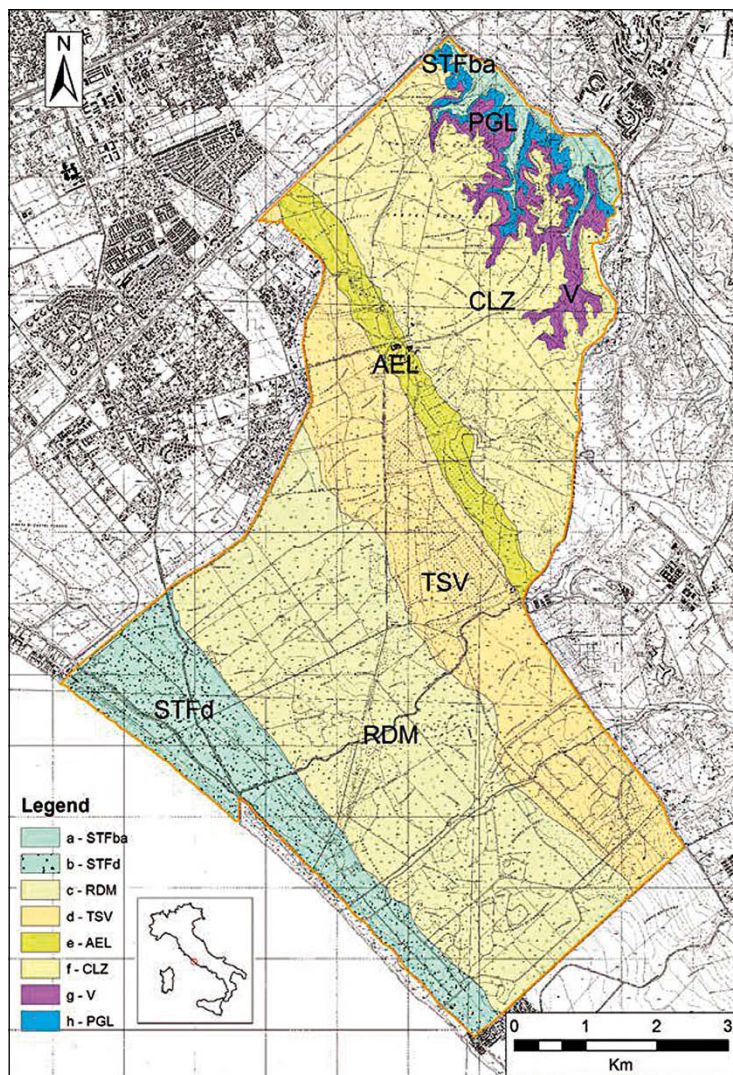


Fig. 1 – Depositi affioranti nell’area di studio della Tenuta presidenziale di Castelporziano (da BANZATO *et al.* 2019): a) STFba – Deposito alluvionale, Sintema del Fiume Tevere (Olocene, corretto SFTba, da FUNICIELLO, GIORDANO 2008; DE RITA *et al.* 2009); b) STFd – Deposito eolico, Sintema del Fiume Tevere (Olocene, corretto SFTd, da FUNICIELLO, GIORDANO 2008; DE RITA *et al.* 2009); c) RDM – Unità di Riserva della Macchia (Pleistocene superiore); d) TSV – Unità di Tenuta di Campo Selva (Pleistocene medio); e) AEL – Formazione Aurelia (Pleistocene medio); f) CLZ – Unità di Castelporziano (Pleistocene medio); g) V – Unità ignimbriche, Formazione di Villa Senni (Pleistocene medio, corretto VSN, da FUNICIELLO, GIORDANO 2008; DE RITA *et al.* 2009); h) PGL – Formazione di Ponte Galeria (Pleistocene medio).

scarpate più o meno pronunciate. I sedimenti del terrazzo alluvionale sono costituiti da sabbie medio-grossolane arrossate, quarzose, contenenti ghiaie fini e ciottoli di selce (FUNICIELLO, GIORDANO 2008; DE RITA *et al.* 2009).

In questo contesto, i piscinali sono stagni temporanei alimentati o da acque meteoriche o da piccoli ruscelli, per i quali ancora non è completamente chiara né la genesi né il rapporto cronologico con i terrazzi.

1.1.2 Aspetti vegetazionali e floristici

La Tenuta presidenziale di Castelporziano presenta tre principali serie vegetazionali distribuite in habitat differenti (BLASI 2010):

- lungo il litorale, il geosigmeto peninsulare psammofilo e alofilo della vegetazione dei sistemi dunali. Questo comprende le comunità psammofile *Salsolo kali-Cakiletum maritimae*, *Echinophoro spinosae-Elytrigietum junceae*, *Echinophoro spinosae-Ammophiletum*, *Crucinaelletum maritimae*, e *Asparago acutifolii-Juniperetum macrocarpae*, disposte a mosaico con numerosi aspetti di vegetazione terofitica, cioè con piante erbacee annuali in ambienti soggetti a forte stagionalità;
- nell'entroterra, la serie preappenninica costiera tirrenica centrale subacidofila del farnetto (*Mespilo germanicae-Quercus frainetto sigmetum*); è composta da formazioni a dominanza di querce caducifoglie – cerro e farnetto – con *Carpinus betulus* L., *Mespilus germanica* L. e talvolta *Ilex aquifolium* L.;
- verso la città di Roma, la serie preappenninica tirrenica centrale subacidofila dei substrati piroclastici del cerro (*Carpino orientalis-Quercus cerridis sigmetum*); si compone di boschi a *Quercus cerris* L. (talvolta con *Q. frainetto* Ten.) caratterizzati dalla presenza di *Carpinus orientalis* Mill. subsp. *orientalis* nello strato arboreo dominato, accompagnato da *Acer campestre* L., *Quercus pubescens* Willd. subsp. *pubescens*, *Ostrya carpinifolia* Scop., *Fraxinus ornus* L. subsp. *ornus*.

Per quanto riguarda i piscinali, il contesto vegetazionale circostante è quello dei boschi misti planiziali, dominati da querce caducifoglie e sempreverdi (tra cui farnia, cerro, leccio e sughera) associate ad altre latifoglie igrofile (TINELLI *et al.* 2012). In particolare, la Piscina di Malafede è una zona umida temporanea caratterizzata da una forte stagionalità idrologica, con allagamento invernale-primaverile e completo prosciugamento estivo, sviluppata in depressioni naturali su terreni a bassa permeabilità della duna antica (TINELLI *et al.* 2012). Dal punto di vista floristico, questi ambienti ospitano comunità erbacee effimere a terofite di piccole dimensioni, localizzate soprattutto lungo i margini e nelle aree periodicamente inondate. Tra i taxa più caratteristici si annoverano *Mentha pulegium* L., *Juncus capitatus* Weigel, *Juncus bufonius* L., *Ranunculus ophioglossifolius* Vill., *R. sardous* Crantz e *Scirpus cernuus* Vahl., specie indicatrici di condizioni idrologiche altamente variabili (BIANCO 2012).

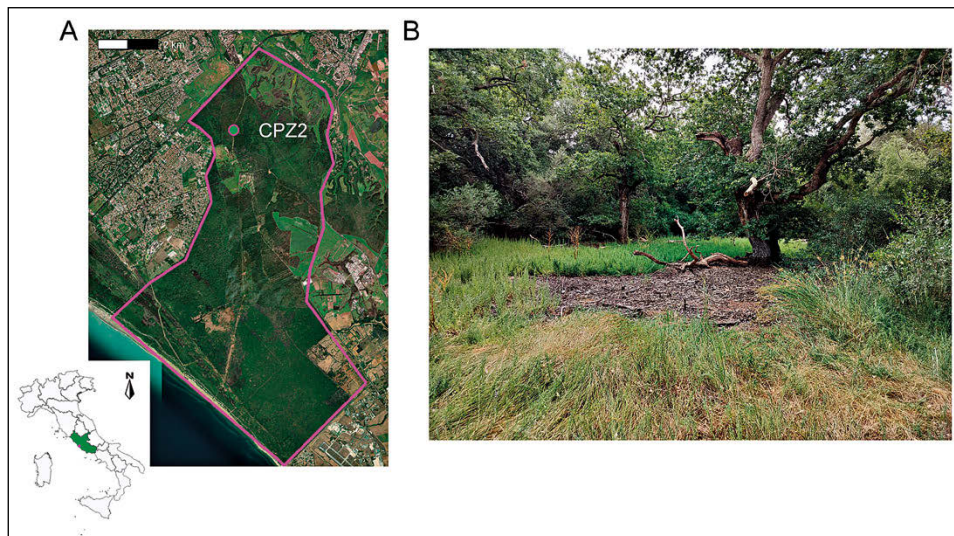


Fig. 2 – Localizzazione della Piscina di Malafede nella Tenuta presidenziale di Castelporziano. A) Mappa satellitare della Tenuta, con indicazione del sito di carotaggio CPZ2 in corrispondenza della Piscina di Malafede (provider: Esri World Imagery); B) contesto ambientale della Piscina di Malafede. Figura realizzata con R 4.5.2 (R CORE TEAM 2025), ggplot2 (WICKHAM 2016), maptiles (GIRAUD 2025), sf (PEBESMA 2018; PEBESMA, BIVAND 2023).

2. MATERIALI E METODI

2.1 Scelta del piscinale e carotaggio per lo studio palinologico

A seguito di sopralluoghi effettuati in diverse piscine effimere individuate all'interno della Tenuta, la Piscina di Malafede ($41,75762^{\circ}$ lat. N; $12,39622^{\circ}$ long. E; Fig. 2A) è stata selezionata come sito per il sondaggio geognostico in ragione delle sue caratteristiche geomorfologiche e vegetazionali, ritenute particolarmente favorevoli alla conservazione delle sequenze sedimentarie e dei proxy paleoambientali. In particolare, la natura di area umida temporanea, la posizione in una radura relativamente protetta e la probabile continuità dei processi di accumulo sedimentario indicavano condizioni potenzialmente idonee all'accumulo e alla preservazione di materiale organico e dei granuli pollinici (MOORE *et al.* 1991). La località si presenta come una radura con una consistente presenza di *Mentha pulegium*, circondata da vegetazione arborea prevalentemente composta da querce decidue e *Quercus ilex* L. (Fig. 2B). Tra le piante erbacee, oltre a Poaceae, è stata osservata una buona presenza di *Juncus* sp.

Per il carotaggio è stato utilizzato un carotiere a colonna con martello a percussione tipo Cobra 1TT, con motore a benzina, progettato per il prelievo

di campioni indisturbati e la rapida valutazione del profilo stratigrafico. Il carotiere consente di ottenere carote di 93 mm di diametro e 100 cm di lunghezza. Il carotaggio ha previsto un prelievo complessivo di 3 metri. La carota prelevata (CPZ2) è stata portata nei laboratori del Dipartimento di Scienze della Terra “Ardito Desio”, Università degli Studi di Milano, dove è stata aperta, documentata fotograficamente e descritta stratigraficamente, e campionata per l’inquadramento cronologico e l’indagine palinologica.

2.2 Analisi stratigrafica

La descrizione della stratigrafia osservata è stata effettuata in termini di analisi di *facies*. In particolare, la descrizione di CPZ2 ha tenuto in considerazione la tessitura, la presenza di strutture sedimentarie, il colore, la presenza di orizzonti di alterazione pedogenetica, il contenuto di record biologico (ad es., malacofauna, resti vegetali, carboni), la presenza di screziature, patine, noduli di Fe-Mn e di CaCO_3 con valutazione dell’effervescenza tramite l’utilizzo di acido cloridrico (HCl) diluito al 10%. La codificazione del colore dei sedimenti e delle figure ossido-riducenti è stata ottenuta in condizioni umide con l’ausilio della apposita tavola cromatica *Munsell Soil Color Chart*.

2.3 Sub-campionamento per datazione della sequenza stratigrafica

Per ottenere la cronologia della carota, sono stati prelevati cinque campioni per la datazione al radiocarbonio (si veda *infra*, §3.1), selezionati sulla base del contenuto di sostanza organica, valutato mediante criteri colorimetrici e test di reazione con perossido di idrogeno. Le datazioni sono state eseguite presso il laboratorio ISOCORE (San Nicola La Strada, Caserta) con il metodo della spettrometria di massa con acceleratore (AMS), utilizzando il sistema descritto in TERRASI *et al.* (2008). La calibrazione delle date e il modello età-profondità (si veda *infra*, §3.1) sono stati eseguiti con R 4.5.2 (R CORE TEAM 2025) e il pacchetto Bchron (HASLETT, PARNELL 2008) con curva di calibrazione IntCal20 (REIMER *et al.* 2020), e rappresentato graficamente con il pacchetto ggplot2 (WICKHAM 2016). Bchron è stato scelto per realizzare il modello età-profondità in quanto è in grado di gestire autonomamente gli *outlier* e permette cronologie flessibili (PARNELL *et al.* 2011; TRACHSEL, TELFORD 2016). Infatti, il modello presenta poche assunzioni sulla regolarità (smoothness), ossia la curva età-profondità può variare liberamente tra strati consecutivi. Ciò permette al tasso di sedimentazione di cambiare in modo significativo, caratteristica utile in presenza di informazioni limitate sul profilo stratigrafico (HASLETT, PARNELL 2008; TRACHSEL, TELFORD 2016). Il metodo possiede tuttavia un potenziale limite legato agli intervalli di incertezza, considerati troppo larghi se il modello è basato su un basso numero di datazioni (TRACHSEL, TELFORD 2016).

Campione	Profondità (cm)	Campione	Profondità (cm)
P1	2	P23 *	68
P2 *	5	P24	71
P3 *	8	P25	74
P4 *	11	P26 *	77
P5 *	14	P27	80
P6 *	17	P28 *	83
P7	20	P29	86
P8 *	23	P30	89
P9 *	26	P31	92
P10	29	P32	95
P11 *	32	P33	98
P12 *	35	P34	100
P13	38	P35	101
P14 *	41	P36	111
P15	44	P37	121
P16 *	47	P38	131
P17 *	50	P39	141
P18 *	53	P40	151
P19	56	P41	161
P20 *	59	P42	171
P21 *	62	P43	181
P22	65	P44	191

Tab. 1 – Campioni estratti per lo studio pollinico e profondità (in cm) del livello da cui sono stati prelevati lungo la carota CPZ2 (*: campioni sottoposti ad analisi palinologica).

2.4 Sub-campionamento pollinico

La carota sedimentaria è stata sub-campionata ad intervalli di ~3 cm nei primi 100 cm, per garantire un'elevata risoluzione temporale per fasi oloceniche. Al di sotto di tale profondità, data la presenza di sabbie, l'intervallo di sub-campionamento è stato ampliato a ~10 cm tra 101 e 191 cm. Dei 44 campioni prelevati, 18 sono stati selezionati per le analisi polliniche (Tab. 1) in base al livello stratigrafico e per massimizzare la copertura analitica delle fasi cronologiche di maggiore interesse attese (dalla prima occupazione dell'area all'età altomedievale).

2.5 Estrazione del polline e dei palinomorfi e analisi palinologica

I 18 campioni scelti sono stati sottoposti a trattamento per l'estrazione di polline e palinomorfi non pollinici (NPP) dal sedimento presso il Laboratorio di Palinologia e Paleobotanica, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia. Il trattamento è stato eseguito secondo il metodo illustrato in FLORENZANO *et al.* (2012), che prevede diversi passaggi: aggiunta di spore

di *Lycopodium* in concentrazione nota per il calcolo della concentrazione pollinica (espressa in p/g, granuli pollinici per grammo); deflocculazione con sodio tetrapirofosfato idrato; setacciatura con filtro di nylon con maglie di 7 µm; dissoluzione dei carbonati con HCl 10%; disidratazione in acido acetico glaciale e acetolisi con una miscela di anidride acetica e acido solforico; arricchimento con liquido pesante (Na-metatungstato idrato), passaggio di particolare importanza per massimizzare la concentrazione di palinomorfi anche in condizione di scarsa sostanza organica nel sedimento; dissoluzione dei silicati con HF 40%; infine passaggi in alcool etilico e inclusione in glicerina. Il residuo, raccolto in microprovette da 1,5 ml, è stato seccato in stufa a ca. 50°C. Dopo l'essiccazione, gli estratti sono stati usati per allestire vetrini permanenti idonei alla lettura al microscopio ottico a luce trasmessa. L'analisi microscopica è stata condotta ad ingrandimento 400× e 1000× (10× oculari, 100× obiettivo a immersione). La determinazione di granuli pollinici è stata eseguita con l'ausilio di atlanti e chiavi dicotomiche (PUNT *et al.* 1976; ANDERSEN 1979; MOORE *et al.* 1991; REILLE 1992; BEUG 2015).

2.6 Analisi dei dati e diagrammi pollinici

Le conte polliniche sono state trasformate in percentuali per campione, per poi eseguire un'analisi cluster vincolata alla profondità (*depth-constrained cluster analysis*; GRIMM 1987), dopo avere calcolato la distanza di Cavalli-Sforza e Edwards (CAVALLI-SFORZA, EDWARDS 1967) tra i campioni. La procedura è stata eseguita con i software Tilia (GRIMM 1991) e CONISS (GRIMM 1987), R 4.5.2 (R CORE TEAM 2025) e i relativi pacchetti vegan (OKSANEN *et al.* 2025) e rioja (JUGGINS 2024). I diagrammi pollinici percentuali sono stati realizzati con il software Tilia (GRIMM 1991). Le percentuali dei taxa pollinici sono state calcolate secondo BERGLUND, RALSKA-JASIEWICZOWA (1986): la Somma Pollinica (SP) include i taxa terrestri contati, e rispetto ad essa sono calcolate le percentuali dei granuli appartenenti a taxa terrestri; le percentuali dei granuli appartenenti a taxa idro-igrofilo sono calcolate su SP + totale idro-igrofite; le percentuali delle spore di felci sono calcolate su SP + totale spore di felci.

3. DATI CRONO-STRATIGRAFICI

3.1 Cronologia

I risultati delle datazioni al radiocarbonio (Tab. 2) hanno permesso di collocare la parte superiore della carota studiata alla fine dell'Olocene medio. Il modello età-profondità (Fig. 3) inquadra cronologicamente questa porzione di carota dal 5004 a.C. (100 cm) al 1554 d.C. (3 cm). Tra 50 e 80 cm, la minore pendenza della curva indica un ridotto apporto sedimentario, suggerendo deposizione più lenta e fluttuazioni nella dinamica ambientale del sistema.

Campione	Codice DSH	Profondità (cm)	Età ^{14}C (anni BP)	Età calibrata (anni a.C./d.C.)
CPZ2_13	DSH12751_SO	13	578 ± 27	1348 (1307-1418) d.C.
CPZ2_35 *	DSH12726_SO	35	407 ± 37	1480 (1430-1630) d.C.
CPZ2_50	DSH12725_SO	50	2161 ± 29	200 (354-57) a.C.
CPZ2_71 *	DSH12759_SO	71	2149 ± 31	181 (351-53) a.C.
CPZ2_82	DSH12741_SO	82	5545 ± 37	4392 (4449-4337) a.C.

Tab. 2 – Datazioni al ^{14}C di CPZ2: per ciascun campione è riportata la sigla, il codice DSH (identificativo unico del Lab. ISOCORE), la profondità in cm, la data radiocarbonica ottenuta in anni BP (BP = 1950) e a.C./d.C. con la relativa incertezza (σ). L'età calibrata è riportata come mediana dell'intervallo 2σ ($P = 95,4\%$), indicato tra parentesi. *: campioni la cui datazione non è stata presa in considerazione poiché incoerenti con la sequenza stratigrafica.

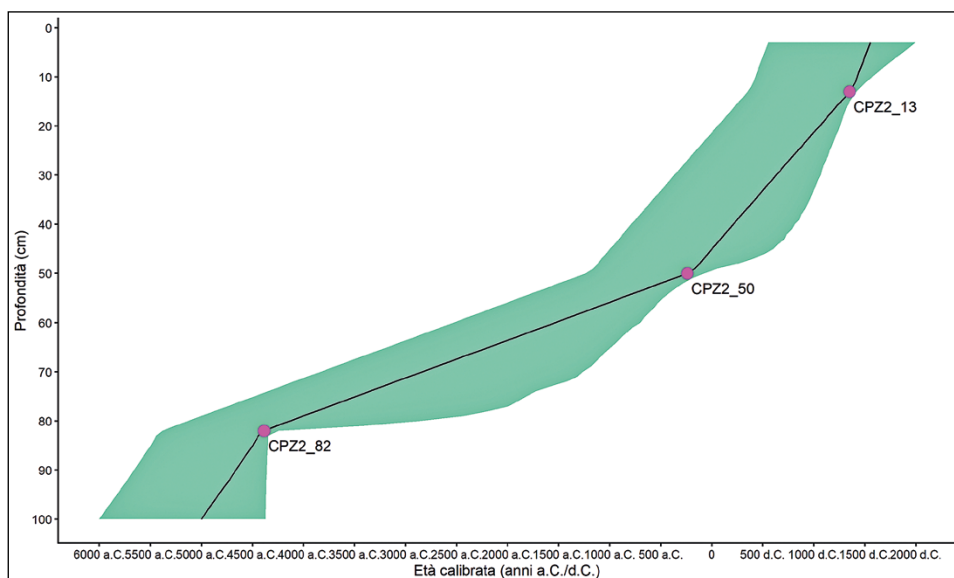


Fig. 3 – Modello età-profondità elaborato per la carota CPZ2. Le età modellizzate sono disposte lungo la curva, circondata dall'area rappresentante i relativi intervalli di incertezza (95%). Sono riportate sulla curva le tre datazioni radiocarboniche utilizzate per il modello.

3.2 Stratigrafia

La successione sedimentaria analizzata documenta l'evoluzione paleo-ambientale del sito dalla fase tardo-pleistocenica fino all'età storica recente (Tab. 3, Fig. 4). La porzione basale della sequenza (300-100 cm) è costituita da sabbie grossolane con abbondanti screziature e noduli di ossidi e idrossidi di Fe-Mn, ipotizzati possano riferirsi ai depositi associati ai sistemi di terrazzi alluvionali pleistocenici dell'Unità di Castelporziano. Al di sopra di tali sedimenti si impostano le successioni deposizionali della Piscina di Malafede,

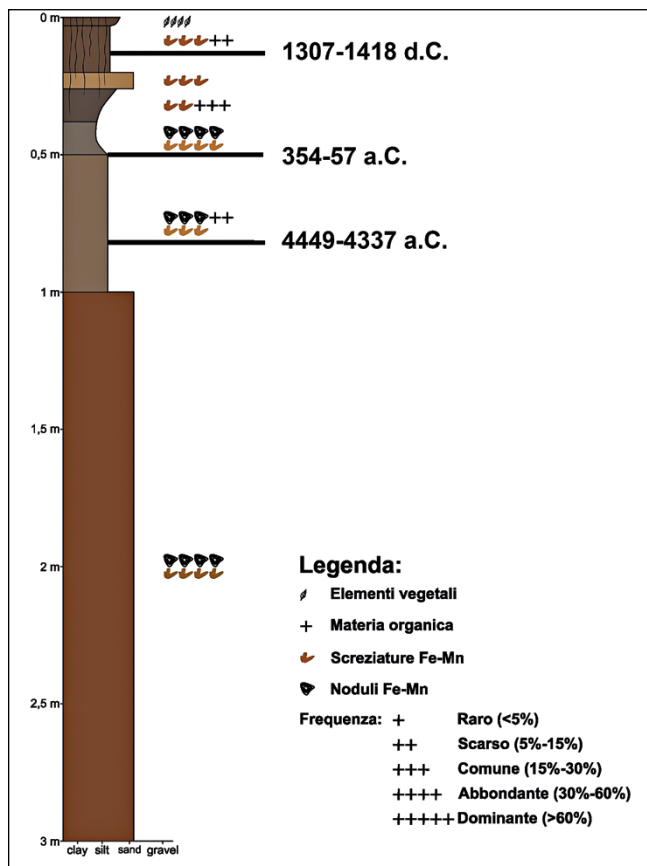


Fig. 4 – Stratigrafia di CPZ2 (0-3 m), con indicati i principali litotipi (clay = argilla; silt = limo; sand = sabbia; gravel = ghiaia). A destra del diagramma stratigrafico, sono riportate le date (anni calibrati a.C./d.C.) e i simboli che indicano altri elementi presenti nella matrice, con la relativa frequenza.

caratterizzate da una fase iniziale a granulometria fine (100-50 cm), dominata da silts argillosi con diffusa idromorfia. Questo intervallo indica il passaggio da un contesto alluvionale a un ambiente palustre o stagnale a bassa energia, attribuibile all'Olocene medio e protrattosi fino all'Olocene finale sulla base delle datazioni disponibili (Tab. 2; Fig. 4).

Tra 50 e 38 cm si osserva un ulteriore rafforzamento delle condizioni di ristagno idrico, interpretabile come il massimo sviluppo di un ambiente stagnale permanente, con bassissima energia idrodinamica. I livelli sovrastanti (38-20 cm) registrano una maggiore variabilità deposizionale, con alternanza

Profondità (cm)	Descrizione stratigrafica
300-100	Sabbie grossolane con poco <i>silt</i> , poco compatte e massive, colore 5YR 3/4. Abbondanti screziature e noduli di Fe-Mn. Limite inferiore non raggiunto.
100-50	<i>Silts</i> con scarsa argilla, compatti e massivi, colore 10YR 4/2. Comuni screziature di Fe-Mn e noduli di Fe-Mn. Concentrazione di noduli di Fe-Mn alla base dell'unità. Scarsa presenza di materia organica. Limite inferiore netto.
50-38	<i>Silts</i> argillosi con scarsa sabbia, compatti e massivi, colore 10YR 4/1. Abbondanti screziature di Fe-Mn (7.5YR 5/6) e noduli di Fe-Mn. Limite inferiore graduale.
38-26	Sabbie siltose con scarsa ghiaia fine, poco compatte e massive, colore 10YR 3/1. Comune presenza di materia organica ed apparati radicali. Scarsa presenza di screziature di ossidi di Fe-Mn. Limite inferiore graduale.
26-20	Sabbie medio-grossolane con scarso <i>silt</i> , moderatamente compatte e massive, colore 10YR 5/4. Comuni apparati radicali e screziature di ossidi di Fe-Mn. Limite inferiore chiaro.
20-3	<i>Silts</i> , compatti e massivi, colore 7.5YR 3/2. Abbondante presenza di apparati radicali freschi e scarsa materia organica. Comuni screziature di ossidi di Fe-Mn. Limite inferiore chiaro.
3-0	Top soil con sabbia e poco <i>silt</i> ed abbondante materia organica parzialmente decomposta. Limite inferiore graduale.

Tab. 3 – Descrizione stratigrafica della carota CPZ2 (300-0 cm).

di *facies* a granulometria fine e livelli sabbiosi, indicativa di brevi oscillazioni idrologiche e di un temporaneo aumento dell'energia deposizionale, probabilmente legato a eventi di apporto sedimentario episodici.

L'intervallo compreso tra 20 e 3 cm è caratterizzato da *silts* massivi con abbondanti apparati radicali, che testimoniano una fase di stabilizzazione ambientale e formazione del suolo in un contesto a bassa energia, riferibile all'Olocene tardo. La porzione sommitale della sequenza (3-0 cm) è rappresentata dal top soil, ricco in materia organica, indicativo delle attuali condizioni subaeree stabili.

4. DATI PALINOLOGICI

4.1 Risultati generali

Tutti i campioni hanno restituito polline. La concentrazione pollinica (Fig. 5) è risultata piuttosto variabile nei livelli della sequenza studiata (min.: 1157 p/g in P26; max.: 359.468 p/g in P5), con valori crescenti dalla porzione più bassa analizzata (2873 p/g in P18-P28), ai livelli intermedi (14.150 p/g in P14-P17), fino alla metà più superficiale di CPZ2 (148.000 p/g in P2-P12). Lo stato di conservazione dei granuli pollinici è risultato discreto, ma con evidenti differenze lungo la sequenza: il polline più deteriorato è stato osservato nella metà inferiore della carota. Questo fa ritenere che le condizioni ambientali di deposizione siano mutate nelle diverse fasi deposizionali esaminate.

4.2 Lista floristica

La lista floristica completa include 100 taxa pollinici, dei quali 28 taxa legnosi (alberi, arbusti, liane) e 72 erbacei (Tab. 4; Figg. 5-6). Nei campioni

la diversità pollinica è dunque piuttosto buona, facendo ipotizzare la formazione del deposito in un paesaggio vegetale caratterizzato da ricchezza floristica. Quantitativamente, *Quercus* decidue domina tra le Legnose (18% in media), mentre i taxa erbacei prevalenti sono i gruppi Poaceae spontanee (23%) e *Hordeum* (7%), *Phragmites australis* (7%), Cyperaceae (6%), e il gruppo *Ranunculus acris* (5%).

4.3 Copertura forestale

La copertura forestale è usualmente calcolata considerando il rapporto tra Legnose (somma percentuale media = 23%) ed Erbacee (77%). La copertura forestale oscilla nel corso della serie, da un minimo di 10,6% in P3 (Fig. 5) ad un massimo di 33,2% in P9. La tipologia di forestazione prevalente è il querceto misto, principalmente rappresentato da *Quercus* decidue, accompagnate da tracce di *Carpinus betulus*, *Ulmus* e *Fraxinus*. Sono presenti in misura minore gli alberi igrofilo *Alnus* e *Populus*. Sono inoltre presenti piccole aggregazioni di elementi boschivi mediterranei, principalmente rappresentati da *Quercus ilex*, mentre la componente arbustiva è rappresentata da *Erica* e tipo *Ephedra dystachia*.

4.4 Le zone polliniche

Sulla base degli assemblaggi pollinici, l'analisi visiva del diagramma pollinico e la *depth-constrained cluster analysis* hanno consentito di suddividere la serie stratigrafica in quattro zone polliniche (LPAZ, Local Pollen Assemblage Zones), denominate CP1-CP4 (Fig. 5), che riflettono altrettante fasi ambientali principali riconoscibili nella sequenza della Piscina di Malafede. Di seguito, la loro descrizione procede dalla più profonda e antica a quella più superficiale e recente. Gli intervalli cronologici riportati per ogni zona sono indicativi, legati alle date stimate sulla base del modello età-profondità e, come conseguenza degli intervalli dei campioni studiati, presentano “buchi temporali” di alcune decine di anni.

4.4.1 Zona Pollinica CP1 (4 campioni: cm 83-61, ~4444-1665 a.C.; Fig. 5)

I campioni della CP1 mostrano granuli pollinici generalmente diafani (Fig. 6E), nonostante il trattamento di estrazione pollinica abbia sempre previsto l'acetolisi, indicando per questa fase uno stato di conservazione del polline ridotto e non attribuibile a differenze procedurali. La copertura forestale risulta limitata (21,6% in media) e per lo più costituita da querceto misto. Quest'ultimo è rappresentato quasi esclusivamente da *Quercus* decidue (20,2%), accompagnate da sporadiche occorrenze di *Ulmus*. Tra gli alberi igrofilo si segnala *Populus*. Tra le componenti arbustive c'è la presenza costante, seppur in basse percentuali, di tipo *Juniperus* (1,4%). La copertura erbacea, invece, prevale ed è costituita principalmente da gruppo Poaceae spontanee

<i>Abies</i>	Tipo <i>Tilia platyphyllos</i> [P]	Tipo <i>Cirsium palustre</i> [P]	Tipo <i>Ornithogalum umbellatum</i> [B]
Tipo <i>Acer campestre</i> [P]	<i>Ulmus</i>	<i>Cladium mariscus</i>	<i>Phragmites australis</i>
<i>Alnus</i>	Tipo <i>Angelica palustris</i> [P]	Gruppo <i>Clematis vitalba</i> [P]	Tipo <i>Plantago lanceolata</i> [P]
<i>Arbutus unedo</i>	Tipo <i>Anthemis arvensis</i> [P]	<i>Convolvulus</i>	Tipo <i>Plantago major</i> [P]
<i>Buxus</i>	Apiaceae	Cyperaceae indiff.	<i>Plantago</i> indiff.
<i>Carpinus betulus</i>	<i>Aristolochia</i>	<i>Cyperus</i>	Gruppo Poaceae spontanee [A]
<i>Carya</i>	<i>Aristolochia clematidis</i>	<i>Euphorbia</i>	<i>Polygonum</i>
<i>Cornus mas</i> [P]	<i>Aristolochia rotunda</i>	<i>Filipendula</i>	Gruppo <i>Pulsatilla vulgaris</i> [P]
<i>Corylus avellana</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Fumaria</i>	Gruppo <i>Ranunculus acris</i> [P]
Tipo <i>Ephedra dystachia</i> [M]	<i>Asphodelus</i>	<i>Galium</i>	Gruppo <i>Ranunculus aquatilis</i> [P]
<i>Erica</i>	Tipo <i>Aster</i> [M]	<i>Helianthemum</i>	<i>Rumex</i>
Tipo <i>Fraxinus excelsior</i> [P]	Gruppo <i>Avena-Triticum</i> [A]	<i>Herniaria</i>	Tipo <i>Scilla</i> [M]
<i>Hedera helix</i>	Tipo <i>Brassica</i> (Tipo <i>Sinapis</i> [M])	Gruppo <i>Hordeum</i> [A]	Tipo <i>Senecio vulgaris</i> [P]
<i>Hippophae rhamnoides</i>	<i>Campanula</i>	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	Tipo <i>Sonchus oleraceus</i> [P]
<i>Juglans regia</i>	<i>Cannabis</i>	Tipo <i>Hypericum perforatum</i> [P]	Tipo <i>Sparganium emersum</i> [P]
Tipo <i>Juniperus</i>	Tipo <i>Carduus crispus</i> [P]	<i>Juncus</i>	Tipo <i>Sparganium erectum</i> [P]
<i>Lonicera</i>	<i>Carex</i>	Tipo <i>Knautia arvensis</i> [P]	<i>Thalictrum aquilegifolium</i>
<i>Olea</i>	Caryophyllaceae	Tipo <i>Lactuca sativa</i> [P]	Tipo <i>Thalictrum flavum</i> [P]
<i>Ostrya carpinifolia</i> / <i>Carpinus orientalis</i>	<i>Centaurea</i>	<i>Lemna minor</i>	Tipo <i>Typha latifolia</i> [P]
<i>Pinus</i>	Tipo <i>Centaurea nigra</i> [P]	<i>Lotus</i>	Tipo <i>Urtica dioica</i> [P]
<i>Populus</i>	Cerealia indiff.	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Urtica pilulifera</i>
<i>Quercus decidue</i>	<i>Cerinthe</i>	Tipo <i>Mentha</i> [M]	<i>Valeriana</i>
<i>Quercus ilex</i>	Chenopodiaceae (Amaranthaceae)	<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	Gruppo <i>Valerianella dentata</i> [P]
<i>Rhamnus</i>	Cichorieae	<i>Myriophyllum spicatum</i>	<i>Veratrum</i>
<i>Salix</i>	Tipo <i>Cichorium intybus</i> [P]	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	Gruppo <i>Xanthium strumarium</i> [P]

Tab. 4 – Lista completa dei 100 taxa pollinici rinvenuti nei campioni analizzati di CPZ2. La lista, disposta in quattro colonne sequenziali, presenta in ordine alfabetico le legnose (da *Abies* a *Ulmus*, in grigio) e le erbacee (da tipo *Angelica palustris* [P] a gruppo *Xanthium strumarium* [P], in bianco). Le lettere tra parentesi quadre dopo un taxon pollinico indicano la fonte bibliografica di riferimento per la lista di specie incluse: [A] = ANDERSEN 1979; [B] = BEUG 2015; [M] = MOORE *et al.* 1991; [P] = PUNT *et al.* 1976.

(30%) e Cyperaceae (10%), associate a tipo *Scilla* (8,3%) e tipo *Aster* (5,5%). La componente igrofila è ben rappresentata da Cyperaceae e *Juncus* (3,4%), associate a idrofite radicanti quali *Myriophyllum alterniflorum*. Verso la parte superiore della zona si osserva una diminuzione di *Quercus* decidue e Cyperaceae, accompagnata da un incremento delle Asteraceae, tra cui i tipi *Aster*, *Centaurea*, *Carduus crispus*, tipo *Cirsium palustre* e *Xanthium strumarium*.

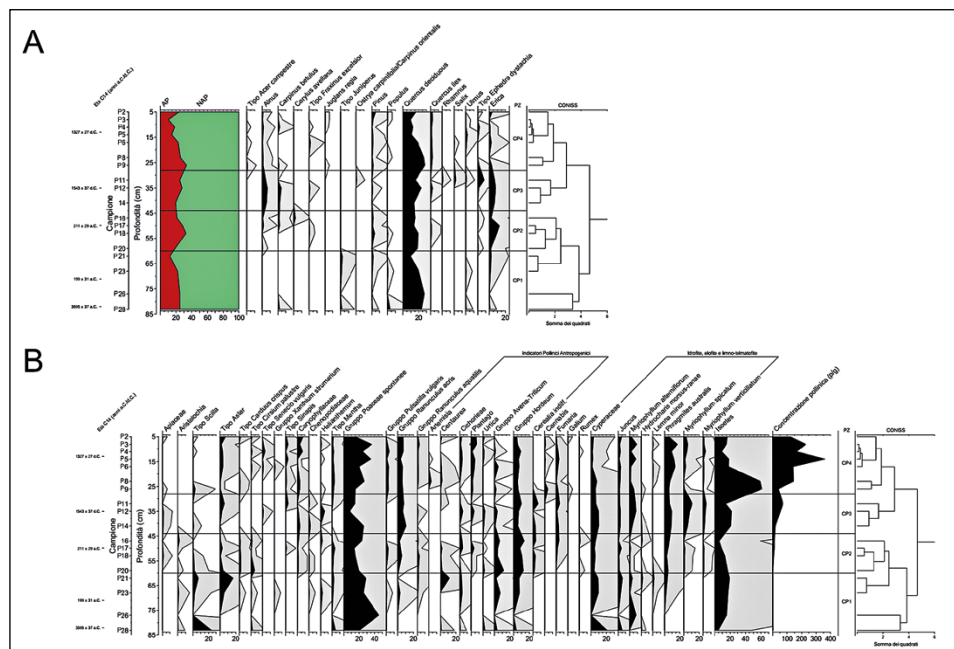


Fig. 5 – Diagrammi pollinici percentuali con taxa selezionati della carota CPZ2. A) Somma delle Legnose (AP = Arboreal Pollen) e delle Erbacee (NAP = Non-Arboreal Pollen) e taxa pollinici selezionati di alberi e arbusti; B) taxa pollinici selezionati di Erbacee, Indicatori Pollinici Antropogenici (API = Anthropogenic Pollen Indicators; MERCURI *et al.* 2013), idro-elofite e limno-telmatofite, la licofta *Isoetes* e la concentrazione pollinica (p/g). A destra dei diagrammi è riportata la depth-constrained cluster analysis con indicate le zone polliniche (PZ = CP1-CP4). Le curve polliniche hanno un fattore di esagerazione pari a 10x.

Contestualmente, sono presenti idrofite radicanti quali *Myriophyllum alterniflorum*, *Lemna minor* e *Hydrocharis morsus-ranae*.

4.4.2 Zona Pollinica CP2 (4 campioni, cm 60-45, ~1536 a.C.-2 d.C.; Fig. 5)

Questa zona presenta granuli pollinici con stato di conservazione ancora deteriorato e simile alla zona precedente. La fase è caratterizzata da un leggero incremento medio della copertura forestale che ora sale al 26%. La forestazione è dominata da *Quercus* decidue, con *Carpinus betulus* e tipo *Fraxinus excelsior*, ma diventano ora significative anche le mediterranee sia arboree come *Quercus ilex* sia arbustive come specie di *Erica* (6,6%) e tipo *Ephedra dystachia*. Invece, tipo *Juniperus* risulta assente in questa fase. Tra alberi igrofilo si registra *Alnus*. La componente erbacea mostra un sensibile calo di gruppo Poaceae spontanee (18,0%) e una riduzione significativa di Asteraceae rispetto alla parte terminale della zona CP1. La vegetazione

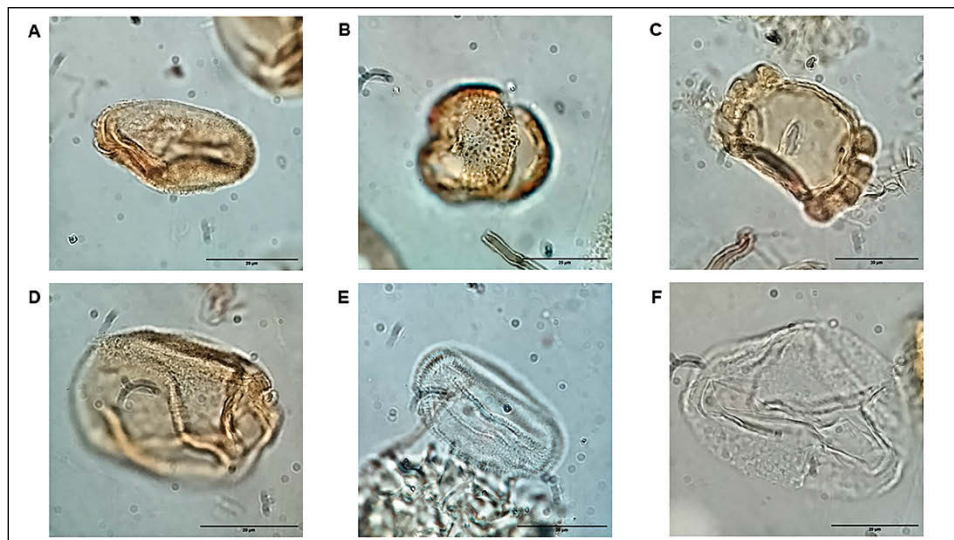


Fig. 6 – Granuli pollinici rinvenuti nella carota CPZ2. A) *Quercus decidue*; B) gruppo *Pulsatilla vulgaris*; C) *Myriophyllum alterniflorum*; D) gruppo *Hordeum*; E) tipo *Mentha* (granulo con aspetto diafano); F) Cyperaceae.

igrofila è rappresentata dalla presenza di idrofite radicanti quali *Myriophyllum spicatum* L. e *Myriophyllum verticillatum* L. Compaiono inoltre diversi taxa considerati indicatori antropogenici, tra cui *Rumex*, *Fumaria*, *Urtica* e *Plantago*. Contestualmente, si registra un aumento dei morfotipi di cereali gruppo *Hordeum* (11,2%) e gruppo *Avena-Triticum* (6,8%).

4.4.3 Zona Pollinica CP3 (3 campioni, cm 44-30, ~44-630 d.C.; Fig. 5)

In questa zona, il polline presenta uno stato di conservazione generalmente buono, anche se i granuli appaiono ripiegati e occasionalmente danneggiati; condizioni analoghe si riscontreranno anche nella zona successiva. Dopo un iniziale calo della copertura forestale, la forestazione riacquista valori complessivamente simili a quelli della zona precedente (25% in media). Il querceto misto rimane ben rappresentato, sebbene in percentuali lievemente superiori rispetto alla fase precedente, con *Quercus decidue* che raggiungono in media 17,7%, accompagnate da tracce di *Carpinus betulus*. I principali elementi mediterranei, *Q. ilex* (0,9%) e il suffrutice *Helianthemum* (1,7%), sono attestati costantemente per questa zona, anche se con discrete fluttuazioni. Per quanto riguarda il bosco igrofilo, *Alnus* (5,5%) registra il valore massimo della sequenza, mantenendosi costante per tutta la fase, mentre *Populus* non è identificato in questa fase. La componente

igrofila e limno-telmatofitica mostra un incremento marcato. Le idrofite del genere *Myriophyllum* raggiungono valori elevati (17,3%, considerando la somma delle tre specie), associate a Cyperaceae e *Phragmites australis* (8,6% ciascuno). All'interno delle erbacee si registra un aumento significativo di gruppo *Ranunculus acris* (8,4%), circa doppio rispetto alla zona precedente, mentre il gruppo Poaceae spontanee, pur rimanendo dominante, mostra un ulteriore calo (16,1%). Gli indicatori pollinici di cereali evidenziano andamenti differenziati: gruppo *Hordeum* registra un valore medio di 7,3%, mentre gruppo *Avena-Triticum* si attesta su 1,7%, con oscillazioni più marcate. La infestante dei campi *Fumaria* si mantiene relativamente stabile in tutta la zona.

4.4.4 Zona Pollinica CP4 (7 campioni, cm 29-3, ~672-1554 d.C.; Fig. 5)

La zona CP4, corrispondente alla parte più superficiale della sequenza, è ancora caratterizzata da un contesto scarsamente forestato (21,6% in media). La componente arborea dominante è *Quercus* decidue (17,5%), che si mantiene sostanzialmente invariata o leggermente in aumento rispetto alla zona precedente. Sono inoltre costantemente attestate le querce sempreverdi (*Q. ilex*: 2% in media), che presentano in CP4 i valori più elevati nella sequenza. La copertura erbacea è dominata da gruppo Poaceae spontanee, che raggiunge il 24,7% in media. A queste si aggiungono Ranunculaceae, rappresentate dai gruppi *Ranunculus acris*, *R. aquatilis* e *Pulsatilla vulgaris*, che nel complesso hanno valori medi del 10,1%. La componente idrofita è complessivamente ridotta: *Myriophyllum* registra valori medi pari all'8,1%. Permangono tuttavia taxa associati a condizioni umide ma non strettamente acquatiche, quali Cyperaceae (3,5%), *Phragmites australis* (10,4%) e *Juncus* (2,7%).

5. DISCUSSIONE

I risultati ottenuti dalle analisi della Piscina di Malafede confermano l'elevato potenziale informativo di questo sistema umido effimero, che si configura come un archivio paleoambientale che ha registrato in modo coerente dinamiche ambientali e antropiche sviluppatesi a scala locale e territoriale durante l'Olocene medio e finale. Di seguito, la discussione è articolata in tre livelli interpretativi complementari: dapprima sono esaminate alcune evidenze floristiche di particolare rilievo ecologico e storico; poi, è proposta una ricostruzione paleoecologica e ambientale integrata dell'evoluzione della Piscina di Malafede nel corso delle fasi cronologiche intercettate dalla carota CPZ2; infine, una sintesi complessiva inquadra i risultati nel più ampio contesto geomorfologico e paesaggistico della Tenuta presidenziale di Castelporziano.

5.1 Evidenze floristiche di particolare rilevanza storica ed ecologica

All'interno della sequenza CPZ2 emergono alcune particolarità floristiche di rilievo che forniscono indicazioni indipendenti e complementari alla ricostruzione paleoambientale della Piscina di Malafede. Tra queste, la presenza ricorrente di *Pinus* e l'abbondanza del genere di licofiti *Isoetes* rivestono un ruolo interpretativo significativo.

Il polline di *Pinus* è presente lungo quasi tutta la sequenza, sebbene assente in tre campioni e rappresentato negli altri da percentuali molto basse (1,5% in media; Fig. 5). Considerata l'elevata produzione pollinica tipica delle gimnosperme e l'ampia capacità di dispersione anemofila del polline di *Pinus*, tali valori risultano complessivamente modesti e indicativi di un contributo prevalentemente alloctono, piuttosto che di una presenza locale continua. Il valore massimo, registrato nel campione più recente (5,2% in P2; 5 cm), suggerisce tuttavia una maggiore prossimità di popolamenti di pino in epoca tarda. La cronologia di questo campione (1516 d.C. in base al modello età-profondità) precede di circa un secolo le prime attestazioni storiche documentate della pineta di *Pinus pinea* L. nell'area di Castelporziano, indicando una possibile fase iniziale di diffusione o una presenza sporadica antecedente alle grandi piantumazioni storicamente note. Questa interpretazione assume particolare rilievo nel contesto storico e geografico dell'area, poiché l'introduzione e la diffusione di *P. pinea* in Italia sono generalmente considerate di epoca storica e associate alle pratiche di gestione del paesaggio in età etrusca e romana (SCARASCIA MUGNOZZA, PAGANINI n.d.).

Nel caso specifico della Tenuta presidenziale di Castelporziano, le prime attestazioni documentarie di *P. pinea* risalgono al Catasto Alessandrino del 1648, mentre i principali impianti sono riferibili alla seconda metà del XIX secolo e alla prima metà del XX secolo (CAPITONI *et al.* 2013). Nel loro insieme, i dati palinologici suggeriscono pertanto un contributo regionale o di lunga distanza per gran parte della sequenza, con un possibile incremento di prossimità delle pinete in epoca tarda, precedente alle sistemazioni forestali storicamente documentate.

Un ulteriore elemento di rilievo è rappresentato dal genere *Isoetes*, che raggiunge valori complessivamente elevati (19,8% in media), con una particolare concentrazione nella zona CP4 (20,9% in media; max.: 56% in P9-26 cm). *Isoetes* comprende specie tipiche di stagni temporanei e ambienti umidi effimeri (MOLINA *et al.* 2011) e costituisce un indicatore diretto della natura di piscina d'acqua dolce del bacino. La presenza costante di *Isoetes*, che in alcune fasi è particolarmente abbondante (60,3% in P8-P9-23-26 cm), indica condizioni di allagamento periodico e conferma la natura effimera della Piscina di Malafede. In particolare, *Isoetes histrix* Bory & Durieu è caratteristica di pozze e stagni temporanei (BSBI 2025; PORTALE DELLA FLORA D'ITALIA 2025) ed è l'unica specie del genere segnalata nelle piscine effimere della Riserva di

Castelporziano, ad eccezione di *I. velata* A. Braun, limitata all'area di Tor Paterno (BIANCO 2012). Questa evidenza floristica rafforza l'interpretazione della Piscina di Malafede come un sistema umido effimero in funzione negli ultimi millenni, sensibile alle dinamiche idrologiche e in grado di registrare segnali sia a scala locale sia a scala territoriale.

5.2 La ricostruzione paleoecologico-ambientale

Le analisi palinologiche documentano almeno quattro fasi principali della storia ambientale della Piscina di Malafede.

5.2.1 Olocene Medio-Superiore (~ 4444-1665 a.C.): il paesaggio aperto e la dinamica idrologica variabile

Durante l'Olocene Medio (fase iniziale di CP1, ca. 4500 a.C.), il paesaggio doveva essere aperto, dominato da praterie e ambienti umidi, con una copertura forestale limitata. La ridotta percentuale di Legnose, infatti, indica un contesto scarsamente forestato, coerente con un ambiente a dinamica idrologica variabile. Lo stato di conservazione diafano dei granuli pollinici suggerisce che i sedimenti di questa fase dovevano essere soggetti a ripetuti cicli di ossidazione, probabilmente legati ad alternanze di prosciugamento e riallagamento del bacino, in accordo con la natura effimera della piscina. Tali condizioni avrebbero favorito il deterioramento dei granuli durante le fasi di esposizione subaerea (HOLLOWAY 1989; CAMPBELL, CAMPBELL 1994), interrotto nei periodi di ristagno idrico. D'altra parte, la componente limnofila e la presenza costante di idrofite radicanti testimoniano però una disponibilità relativamente stabile di acqua dolce all'interno del bacino: questo suggerisce che il disseccamento avvenisse per un periodo di tempo breve, più simile ad un andamento stagionale che a una alternanza di fasi climatiche. L'occorrenza di tipo *Juniperus*, tipico di contesti steppici tardo-glaciali (KUNEŠ *et al.* 2008), ma non accompagnato in quantità significative da altri indicatori di questi ambienti (come *Pinus*, *Chenopodiaceae* e *Artemisia*) (KUNEŠ *et al.* 2008), suggerisce la prossimità di ambienti sabbiosi aperti, verosimilmente collegabili alla vicinanza dell'antica linea di costa.

La presenza del querceto caducifoglio, seppur in basse percentuali, associata a taxa mesofili quali *Ulmus* e *Populus*, indica la persistenza di condizioni localmente fresche e umide, probabilmente in aree perifluviali o depresse. Tuttavia, la progressiva diminuzione delle querce decidue e *Cyperaceae*, associata all'aumento di *Asteraceae* tolleranti condizioni più secche, indica una fase di maggiore aridità durante la fine dell'Olocene medio, cioè la parte terminale di questa fase, a partire da ca. 2600 a.C. Contestualmente si registra anche un incremento di *Helianthemum*, elemento della vegetazione mediterranea, che suggerisce anch'esso condizioni ambientali più secche e calde. Questi dati sembrano riflettere una variazione climatica di più ampia scala, distinta dai

normali cicli stagionali di disseccamento e riallagamento della piscina, pur in presenza di condizioni idonee alla persistenza del corpo idrico.

5.2.2 Tarda età protostorica-fase romana repubblicana (~ 1536 a.C.-2 d.C.): la ricolonizzazione forestale e i primi segnali di impatto antropico

In questo periodo inizia una fase di parziale ricolonizzazione forestale, con un aumento della copertura arborea rispetto alla fase precedente e un progressivo allontanamento dell'influenza degli ambienti sabbiosi costieri rispetto alla fase precedente (tipo *Juniperus* non è presente). La dominanza delle querce decidue, associata alla comparsa di *Carpinus betulus*, tipo *Fraxinus excelsior* e *Alnus*, suggerisce condizioni ambientali complessivamente più umide e stabili rispetto alla parte terminale di CP1. In particolare, *Alnus*, tipicamente igrofilo, indica la persistenza di ambienti con elevata disponibilità idrica. Questa interpretazione è rafforzata dalla scomparsa o forte riduzione delle Asteraceae tolleranti condizioni aride, e dalla comparsa di ulteriori idrofite radicanti (*Myriophyllum spicatum* e *M. verticillatum*), che testimoniano una disponibilità locale di acqua dolce.

Parallelamente, il marcato sviluppo di *Erica* suggerisce la persistenza di condizioni di stress ambientale, potenzialmente legate a fasi di aridità o a disturbi ricorrenti. Il genere *Erica* comprende infatti specie pirofite, adattate alla colonizzazione post-incendio e a contesti caratterizzati da forte stress idrico, come *Erica scoparia* L. (BARTOLOMÉ *et al.* 2005; PAULA, OJEDA 2006). Questo segnale appare coerente con l'eredità ambientale della fase più secca al termine di CP1, attestata anche da un incremento di *Quercus ilex*, specie arborea mediterranea.

Dal punto di vista antropico, CP2 mostra evidenze più chiare di frequentazione umana del territorio. La comparsa di taxa indicatori di disturbo e attività antropiche, quali *Rumex*, *Fumaria* (commensale di colture), *Urtica* (nitrofila) e *Plantago* (indicatore di calpestio), rientra nel quadro definito dagli indicatori antropogenici individuati da MERCURI *et al.* (2013). A questi si associa l'aumento dei morfotipi di cereali gruppo *Hordeum* e gruppo *Avena-Triticum*, che, pur non includendo esclusivamente cereali coltivati, rappresentano indicatori particolarmente significativi di attività cerealicola (BOTTEMA 1992; BEHRE 2007). Considerando che il polline dei cereali è generalmente poco disperso e sottorappresentato negli spettri pollinici, i valori registrati (11,2% e 6,8% rispettivamente per i gruppi *Hordeum* e *Avena-Triticum*) possono essere interpretati come potenziali tracce di coltivazione cerealicola nell'area circostante il bacino.

5.2.3 Età romana imperiale (~ 44-630 d.C.): la massima disponibilità idrica e l'intensificazione delle attività antropiche

Questa fase caratterizzata da condizioni ambientali marcatamente umide è inquadrabile cronologicamente nell'ultimo periodo imperiale romano. La maggiore disponibilità idrica e un allagamento del bacino più persistente rispetto alle

fasi precedenti sono suggeriti dal picco di *Alnus* accompagnato dall'aumento consistente delle idrofite radicanti (*Myriophyllum*) e delle limno-telmatofite (Cyperaceae e *Phragmites australis*). La scomparsa di *Populus*, nonostante l'elevata umidità, potrebbe riflettere una riorganizzazione locale degli habitat igrofilo. Coerentemente, i dati stratigrafici evidenziano per CP3 un incremento dei processi di ruscellamento superficiale, suggerendo una dinamica idrologica più attiva. Il querceto caducifoglio rimane una componente strutturale del paesaggio, ma va incontro a una parziale contrazione a fronte dell'espansione degli ambienti umidi e palustri, pur mantenendo elementi di ambiente mediterraneo quali leccio ed eliantemo. L'aumento di gruppo *Ranunculus acris*, associato al progressivo calo del gruppo Poaceae spontanee, suggerisce una riorganizzazione delle comunità prative in risposta alle mutate condizioni idrologiche.

Dal punto di vista antropico, CP3 mostra una persistenza delle attività agricole, seppur con una differenziazione negli indicatori cerealicoli. Entrambi i morfotipi (gruppo *Hordeum* e gruppo *Avena-Triticum*) mostrano una diminuzione, ma gruppo *Hordeum* mantiene valori più stabili nel tempo, suggerendo attività colturali continuative. Al contrario, gruppo *Avena-Triticum* presenta oscillazioni più accentuate, potenzialmente legate a una maggiore variabilità nelle pratiche agricole o nella disponibilità dei campi coltivati. La stabilità dei valori di *Fumaria*, tipica commensale delle colture su terreni smossi e ben drenati, rafforza l'interpretazione di una continuità delle attività agricole in prossimità del sito (FANFARILLO *et al.* 2020; CZARNA *et al.* 2024), anche in un contesto ambientale caratterizzato da un marcato incremento delle condizioni umide.

5.2.4 Dal Medioevo all'età moderna (~ 672-1554 d.C.): la stabilizzazione dello stagno e l'assetto ambientale simile all'attuale

Questa ultima fase della storia ambientale della Piscina di Malafede, che documenta periodi storici fino a quelli post-medievali, mostra un quadro ambientale con un assetto paesaggistico sostanzialmente simile a quello attuale. La ridotta copertura forestale, associata alla prevalenza delle comunità prative, indica un ambiente aperto e stabilizzato, con un mosaico di praterie e habitat umidi marginali. L'incremento di *Quercus* decidue e *Q. ilex* rispetto alla fase precedente, pur in un contesto complessivamente poco forestato, suggerisce la presenza di nuclei arborei localizzati, probabilmente confinati alle aree meno soggette a ristagno idrico o a disturbo antropico. Il picco di gruppo Poaceae spontanee e la buona rappresentazione di Ranunculaceae indicano condizioni favorevoli allo sviluppo di praterie meso-igrofile. La ridotta presenza di idrofite strettamente acquatiche, in particolare *Myriophyllum*, associata alla persistenza di piante elofite e igrofile (*Phragmites australis*, Cyperaceae, *Juncus*), suggerisce una diminuzione della profondità e della durata dell'allagamento del bacino. Questo quadro è coerente con una progressiva stabilizzazione dello stagno, in accordo con quanto evidenziato

dall'analisi stratigrafica, possibilmente associato ad una riduzione dei processi di ruscellamento superficiale nel corso dell'ultima fase della sequenza.

5.3 Dalla superficie alluvionale pleistocenica allo stagno effimero olocenico

L'integrazione dei dati stratigrafici, cronologici, geomorfologici e palinologici ottenuti dalla carota CPZ2 consente di ricostruire in modo dettagliato l'evoluzione paleoambientale della Piscina di Malafede nel corso dell'Olocene medio e superiore, evidenziando una traiettoria evolutiva coerente che conduce dalla superficie del terrazzo alluvionale dell'Unità di Castelporziano (CPZ, DE RITA *et al.* 2009) a uno stagno, fortemente sensibile alle variazioni idrologiche, climatiche e antropiche.

La base della successione documenta sedimenti sabbiosi, che costituiscono il substrato su cui si imposta successivamente il bacino. A questi livelli fanno seguito sedimenti fini di età olocenica durante una lunga fase di sedimentazione a bassa energia, indicativo che lo stagno era attivo. Le datazioni e il modello età-profondità collocano l'impostazione dell'ambiente di stagno intorno a ca. 5000 a.C., con fluttuazioni deposizionali fino all'età storica recente a ca. 1600 d.C. In particolare, si osserva un ridotto apporto sedimentario tra la fine dell'Olocene medio e l'inizio dell'Olocene superiore fino alla fase romana repubblicana (50-80 cm), suggerendo deposizione più lenta e fluttuazioni nella dinamica ambientale del sistema.

Durante l'Olocene medio e superiore, l'area sperimenta un progressivo rafforzamento delle condizioni di ristagno idrico, culminato nello sviluppo di uno stagno a bassissima energia idrodinamica. Le oscillazioni di *facies* osservate nella parte intermedia della sequenza testimoniano tuttavia fasi di instabilità idrologica, con episodi di aumento dell'energia deposizionale interpretabili come eventi di piena o temporanee riattivazioni del drenaggio locale. Tali variazioni non possono essere attribuite univocamente a forzanti climatiche naturali o a interventi antropici precoci, suggerendo piuttosto un controllo multifattoriale sull'evoluzione del sistema, legato all'interazione tra assetto geomorfologico, dinamica idrologica e pressioni esterne.

I dati pollinici rivelano la ricchezza floristica locale e un paesaggio prevalentemente aperto lungo l'intera sequenza. In accordo con le osservazioni geomorfologiche e stratigrafiche, elementi vegetazionali legati alle aree umide d'acqua dolce e alla natura effimera della piscina risultano costantemente rappresentati, soggetti a fluttuazioni stagionali più o meno intense, mentre il querceto misto con elementi mediterranei caratterizza il contesto circostante. La passata vicinanza di ambienti sabbiosi costieri è testimoniata dalla presenza di *Juniperus* nelle fasi più antiche. Nel corso dell'Olocene si riconoscono oscillazioni tra fasi relativamente più umide e periodi più secchi, fino al periodo medievale-rinascimentale, quando il sistema mostra una progressiva stabilizzazione e assume un assetto ambientale complessivamente simile a quello attuale.

5.4 Confronto con altri record palinologici del Lazio costiero

Record palinologici del Lazio documentano variazioni nella copertura forestale associate all'intensificazione dell'impatto antropico, con riduzione o frammentazione dei querceti, aumento delle componenti prative e comparsa di indicatori di attività agricole e pastorali a partire almeno dal primo millennio a.C. e già prima del periodo romano (MERCURI *et al.* 2002). In questo quadro, l'andamento dei taxa arborei e dei segnali antropogenici osservato nella sequenza CPZ2 risulta coerente con quanto documentato in altri contesti costieri e fluviali della regione. Nel record del delta del Tevere (*Fiume Morto* MO2), PEPE *et al.* (2016) evidenziano una dominanza della copertura forestale costituita da elementi arborei ripariali, mediterranei e mesofili alternati, tipici di un ambiente di transizione come una pianura deltizia. Ciononostante, le dinamiche tra copertura forestale, attività agricole e variazioni idrologiche nel corso dell'Olocene recente sono comparabili a quanto osservato nella carota CPZ2.

Lo studio multidisciplinare condotto nel sito di *Portus*, l'antico porto imperiale di Roma ubicato a ca. 20 km a N rispetto alla Tenuta nell'area del delta del Tevere, indica un crescente impatto antropico dell'area costiera dal I al XV sec. d.C. (PEPE *et al.* 2013). Il segnale antropico, attestato nei diagrammi pollinici del bacino portuale e del canale ad esso connesso da piante sinantropiche/ruderali ed eduli, si combina con l'avanzamento della linea costiera e aumenta progressivamente a partire dal tardo antico e poi soprattutto dal IX alla metà dell'XI sec. d.C. Sebbene la risoluzione della sequenza CPZ2 qui presentata sia inferiore a quella del record pollinico di *Portus*, essa fornisce nuovi dati sul periodo medievale, ancora poco documentato da studi paleoambientali nell'area. Le dinamiche ambientali registrate nella sequenza CPZ2 non evidenziano variazioni significative dell'impatto antropico locale nel periodo post-romano, indicando una persistenza della frequentazione dell'area, associata a lievi oscillazioni nelle attestazioni cerealicole.

6. CONCLUSIONI

Il presente studio fornisce una ricostruzione paleoambientale ad alta risoluzione della Piscina di Malafede, ottenuta attraverso l'integrazione coerente di dati stratigrafici, geomorfologici, cronologici e palinologici. L'approccio interdisciplinare adottato ha consentito di inquadrare l'evoluzione del bacino all'interno della più ampia dinamica del paesaggio costiero della Tenuta presidenziale di Castelporziano, evidenziando il ruolo determinante dell'assetto geomorfologico nel controllare i processi deposizionali e la risposta degli ecosistemi locali nel corso dell'Olocene. I risultati mostrano come la Piscina di Malafede costituisca un archivio paleoambientale particolarmente sensibile ma al tempo stesso coerente, capace di registrare sia variazioni idrologiche di breve durata sia trasformazioni ambientali di più ampia scala temporale.

Dal punto di vista palinologico, lo studio ha restituito un quadro di notevole rilevanza per la ricostruzione della composizione floristica locale e del paesaggio vegetale circostante. I periodi di massima forestazione generale sono individuabili nelle zone polliniche CP2 e CP3, che insieme coprono il periodo romano. Inoltre, le evidenze di alterazione e ossidazione del polline forniscono informazioni dirette sui cicli di idratazione e disseccamento del bacino, aggiungendo un ulteriore livello interpretativo alla lettura paleoambientale e confermando il valore di questi sistemi come archivi dinamici e complessi. La continuità deposizionale e la natura effimera del bacino permettono infatti di cogliere con chiarezza l'alternanza tra fasi di ristagno idrico, oscillazioni deposizionali e periodi di stabilizzazione ambientale, restituendo una traiettoria evolutiva ben definita dalla fase alluvionale pleistocenica, il progressivo allontanamento della costa, il riempimento graduale del bacino, le oscillazioni stagionali e il ruolo crescente degli indicatori antropogenici, di frequentazione e di coltura, fino all'età storica recente con assetto simile all'attuale.

I risultati ottenuti rappresentano una base solida per l'estensione delle analisi agli altri campioni della sequenza e per futuri confronti integrati con i dati archeologici disponibili per la Tenuta presidenziale di Castelporziano. In un contesto territoriale di straordinaria rilevanza storica e ambientale, l'approccio qui adottato si conferma particolarmente efficace nel collegare dinamiche naturali e antropiche, contribuendo in modo significativo alla comprensione dei paesaggi del passato e delle loro trasformazioni nel lungo periodo.

LORENZO BRAGA

Laboratorio di Palinologia e Paleobotanica, Dipartimento di Scienze della Vita
Scuola di Dottorato in Models and Methods for Material and Environmental Sciences (M3ES)
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
lorenzo.braga@unimore.it

DAVIDE SUSINI

Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali, Università degli Studi di Siena
susini.davide@gmail.com

ANDREA ZERBONI

Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", Università degli Studi di Milano
andrea.zerboni@unimi.it

ANNA MARIA MERCURI*, ASSUNTA FLORENZANO

Laboratorio di Palinologia e Paleobotanica, Dipartimento di Scienze della Vita
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
annamaria.mercuri@unimore.it, assunta.florenzano@unimore.it

* Autore per la corrispondenza

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare i proff. Stefano Campana e Paolo Liverani per il coinvolgimento nel progetto e per il coordinamento delle attività. Inoltre, gli Autori esprimono il loro ringraziamento al personale della Tenuta presidenziale di Castelporziano, nonché il Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica Italiana, per la preziosa assistenza fornita, per il fondamentale supporto logistico offerto durante lo svolgimento dello studio e per aver messo a disposizione le infrastrutture e le attrezzature di ricerca necessarie, determinanti per il completamento della ricerca, in particolare durante il lavoro sul campo.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSEN S.T. 1979, *Identification of wild grass and cereal pollen*, «Danmarks Geologiske Undersøgelse Årbog», 1978, 69-92.
- BANZATO F., BARBERIO M.D., DEL BON D., LACCHINI A., MARINELLI V., MASTRORILLO L., PASSARETTI S., SBARBATI C., PETITTA M. 2019, *Relationship between rainfall and water table in a coastal aquifer: The case study of Castelporziano presidential estate*, «Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater», 8, 1, 27-33 (<https://doi.org/10.7343/as-2019-379>).
- BARTOLOMÉ J., LÓPEZ Z.G., JOSÉ BRONCANO M., PLAIXATS J. 2005, *Grassland colonization by Erica scoparia (L.) in the Montseny Biosphere Reserve (Spain) after land-use changes*, «Agriculture, Ecosystems & Environment», 111, 1, 253-260 (<https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.008>).
- BEHRE K.E. 2007, *Evidence for Mesolithic agriculture in and around Central Europe?*, «Vegetation History and Archaeobotany», 16, 203-219 (<https://doi.org/10.1007/s00334-006-0081-7>).
- BELLOTTI P., CALDERONI G., DALL'AGLIO P.L., D'AMICO C., DAVOLI L., DI BELLA L., D'OREFICE M., ESU D., FERRARI K., MAZZANTI M., MERCURI A.M., TARRAGONI C., TORRI P. 2016, *Middle-to late-Holocene environmental changes in the Gargliano delta plain (Central Italy): Which landscape witnessed the development of the Minturnae Roman colony?*, «The Holocene», 26, 1457-1471 (<https://doi.org/10.1177/095968361666400551>).
- BELLOTTI P., DAVOLI L., SADORI L. 2018, *Landscape diachronic reconstruction in the Tiber Delta during historical time. A holistic approach*, «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», 41, 1, 3-21 (<https://doi.org/10.4461/GFDQ.2018.41.1>).
- BERGLUND B.E., RALSKA-JASIEWICZOWA M. 1986, *Pollen analysis and pollen diagrams*, in B.E. BERGLUND (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, Chichester, John Wiley & Sons, 455-484.
- BEUG H.-J. 2015, *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*, 2nd ed., München, Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- BIANCO P.M. 2012, *Le zone umide naturali di Castelporziano*, in A. TINELLI, A. FOLLETO, F. MANFREDI FRATTARELLI, L. MAFFEI, A. MUSICANTI, F. RECANATESI (eds.), *Le zone umide, in Il sistema ambientale della Tenuta di Castelporziano*, Roma, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, 103-113.
- BIANCO P.M., PIGNATTI S., TESCAROLLO P. 2001, *Parte Speciale/Vegetazione*, in *Il sistema ambientale della Tenuta presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo*, Scritti e Documenti XXVI, Roma, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, 468-640.
- BLASI C. (ed.) 2010, *La vegetazione d'Italia con Carta delle Serie di Vegetazione in scala 1 500.000*, Roma, Palombi Editori.

- BLASI C. 2016, *La diversità floristica di Castelporziano nel contesto ecosistemico planiziale*, «Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL», 40, 2, 273-280.
- BOTTEMA S. 1992, *Cereal-type pollen in the Near East as indicators of wild or domestic crops. Préhistoire de l'agriculture: Nouvelles approches expérimentales et ethnographiques*, Monographie du CRA, 6, Paris, Éd. CNRS.
- BROWN F.S.J. 2010, *Late Holocene Environmental Change at Castelporziano*, Doctoral Thesis, Loughborough, Loughborough University.
- BSBI 2025, *Isoetes histrix* 2025 (<https://bsbi.org/taxa/2cd4p9h.4k9/isoetes-histrix>).
- CAMPBELL I.D., CAMPBELL C. 1994, *Pollen preservation: Experimental wet-dry cycles in saline and desalinated sediments*, «Palynology», 18, 1, 5-10 (<https://doi.org/10.1080/01916122.1994.9989434>).
- CAPITONI B., GIORDANO E., MAFFEI L., TINELLI A. 2013, *Aggiornamento dei parametri dendroauxometrici disponibili per le pinete di Castelporziano*, in *Il sistema ambientale della Tenuta presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo*, 3, Roma, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, 479-521.
- CAVALLI-SFORZA L.L., EDWARDS A.W. 1967, *Phylogenetic analysis. Models and estimation procedures*, «American Journal of Human Genetics», 19, 3, 1, 233-257.
- CLÒ E., FURIA E., FLORENZANO A., MERCURI A.M. 2024, *Flora-vegetation history and land use in Medieval Tuscany: The palynological evidence of a local biodiversity heritage*, «Quaternary International», 705, 1-15 (<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2023.03.017>).
- CREMASCHI M., MERCURI A.M., TORRI P., FLORENZANO A., PIZZI C., MARCHESINI M., ZERBONI A. 2016, *Climate change versus land management in the Po Plain (Northern Italy) during the Bronze Age: New insights from the VP/VG sequence of the Terramara Santa Rosa di Poviglio*, «Quaternary Science Reviews», 136, 153-172 (<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.08.011>).
- CZARNA A., NOWIŃSKA R., SZEWCZYK W. 2024, *Is the flora of wildlife food plots similar to that of agricultural fields, or does it have its own specificity?*, «Sylvan», 167, 734-754 (<https://doi.org/10.26202/sylvan.2023100>).
- DE RITA D., GIORDANO G., CHIOCCI F.L., LA MONICA G.B., FALESE F. 2009, *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F. 387 Albano Laziale* (<https://doi.org/10.15161/oar.it/3qrfrn-yk004>).
- DE VAREILLES A., PELLING R., WOODBRIDGE J., FYFE R. 2021, *Archaeology and agriculture: Plants, people and past land-use*, «Trends in Ecology & Evolution», 36, 943-954 (<https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.06.003>).
- DI RITA F., SIMONE O., CALDARA M., GEHRELS W.R., MAGRI D. 2011, *Holocene environmental changes in the coastal Tavoliere Plain (Apulia, southern Italy): A multiproxy approach*, «Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology», 310, 3-4 (<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.06.012>).
- ELLIS E.C., GAUTHIER N., GOLDEWIJK K.K., BIRD R.B., BOIVIN N., DÍAZ S., FULLER D.Q., GILL J.L., O'KAPLAN J., KINGSTON N., LOCKE H., MCMICHAEL C., RANCO D., RICK T.C., SHAW M.R., STEPHENS L., SVENNING J.-C., WATSON J.E.M. 2021, *People have shaped most of terrestrial nature for at least 12,000 years*, «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America», 118, 17, e2023483118 (<https://doi.org/10.1073/pnas.2023483118>).
- ERDTMAN G. 1943, *An Introduction to Pollen Analysis*, A New Series of Plant Science Books, 12, Waltham, Massachusetts, Chronica Botanica Company.
- FAEGRI K., KALAND P.E., KRZYWINSKI K. 1989, *Textbook of Pollen Analysis*, New York, Wiley.
- FANFARILLO E., LATINI M., IBERITE M., BONARI G., NICOLELLA G., ROSATI L., SALERNO G., ABBATE G. 2020, *The segetal flora of winter cereals and allied crops in Italy: Species inventory with chorological, structural and ecological features*, «Plant Biosystems. An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology», 154, 6, 935-946 (<https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1739164>).

- FLORENZANO A., MERCURI A.M., PEDERZOLI A., TORRI P., BOSI G., OLMI L., RINALDI R., BANDINI MAZZANTI M. 2012, *The significance of intestinal parasite remains in pollen samples from medieval pits in the Piazza Garibaldi of Parma, Emilia Romagna, Northern Italy*, «Geoarchaeology», 27, 1, 34-47 (<https://doi.org/10.1002/gea.21390>).
- FLORENZANO A., ZERBONI A., CARTER J.C., CLÒ E., MARIANI G.S., MERCURI A.M. 2022, *Environmental and land-use changes in a Mediterranean landscape: Palynology and geoarchaeology at ancient Metapontum (Pantanello, Southern Italy)*, «Quaternary International», 635, 105-124 (<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.01.004>).
- FUNICIELLO R., GIORDANO G. 2008, *La nuova Carta Geologica di Roma: litostratigrafia e organizzazione stratigrafica*, «Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia», 80, 39-85.
- GAILLARD M.-J., FYFE R.M. 2025, *Reconstructing past human impact on vegetation using pollen data*, «Encyclopedia of Quaternary Science», 4, 326-355 (<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99931-1.00132-X>).
- GIRAUD T. 2025, *maptiles: Download and Display Map Tiles* (<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.maptiles>).
- GRIMM E.C. 1987, CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares, «Computers & Geosciences», 13, 1, 13-35 ([https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7)).
- GRIMM E.C. 1991, TILIA and TILIA-GRAPH, Version 3.0.3.
- HASLETT J., PARNELL A.C. 2008, *A simple monotone process with application to radiocarbon-dated depth chronologies*, «Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)», 57, 4, 399-418 (<https://doi.org/10.1111/j.1467-9876.2008.00623.x>).
- HOLLOWAY R.G. 1989, *Experimental mechanical pollen degradation and its application to Quaternary age deposits*, «Journal of Archaeological Science», 41, 2, 131-145.
- JUGGS S. 2024, *Rioja: Analysis of Quaternary Science Data* (<https://cran.r-project.org/package=rioja>).
- KUNEŠ P., PELÁNKOVÁ B., CHYTRÝ M., JANKOVSKÁ V., POKORNÝ P., PETR L. 2008, *Interpretation of the last-glacial vegetation of eastern-central Europe using modern analogues from southern Siberia*, «Journal of Biogeography», 35, 12, 2223-2236 (<https://doi.org/10.1111/j.1365-1365.2008.01974.x>).
- MERCURI A.M. 2014, *Genesis and evolution of the cultural landscape in central Mediterranean: The 'where, when and how' through the palynological approach*, «Landscape Ecology», 29, 1799-1810 (<https://doi.org/10.1007/s10980-014-0093-0>).
- MERCURI A.M., ACCORSI C., BANDINI MAZZANTI M. 2002, *The long history of Cannabis and its cultivation by the Romans in central Italy, shown by pollen records from Lago Albano and Lago di Nemi*, «Vegetation History and Archaeobotany», 11, 263-276 (<https://doi.org/10.1007/s003340200039>).
- MERCURI A.M., FLORENZANO A., CLÒ E., SERVERA-VIVES G. 2025, *Palynology for sustainability: A classical and versatile tool for new challenges. Recent progress*, «Quaternary», 8, 18 (<https://doi.org/10.3390/quat8020018>).
- MERCURI A.M., MAZZANTI M.B., FLORENZANO A., MONTECCHI M.C., RATTIGHIERI E., TORRI P. 2013, *Anthropogenic Pollen Indicators (API) from archaeological sites as local evidence of human-induced environments in the Italian peninsula*, «Annali di Botanica», 3, 143-153 (<https://doi.org/10.4462/annbotrm-10316>).
- MOLINA J.A., LUMBRERAS A., GALLARDO T., AGOSTINELLI E., CASERMEIRO M.A., PRADA C. 2011, *Small-scale Isoetes distribution pattern in a Mediterranean vernal pool system*, «Acta Botanica Gallica», 158, 1, 27-36 (<https://doi.org/10.1080/12538078.2011.10516251>).
- MOORE P.D., WEBB J.A., COLLINSON M.E. 1991, *Pollen Analysis*, 2nd ed., Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- OXSANEN J., SIMPSON G.L., BLANCHET F.G., KINDT R., LEGENDRE P., MINCHIN P.R., O'HARA R.B., SOLYMOS P., STEVENS M.H.H., SZOEC S., WAGNER H., BARBOUR M., BEDWARD M., BOLKER B., BORCARD D., CARVALHO G., CHIRICO M., CACERES M.D., DURAND S.,

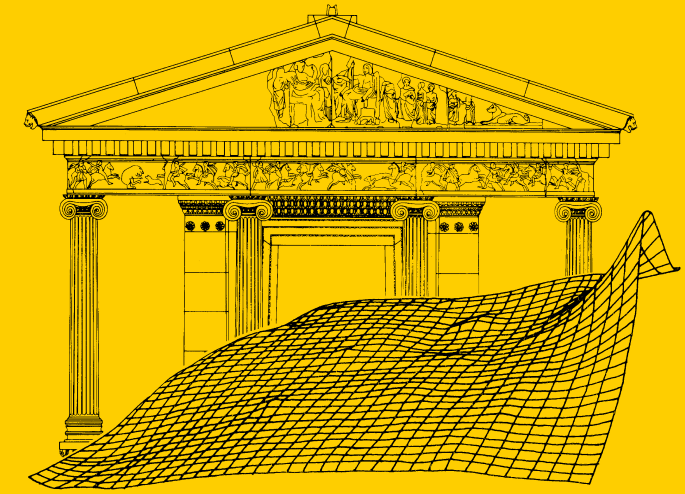
- EVANGELISTA H.B.A., FITZJOHN R., FRIENDLY M., FURNEAUX B., HANNIGAN G., HILL M.O., LAHTI L., MCGLINN D., OUELLETTE M.-H., CUNHA E.R., SMITH T., STIER A., BRAAK C.J.F.T., WEEDON J., BORMAN T. 2025, *vegan: Community Ecology Package* (<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegan>).
- PARNELL C.A., BUCK C.E., DOAN T.K. 2011, *A review of statistical chronology models for big-resolution, proxy-based Holocene palaeoenvironmental reconstruction*, «Quaternary Science Reviews», 30, 21-22, 2948-2960 (<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.07.024>).
- PAULA S., OJEDA F. 2006, *Resistance of three co-occurring resprouter Erica species to high-frequency disturbance*, «Plant Ecology», 183, 2, 329-336 (<https://doi.org/10.1007/s11258-005-9043-x>).
- PEBESMA E. 2018, *Simple features for R: Standardized support for spatial vector data*, «The R Journal», 10, 1, 439-446 (<https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>).
- PEBESMA E., BIVAND R. 2023, *Spatial Data Science: With applications in R*, Chapman and Hall-CRC (<https://doi.org/10.1201/9780429459016>).
- PEPE C., GIARDINI M., GIRAUDI C., MASI A., MAZZINI I., SADORI L. 2013, *Plant landscape and environmental changes recorded in marginal marine environments: The ancient Roman harbour of Portus (Rome, Italy)*, «Quaternary International», 303, 73-81 (<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.11.008>).
- PEPE C., SADORI L., ANDRIEU-PONEL V., SALOMON F., GOIRAN J.-P. 2016, *Late Holocene pollen record from Fiume Morto (Dead River), a palaeomeander of Tiber River near Ancient Ostia (central Italy)*, «Journal of Paleolimnology», 56, 173-187 (<https://doi.org/10.1007/s10933-016-9903-5>).
- PIGNATTI S., CAPANNA E., PORCEDDU E. 2015, *Castelporziano, research and conservation in a Mediterranean forest ecosystem: Presentation of the volume*, «Rendiconti Lincei», 26, 3, 265-266 (<https://doi.org/10.1007/s12210-015-0463-9>).
- PORTALE DELLA FLORA D'ITALIA 2025, *Isoëtes histrix Bory* (https://dryades.units.it/stagnisardi/index.php?procedure=taxon_page&id=21&num=6469).
- PUNT W., BLACKMORE S., HOEN P.P., STAFFORD P.J. (eds) 1976, *The Northwestern European Pollen Flora*, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company.
- R CORE TEAM 2025, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing (<https://www.R-project.org/>).
- REILLE M. 1992, *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*, Marseille, Laboratoire de Botanique historique et Palynologie.
- REIMER P.J., AUSTIN W.E.N., BARD E., BAYLISS A., BLACKWELL P.G., RAMSEY C.B., BUTZIN M., CHENG H., EDWARDS R.L., FRIEDRICH M., GROOTES P.M., GUILDERSON T.P., HAJDAS I., HEATON T.J., HOGG A.G., HUGHEN K.A., KROMER B., MANNING S.W., MUSCHELER R., PALMER J.G., PEARSON C., PLICHT J. VAN DER, REIMER R.W., RICHARDS D.A., SCOTT E.M., SOUTHON J.R., TURNER C.S.M., WACKER L., ADOLPHI F., BÜNTGEN U., CAPANO M., FAHRNI S.M., FOGTMANN-SCHULZ A., FRIEDRICH R., KÖHLER P., KUDSK S., MIYAKE F., OLSEN J., REINIG F., SAKAMOTO M., SOOKDEO A., TALAMO S. 2020, *The IntCal20 northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP)*, «Radiocarbon», 62, 4, 725-757 (<https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>).
- REVELLES J. 2021, *Archaeoecology. The application of palaeoenvironmental sciences for the reconstruction of human-environment interactions*, «Applied Sciences», 11, 18, 8782 (<https://doi.org/10.3390/app11188782>).
- REVELLES J., GHILARDI M., ROSSI V., CURRÁS A., LÓPEZ-BULTÓ O., BRKOJEWITSCH G., VACCHI M. 2019, *Coastal landscape evolution of Corsica Island (W. Mediterranean): Palaeoenvironments, vegetation history and human impacts since the early Neolithic period*, «Quaternary Science Reviews», 225, 105993 (<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105993>).
- SADORI L., MERCURI A.M., MARIOTTI LIPPI M. 2010, *Reconstructing past cultural landscape and human impact using pollen and plant macroremains*, «Plant Biosystems. An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology», 144, 2, 940-951 (<https://doi.org/10.1080/11263504.2010.491982>).

- SCARASCIA MUGNOZZA G., PAGANINI R. n.d., *The Pine Forests of Rome: An Ecosystem and a Scenic Beauty Under Threat* (https://efi.int/sites/default/files/efi_the_pine_forests_of_rome.pdf).
- STEPHENS L., FULLER D., BOIVIN N., RICK T., GAUTHIER N., KAY A., MARWICK B., ARMSTRONG C.G., BARTON C.M. *et al.* 2019, *Archaeological assessment reveals Earth's early transformation through land use*, «Science», 365, 897-902 (<https://doi.org/10.1126/science.aax1192>).
- TENNEKES M. 2018, *tmap: Thematic Maps in R*, «Journal of Statistical Software», 84, 6, 1-39 (<https://doi.org/10.18637/jss.v084.i06>).
- TERRASI F., DE CESARE N., D'ONOFRIO A., LUBRITTO C., MARZAIOLI F., PASSARIELLO I., ROGALLA D., SABBARESE C., BORRIELLO G., CASA G., PALMIERI A. 2008, *High precision 14C AMS at CIRCE*, «Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms», 266, 10, 2221-2224 (<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2008.02.079>).
- TINELLI A., FOLLETO A., MANFREDI FRATTARELLI F., MAFFEI L., MUSICANTI A., RECANATESI F. 2012, *Le zone umide*, in *Il sistema ambientale della Tenuta di Castelporziano*, Roma, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.
- TRACHSEL M., TELFORD R.J. 2016, *All age-depth models are wrong, but are getting better*, «The Holocene», 27, 6, 860-869 (<https://doi.org/10.1177/0959683616675939>).
- TRIANTAPHYLLOU M., PAVLOPOULOS K., KOULI K., KOUKOUSIOURA O., DIMIZA M., AIDONA E., SYRIDES G., PALLIKARAKIS A., GOIRAN J., FOUACHE E. 2016, *Multiproxy paleoenvironmental reconstruction; the Piraeus coastal palin case study*, «Bulletin of the Geological Society of Greece», 50, 1, 478-488 (<https://doi.org/10.12681/bgsg.11749>).
- VEEKEN A., SANTOS M.J., MCGOWAN S., DAVIES A.L., SCHRODT F. 2022, *Pollen-based reconstruction reveals the impact of the onset of agriculture on plant functional trait composition*, «Ecology Letters», 25, 9, 1937-1951 (<https://doi.org/10.1111/ele.14063>).
- WICKHAM H. 2016, *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*, New York, Springer (<https://ggplot2.tidyverse.org>).

ABSTRACT

This paper presents the first integrated palaeoenvironmental reconstruction of the Malafede Pool, a temporary freshwater wetland located within the Presidential Estate of Castelporziano (Rome, central Italy), based on the interdisciplinary analysis of sedimentary, geomorphological, chronological and palynological data from sediment core CPZ2. Temporary pools represent highly sensitive environmental archives, where hydrological variability, sedimentary processes and vegetation dynamics interact at local and landscape scales, yet their long-term evolution remains poorly documented in Mediterranean coastal contexts. The stratigraphic sequence records the transition from high-energy Pleistocene alluvial deposits to fine-grained Holocene sediments deposited under persistently hydromorphic conditions. Five AMS radiocarbon dates, three of which were retained, constrain the analysed portion of the core between ca. 5004 BC and 1554 AD, indicating substantial depositional continuity throughout the Middle and Late Holocene. The age-depth model further reveals variable sedimentation rates along the profile, with slower accumulation in certain intervals, reflecting fluctuations in local depositional dynamics. Palynological analyses, including pollen and fern spores, reveal high floristic richness and variable pollen concentrations across four pollen zones, reflecting changing environments and hydrological regimes. Overall, the results highlight the value of temporary pools as coherent and sensitive palaeoenvironmental archives and provide a robust framework for future comparisons with archaeological evidence and additional cores from the Castelporziano estate, contributing to a more integrated understanding of long-term landscape transformations in the Roman coastal plain.

INDAGINI NON INVASIVE MULTIDISCIPLINARI



INDAGINI NON INVASIVE MULTIDISCIPLINARI PER LA CONOSCENZA DELLA TOPOGRAFIA ANTICA DI CENTRI URBANI E DEL TERRITORIO

Atti del Convegno (Roma, 22-23 settembre 2025)

a cura di
Stefano Campana, Gianluca Cantoro,
Paolo Liverani, Giorgio Franco Pocobelli

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI
Supplemento 15, 2026

All'Insegna del Giglio



ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI
Supplemento 15, 2026