

# I carotaggi MAPPA: un'integrazione interdisciplinare

Alessandro Amorosi (A.A.), Monica Bini (M.B.), Fabio Fabiani (F.F.), Serena Giacomelli (S.G.), Marta Pappalardo (M.P.), Cristiana Ribecai (C.R.), Adriano Ribolini (A.R.), Veronica Rossi (V.R.), Irene Sammartino (I.S.), Giovanni Sarti (G.S.)

*Una consistente campagna di acquisizione di dati di sottosuolo (18 carotaggi con profondità da 7 a 15 m) condotta con approccio interdisciplinare, finalizzato a una rappresentazione integrata del log stratigrafico, ha permesso di incrementare in modo significativo le conoscenze del contesto paleoambientale ed insediativo della zona urbana e suburbana della città di Pisa durante gli ultimi 6000 anni circa e di valutare il reciproco condizionamento fra l'ambiente naturale e le caratteristiche dell'insediamento umano.*

**Keywords: carotaggio, log stratigrafico integrato, geoarcheologia, sedimentologia, geomorfologia**

## 1. Introduzione

La realizzazione di carte paleogeografiche dell'area urbana e periurbana di Pisa, propedeutiche alla carta del potenziale archeologico e prossima milestone del progetto MAPPA, non può prescindere da una conoscenza accurata dell'architettura stratigrafica del sottosuolo che metta in relazione litofacies ed ambienti deposizionali naturali o influenzati dall'azione dell'uomo. Tali relazioni devono inoltre essere costrette all'interno di un quadro cronostatigrafico, che restituisca un'evoluzione del paesaggio e degli insediamenti umani coerente sia in termini di spazio che di tempo.

Per raggiungere tale obiettivo è stata programmata una campagna di diciotto sondaggi geognostici, unico strumento adeguato per un'osservazione diretta e di dettaglio del sottosuolo, integrata dalla lettura di altri due sondaggi a carotaggio continuo già perforati e corredata da uno studio interdisciplinare delle successioni stratigrafiche. Tale approccio metodologico, con contributi di specialisti di diverse discipline (archeologi e geologi), ha richiesto un notevole sforzo comune soprattutto in corrispondenza delle porzioni di carotaggio più superficiali dove è forte la copresenza di processi naturali e antropici. L'applicazione delle metodologie delle geoscienze in ambito archeologico così come l'individuazione di protocolli di azione comune fra archeologi e geologi è, infatti, una delle principali sfide che ancora oggi interessano la geoarcheologia (BUTZER 2008).

Di seguito nel report sono illustrati i risultati dello studio interdisciplinare dei carotaggi MAPPA. L'incrocio tra i dati sedimentologico-stratigrafici, geochimici, palinologici, geomorfologici, micropaleontologici e archeologici ha permesso di ricostruire l'evoluzione del contesto paleoambientale e insediativo di venti punti strategici dell'area pisana.

## 2. Materiali e Metodi

### 2.1 Carotaggi MAPPA

La campagna di carotaggi è stata preceduta da una analisi e revisione dei dati di sottosuolo e di superficie esistenti in banca dati da parte dei geologi, allo scopo di individuare aree potenzialmente utili per la migliore comprensione dell'architettura del primo sottosuolo e per la risoluzione di alcune problematiche ancora aperte. Contemporaneamente gli archeologi hanno proceduto ad effettuare una ricognizione della documentazione archeologica esistente per individuare quali aree risultassero particolarmente lacunose di informazioni. Le valutazioni congiunte di geologi ed archeologi hanno permesso di individuare una serie di siti particolarmente significativi per l'acquisizione di nuove informazioni geoarcheologiche.

All'interno delle aree prescelte, tenendo presenti le numerose problematiche logistiche, sono stati specificati i punti nei quali fosse possibile operare. Successivamente, ciascuno di questi siti è stato battuto con il GPS differenziale Leica per l'acquisizione delle coor-

dinate x,y e z. Su un intorno di ogni punto prescelto per il carotaggio è stata inoltre effettuata un'indagine geofisica utilizzando il sistema GPR-Ground Penetrating Radar IDS, per rilevare l'eventuale presenza di sottoservizi nell'area interessata dalla perforazione ed evitarne così il possibile danneggiamento. Una volta ottenuti i risultati GPR si è potuto procedere alla fase di acquisizione dei nuovi dati di sottosuolo, articolata in due distinte campagne di carotaggi, effettuati complessivamente tra Ottobre 2011 e Febbraio 2012. La prima di queste ha previsto l'esecuzione di 7 sondaggi continui (M1-7; Fig. 1), realizzati con sonde di perforazione meccaniche a rotazione che hanno consentito il recupero di carote indisturbate, fino alla profondità massima di 15 metri (Fig. 2). La seconda campagna, durante la quale sono stati eseguiti 11 carotaggi (Fig. 1), è stata invece condotta con l'utilizzo di uno strumento di perforazione a percussione (Vibracorer Atlas Copco, modello Cobra, attrezzato con campionatori Elijkamp) che ha permesso il recupero

di carote di diametro inferiore, ma qualitativamente paragonabili a quelle dei carotaggi continui (Fig. 3). La profondità raggiunta con questa strumentazione ha variato da 13 a 7 metri in funzione dei limiti dello strumento e/o delle esigenze progettuali.

L'attività di cantiere, durante tutta la campagna, è stata caratterizzata dalla compresenza di archeologi, geomorfologi e sedimentologi che hanno effettuato, contestualmente alla perforazione, tutte le necessarie operazioni di preparazione delle carote e, in modo congiunto ed integrato, la successiva lettura stratigrafica di dettaglio. Conclusa la fase di lettura, si è passati al campionamento delle carote per la realizzazione di opportune analisi di laboratorio. I primi sette carotaggi continui sono stati considerati sondaggi di riferimento, sui quali concentrare le analisi di laboratorio, poiché, in virtù della loro profondità e distribuzione spaziale, hanno consentito il recupero di tutte le principali facies sedimentarie.

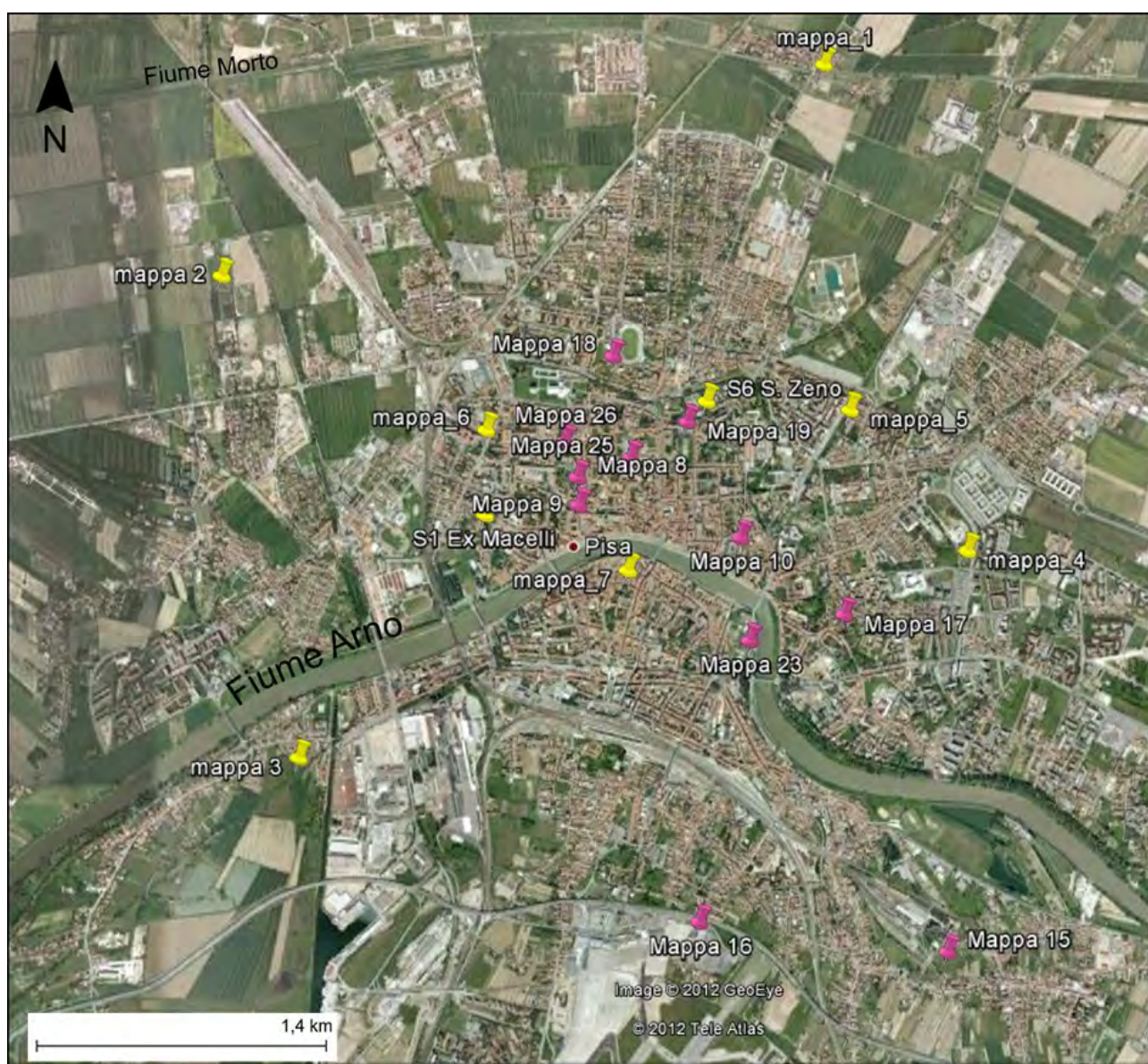


Figura 1. Ubicazione dei carotaggi MAPPA entro l'area oggetto di studio (da Google Earth). In giallo i sondaggi a carotaggio continuo; in rosa i carotaggi effettuati con Vibracorer Cobra.

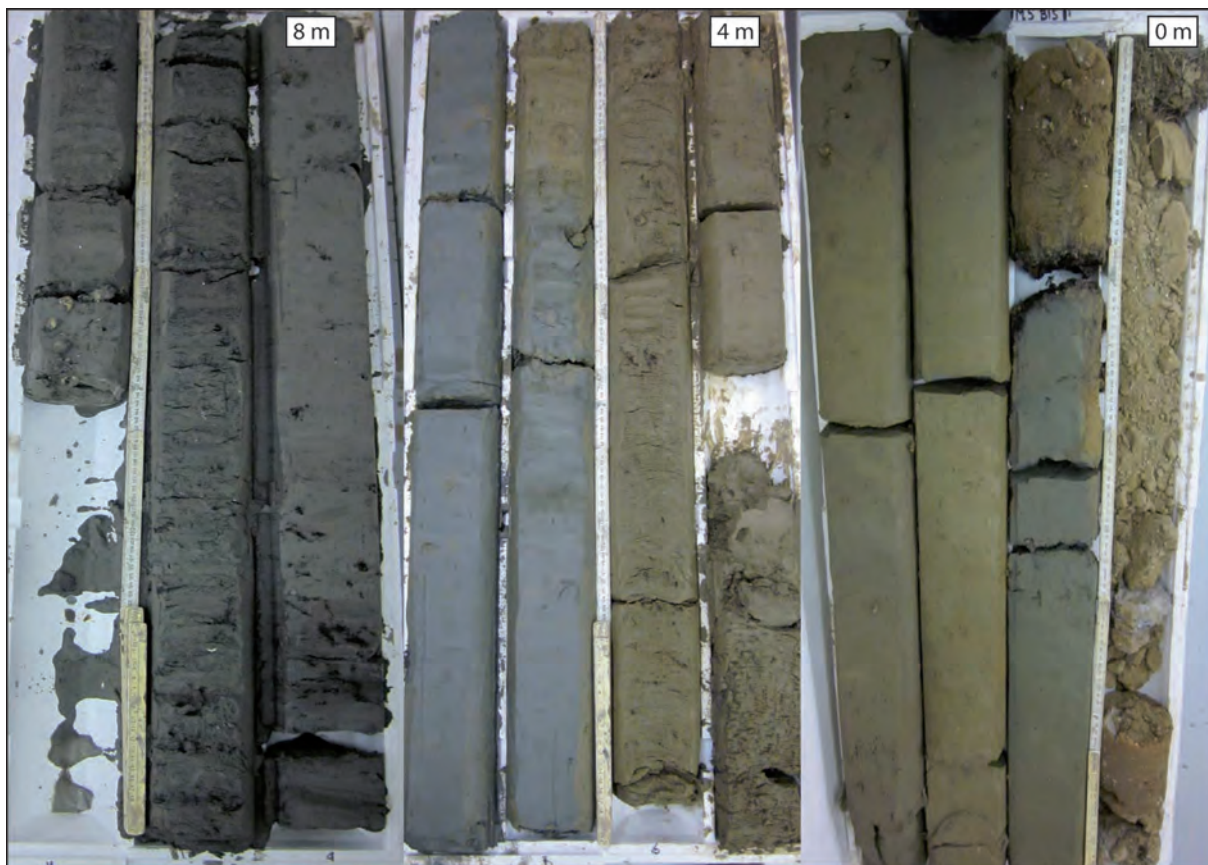


Figura 2. Il carotaggio M5, rappresentativo dell'alta percentuale di recupero e della qualità della successione indisturbata dei sondaggi a carotaggio continuo M1-7 (per l'ubicazione vedi Fig.1).



Figura 3. Il carotaggio M19, rappresentativo della buona qualità della successione carotata dal Vibracorer Cobra (per l'ubicazione vedi Fig.1).

La perforazione a carotaggio continuo, restituendo con una buona percentuale di recupero una carota indisturbata di dimensioni adeguate, ha inoltre permesso di eseguire un'unica fitta campagna di campionamento, utile per tutte le analisi di laboratorio previste. In totale, sono stati prelevati 232 campioni sottoposti successivamente ai necessari sub-campionamenti per la realizzazione delle analisi micropaleontologiche, palinologiche, geochimiche e al radiocarbonio. Per ogni sondaggio il passo di campionamento ha variato in funzione della tipologia di deposito da campionare. All'interno di successioni a granulometria fine, dove la meiofauna e i pollini sono potenzialmente ben conservati e abbondanti, sono stati prelevati mediamente 4-5 campioni per metro. In corrispondenza, invece, di depositi sabbiosi o di depositi con evidenze di esposizione subaerea (concrezioni, ossidi, livelli consolidati), il passo di campionamento è stato ridotto a 1-3 campioni per metro. Infine, in corrispondenza di specifici livelli di interesse nei sondaggi realizzati con Vibracorer Cobra, sono stati prelevati *ad hoc* 5 campioni per analisi palinologiche, al fine di affiancare l'analisi della vegetazione a quella archeologica, e 11 campioni per il radiocarbonio utili a scandire ulteriormente l'inquadramento temporale della successione in esame.

(M.B., F.F., S.G., V.R.)

## 2.2 Analisi micropaleontologiche

Sono stati selezionati in totale 57 campioni dai sondaggi di riferimento M1-7 (mediamente 7-10 campioni per sondaggio), sui quali sono state effettuate analisi qualitativo-semiquantitative del contenuto in meiofauna bentonica. Per garantire la caratterizzazione micropaleontologica di ogni cambio litologico evidente sono stati analizzati campioni provenienti sia da successioni argillose che sabbiose, soprattutto se ricche in macrofossili.

Nel Laboratorio di Paleontologia del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa<sup>1</sup>, circa 200-150 grammi di sedimento provenienti dai campioni prescelti sono stati essiccati in forno a 60 °C per otto ore, al fine di eliminare l'umidità in eccesso, e successivamente disciolti in acqua o in acqua più acqua ossigenata (35% di volume) in caso di campioni particolarmente coesivi. Ogni campione è stato setacciato a umido tramite maglie di 63 µm e asciugato in forno a 60 °C per circa 1-2 giorni. Al fine di concentrare gli individui adulti, evitare problemi di identificazione tassonomica delle mute giovanili di ostracodi e facilitare il raffronto con le associazioni attuali o fossili mediterranee, i campioni sono stati successivamente setacciati a secco tramite maglie di 125 µm.

La porzione più grossolana (>125 µm) è stata qualitativamente osservata al microscopio binoculare a luce riflessa per distinguere i campioni sterili da quelli contenenti meiofauna autoctona (individui e/o valve ben conservate) o alloctona (individui e/o valve

con evidenze di trasporto). Le specie di foraminiferi bentonici presenti nei campioni sono state identificate sulla base delle descrizioni originali (*fide* ELLIS, MESSINA 1940) e dei principali lavori riguardanti le faune dell'area mediterranea (JORISSEN 1988; ALBANI, SERANDREI BARBERO 1990; SGARRELLA, MONCHARMONT ZEI 1993; FIORINI, VAIANI 2001). Per il riconoscimento tassonomico degli ostracodi sono state utilizzate pubblicazioni di riferimento quali ATHERSUCH *et alii* (1989) e HENDERSON (1990).

Utilizzando una metodologia simile a quella adottata da BONDESÀN *et alii* (2006) e AGUZZI *et al.* (2007) per lo studio del contenuto microfossilifero di successioni simili e coeve del Delta del Po e della Pianura dell'Arno, è stata effettuata un'analisi semiquantitativa sui campioni contenenti meiofauna autoctona. Tramite l'utilizzo di tre principali categorie di frequenza relativa per le specie di foraminiferi e ostracodi identificate (abbondante: >30%; comune: 30%-10% e rara: <10%), sono state definite le associazioni miste a foraminiferi e ostracodi bentonici descritte e interpretate nel paragrafo 3.1.

L'interpretazione paleoambientale delle associazioni e informazioni specifiche sull'ecologia delle singole specie sono state ottenute da numerosi studi riguardanti associazioni attuali marino-costiere a foraminiferi e ostracodi bentonici (ATHERSUCH *et alii* 1989; ALBANI, SERANDREI BARBERO 1990; HENDERSON 1990; MURRAY 2006; MEISCH 2000; RUIZ *et alii* 2000). Ulteriori informazioni sono state ottenute tramite il raffronto con le associazioni a foraminiferi e ostracodi presenti nei depositi tardo-quadernari di sottosuolo di altre aree deltizio-costiere mediterranee (MAZZINI *et alii* 1999; AMOROSI *et alii* 2004, 2008; CARBONI *et alii* 2002, 2010; FIORINI 2004).

(V.R.)

## 2.3 Analisi palinologiche

In totale sono stati selezionati 36 campioni dai depositi a granulometria fine dei sondaggi M1-7. Tra questi 22 provengono dai sondaggi M4 (12) e M5 (10), considerati sondaggi di assoluto riferimento poiché caratterizzati da una spessa e continua successione di depositi argilloso-limosi. I rimanenti 14 campioni sono stati selezionati tra i restanti sondaggi a carotaggio continuo (9) ed i sondaggi realizzati con Vibracorer Cobra (5).

Una quantità di 10 grammi per ciascun campione è stata trattata secondo la metodologia standard in uso nel Laboratorio di Palinologia del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, ad esclusione della separazione con i liquidi pesanti (ZnBr<sub>2</sub>) non necessaria per il tipo di sedimento in esame. Il metodo consiste nell'attacco con HCl 33% e con HF 40% del campione per rimuovere carbonati e silicati e successivo filtraggio, con alcool denaturato, del residuo ottenuto tramite setacci con maglie di 200 µm e 10 µm per concentrare il campione. Il residuo è stato successivamente montato su un vetrino con l'aggiunta di glicerina e analizzato al microscopio ottico a

<sup>1</sup> La preparazione dei campioni è stata effettuata da Sara Mariotti.

luce trasmessa. La frazione organica >200 µm è stata osservata al microscopio binoculare a luce riflessa e descritta separatamente. Tutti i campioni, tranne quello prelevato a 3,86-3,92 metri in M19, sono risultati fossiliferi dal punto di vista dei palinomorfi con esemplari ben conservati anche se non numerosi. Per la valutazione degli elementi organici strutturati (fitoclasti) e non strutturati (sostanze organica amorfa) è stata fatta un'analisi qualitativa. Al contrario la concentrazione dei palinomorfi (spore e pollini, Funghi, cisti di dinoflagellati, acritarchi, Algae, interni di foraminiferi e scolecodonti) è stata calcolata grazie all'aggiunta, all'inizio della preparazione, di una pastiglia con un numero noto di spore di *Lycopodium*. Quando possibile, sono stati contati 200 palinomorfi e calcolate le percentuali di abbondanza relativa dei taxa presenti. I taxa pollinici sono stati identificati seguendo la letteratura esistente (REILLE 1992, 1995, 1998 e database online) e raggruppati in base alle loro affinità ecologico-climatiche, seguendo le indicazioni provenienti dai precedenti lavori sulla pianura costiera dell'Arno (AGUZZI *et alii* 2007; RICCI LUCCHI 2008).

(C.R.)

## 2.4 Analisi geochimiche

Le analisi geochimiche sono state condotte su di un totale di 100 campioni, al fine di caratterizzare la composizione delle principali facies deposizionali dell'area in esame e di ricostruire lo schema di dispersione del sedimento, con particolare riferimento alla distinzione tra depositi alimentati dal Fiume Arno e dal Fiume Serchio. A questo scopo, oltre a 80 campioni relativi ai 7 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nell'ambito del progetto (M1-7), sono stati prelevati mediante carotiere Vibracorer Cobra, a poche centinaia di metri di distanza dagli attuali corsi d'acqua e nei primi metri di profondità, 20 campioni (12 attribuibili all'Arno e 8 relativi al Serchio) che, in virtù della peculiare collocazione geografica, definiscono con certezza i due end member composizionali riferiti ai sedimenti alluvionali. I campioni sono stati analizzati in Spettrometria per Fluorescenza di Raggi X (XRF) presso i laboratori dell'Università di Bologna. Il calcolo delle concentrazioni degli elementi maggiori è stato effettuato secondo il metodo di FRANZINI *et al.* (1975). Per gli elementi in traccia sono stati utilizzati i coefficienti di FRANZINI *et alii* (1972), LEONI, SAITTA (1976) e LEONI *et alii* (1982).

(A.A., I.S.)

## 2.5 Datazioni radiocarbonio

L'inquadramento cronologico della successione degli ambienti di sedimentazione, funzionale alla definizione dei diversi scenari paleogeografici, è stato ottenuto attraverso la datazione con il metodo del radiocarbonio di 34 campioni selezionati da livelli significativi di 15 carotaggi (Tab. 1 in Appendice). Il metodo del radiocarbonio, il più comunemente usato fra i metodi geocronologici, si basa sull'isotopo ra-

dioattivo del carbonio ( $^{14}\text{C}$ ), formato dai raggi cosmici a partire dagli atomi di azoto atmosferico ( $^{14}\text{N}$ ). L'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) presente nell'atmosfera contiene l'isotopo stabile  $^{13}\text{C}$  in proporzione fissa rispetto all'isotopo radioattivo  $^{14}\text{C}$ ; questo si lega ai composti organici e, quando questi muoiono, inizia la sua fase di decadimento, con un tempo di dimezzamento di  $5730 \pm 40$  anni. L'età di un campione organico si calcola misurando il suo contenuto di  $^{14}\text{C}$ , noto il tasso di decadimento e il suo contenuto iniziale in isotopo radioattivo, che si deduce dalla misura dell'isotopo stabile  $^{13}\text{C}$ , ad esso proporzionale. Il limite superiore di validità del metodo si aggira sui 40.000 anni. I campioni selezionati ai fini di questo studio sono prevalentemente resti vegetali più o meno decomposti e materia organica di origine pedologica. Questi sono stati preferiti, per quanto possibile, ai gusci di organismi marini, in quanto questi ultimi restituiscono valori di età generalmente superiori a quelli ottenuti dalla sostanza organica (effetto riserva). Le datazioni sono state effettuate presso il laboratorio CIRCE di Caserta (Università di Napoli). Le misure dei rapporti isotopici sono state condotte con l'utilizzo di un acceleratore di particelle ultrasensibile. Le età convenzionali sono state calibrate tramite il software CALIB5 e le curve di calibrazione di REIMER *et alii* (2009); gli intervalli di calibrazione sono espressi come  $1\sigma$  (68% di probabilità) e come  $2\sigma$  (95% di probabilità) in Tab. 1. I campioni composti da gusci di molluschi marini sono stati ricalibrati al fine di correggere l'effetto riserva, utilizzando un opportuno dataset di calibrazione (Marine09) e un valore di  $\Delta R \pm \Delta R_{\text{err}}$  di  $35 \pm 42$  corrispondente alla media dei valori disponibili per l'area centro-settentrionale tirrenica (<http://calib.qub.ac.uk/marine/>).

(M.P., V.R.)

## 2.6 Analisi georadar

Allo scopo di esplorare la sottosuperficie dei diversi siti del Progetto, è stato impiegato un sistema Ground Penetrating Radar (GPR), tecnica geofisica che consente di rilevare in maniera non invasiva l'esistenza di discontinuità stratigrafico-archeologiche tramite la trasmissione di impulsi elettromagnetici e la ricezione degli echi riflessi da parte di discontinuità nella sottosuperficie. Per la prospezione è stato impiegato un GPR equipaggiato con un'antenna IDS 400 MHz, che rappresenta un buon compromesso fra risoluzione e profondità di indagine. Sono state acquisite linee in modalità common offset, secondo una griglia ortogonale con lato minimo di cella di 0.2 m. Il passo di campionamento spaziale è stato di 1.6 cm, quello verticale di 1024 campioni per traccia. Ogni sezione radar acquisita è stata elaborata per eliminare le frequenze dei segnali elettromagnetici dovuti a rumore ambientale e strumentale, rendere più leggibili le riflessioni più deboli generate dalle discontinuità più profonde, trasformare il sistema di coordinante verticali dal dominio del tempo a quello delle profondità. Ogni sezione processata della maglia di acquisizione è stata interpolata con le adiacenti fino a generare un cubo di dati regolarmente distribuiti, le

cui dimensioni sono rappresentate dalle due direzioni di acquisizione e dalla profondità. Il cubo di dati è stato poi sezionato a profondità variabili, generando delle distribuzioni planari delle aree a diverso potere riflettivo degli impulsi elettromagnetici (time o depth slice). La combinazione fra le depth slice e le sezioni radar verticali costituiscono l'ossatura della fase interpretativa, permettendo di valutare in 3 dimensioni le caratteristiche di coerenza e continuità geometrica delle aree riflettenti i segnali radar, assegnandoli quindi un potenziale significato stratigrafico-archeologico.

(M.B., A.R.)

## 2.7 Posizionamento GPS

I 20 carotaggi in esame sono stati ubicati nelle tre dimensioni spaziali (latitudine, longitudine e quota) con l'ausilio di un GPS differenziale Leica GS09. L'errore medio di posizionamento per i 20 punti rilevati è risultato  $\pm 1$  cm per l'ubicazione planimetrica e  $\pm 2$  cm per la posizione altimetrica. La variabilità dell'errore dipende dalle condizioni logistiche dell'area di acquisizione (presenza di edifici, copertura arborea, ecc.) e dal momento in cui è stata effettuata la misura (numero di satelliti visibili). Le operazioni di post-processing per la determinazione delle coordinate dei punti nel sistema di riferimento WGS84 sono state eseguite con software Leica Geo Office 4.0. Successivamente per riferire i dati al livello medio del mare e al sistema di riferimento nazionale (Gauss Boaga) è stata effettuata la correzione ellissoidica della quota e la trasformazione del sistema di riferimento mediante l'utilizzo del software Verto 3k (prodotto dall'Istituto Geografico Militare) e dei relativi grigliati di 10 km di raggio centrati sui capisaldi IGM 95 n.104604 (Migliarino) e n. 111604 (Pisa-Scalo Mortellini).

(M.B., M.P.)

## 2.8 Elaborazione di una rappresentazione integrata del log stratigrafico

L'individuazione di un linguaggio tecnico condiviso tra sedimentologi, geomorfologi e archeologi, necessario nella lettura e nello studio integrato dei sondaggi MAPPA, è apparso fin da subito la difficoltà principale del lavoro di equipe e dalla cui soluzione dipendeva il buon esito del progetto. Ogni gruppo, infatti, aveva avuto esperienza di analisi di carotaggi in cui, pur tenendo presente le implicazioni derivanti dalle altre discipline, aveva dato un particolare risalto alla propria (PARIBENI *et alii* 2005; AMOROSI *et alii* 2009; BINI *et alii* 2012).

Un medesimo deposito può fornire, infatti, informazioni diverse a seconda di chi lo esamina in base alla propria formazione scientifica. Ad esempio un deposito a granulometria fine di colore giallo-bruno con tracce di ossidazione e frammenti ceramici documenta, dal punto di vista sedimentologico, lo sviluppo di una piana inondabile in esposizione subaerea, mentre l'analisi geomorfologica, tramite il confronto con dati limitrofi, può riconoscervi un dosso inter-

fluviale. Infine, l'eterogeneità della tessitura e la presenza di piccoli e sporadici frammenti ceramici sono considerati in chiave archeologica indicatori di una frequentazione antropica, forse legata allo sfruttamento agricolo. La realtà dunque mostra la complessità dei suoi aspetti quanto maggiori sono i punti di vista dai quali questa viene osservata.

Infatti gli archeologi effettuano distinzioni accurate all'interno dei depositi naturali, anche se spesso queste non si traducono nella ricostruzione delle facies naturali. In modo analogo i geologi trovano difficoltà nella descrizione dei depositi interessati dalla frequentazione da parte dell'uomo, genericamente riferiti a "depositi antropici" ed eventualmente utilizzati come elemento funzionale alla datazione, con grave perdita di dati utili sia alle ricostruzioni archeologiche sia a quelle ambientali. In questo quadro, sono quindi particolarmente complesse le letture di quelle porzioni di carotaggio dove l'azione dell'uomo e i processi naturali, sono fortemente compenetrati. La consapevolezza di descrivere da punti di vista diversi la medesima stratificazione, ci ha indirizzato dunque verso un'integrazione delle competenze che, pur preservando la peculiarità delle singole discipline, fosse in grado di evitare la frammentazione della realtà in semplici letture giustapposte.

In questo quadro è immediatamente risultata evidente la necessità di elaborare uno strumento grafico che potesse rappresentare in forma sintetica ed integrata i dati derivanti dalle diverse discipline, in assenza di un modello soddisfacente per i nostri obiettivi (per altre rappresentazioni integrate vedi ad esempio AMMERMAN 1998; MARRINER *et alii* 2006; GHILARDI *et alii* 2008; MATTHEWS 2010; GHILARDI, BORAİK 2011). La scheda grafica che proponiamo in questo contributo è suddivisa in diverse colonne, ciascuna rappresentativa di una specifica tipologia di dati (Fig. 4). L'elemento portante è rappresentato dal log stratigrafico, in cui anche gli strati di origine antropica sono trattati con le stesse modalità degli intervalli sedimentari naturali; ad esempio il tipo di matrice (argillosa, sabbiosa, ghiaiosa, etc.) è descritto in modo qualitativo, tramite barre orizzontali di lunghezza variabile in funzione della granulometria del materiale stesso. Al contempo la suddivisione in Unità Stratigrafiche-US, utilizzate nell'accezione propria della disciplina archeologica, è adottata anche per la porzione di sondaggio non interessata da materiale antropico.

Nello specifico, le principali classi granulometriche riconoscibili tramite un'analisi qualitativa in campagna (argilla; limo; sabbia fine; sabbia media; sabbia grossolana e ghiaia) sono identificate sul log con le sigle A, L, Sf, Sm, Sg e G, ognuna delle quali corrisponde a un range dimensionale quantitativo standardizzato, rispettivamente  $<4 \mu\text{m}$ ,  $4-63 \mu\text{m}$ ,  $63-250 \mu\text{m}$ ,  $250 \mu\text{m}-0,5 \text{mm}$ ,  $0,5-2\text{mm}$  e  $>2\text{mm}$  (WENTWORTH 1922). Elementi di dimensioni centimetriche sono indicati genericamente con la sigla >G. Sul lato sinistro del log sono indicate le Unità Stratigrafiche in cui è suddivisa la successione di sondaggio.

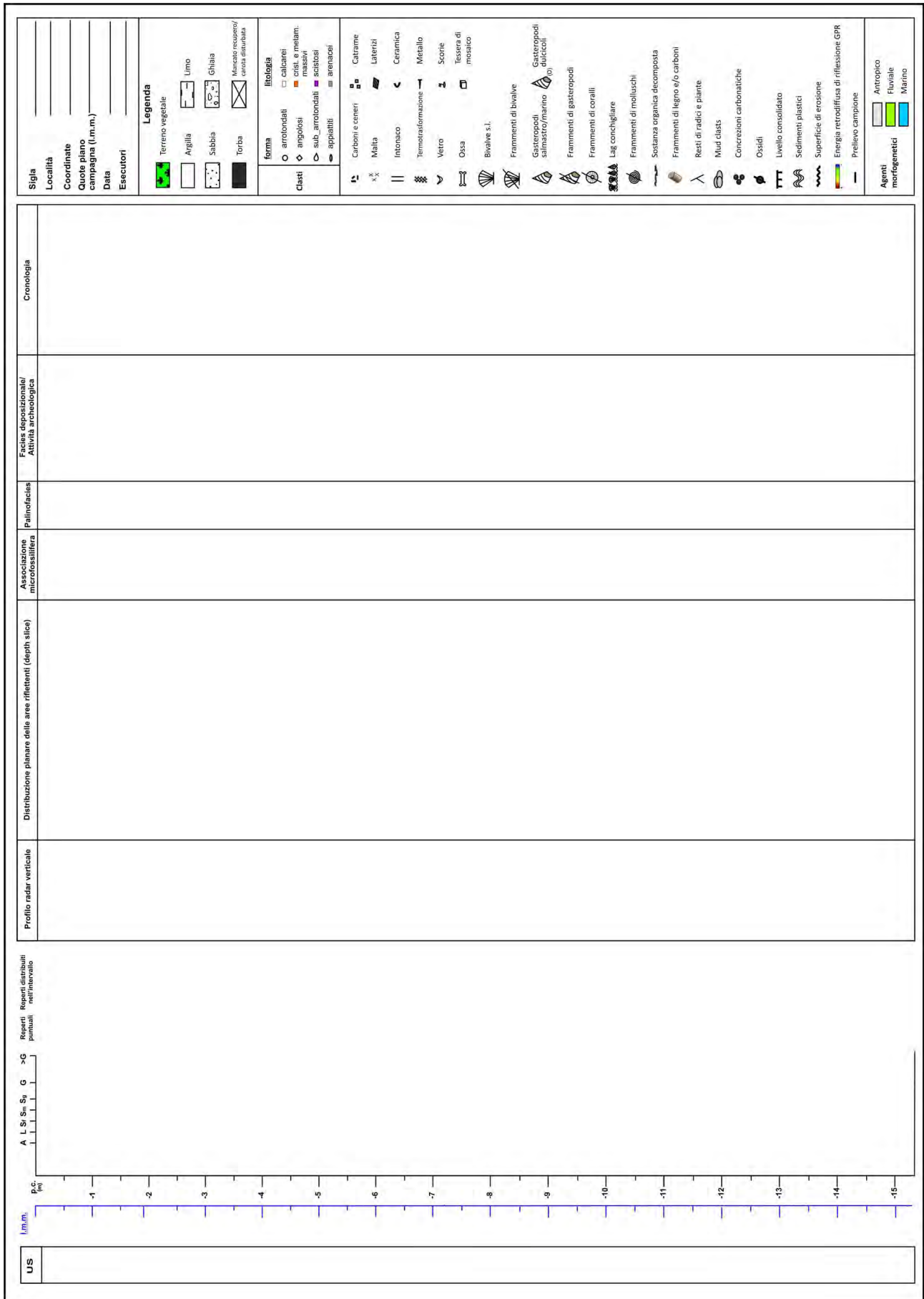


Figura 4. Scheda grafica elaborata per la rappresentazione del log stratigrafico integrato.

Sul lato destro sono invece indicati i materiali, naturali (resti vegetali, gusci di molluschi, concrezioni, etc.) e antropici (frammenti ceramici, scorie o manufatti metallici, vetro etc.), presenti in ogni singola US, secondo una simbologia codificata ad hoc ed espressa in legenda. Se il reperto è isolato il simbolo viene collocato esattamente alla profondità di ritrovamento; se invece i reperti dello stesso tipo sono diffusamente presenti all'interno del deposito, il simbolo è posto dopo una parentesi graffa che comprende l'intervallo deposizionale interessato.

Il progetto MAPPA ha anche proposto un utilizzo innovativo a fini geoarcheologici dei dati derivanti da indagini georadar. Infatti mentre inizialmente il rilevamento veniva effettuato nell'area da perforare con il solo scopo di evitare il danneggiamento di sottoservizi, eventualmente presenti nel sottosuolo (cfr. § 2.6.), successivamente è emersa la potenzialità di questa indagine per integrare i dati di carotaggio.

Nella colonna "Profilo radar verticale" è riportata la distribuzione in profondità delle riflessioni radar. Da questa sezione verticale è possibile estrarre le principali facies radar individuate nell'area del carotaggio nei primi metri di sottosuolo (in funzione della profondità di indagine raggiungibile). Il concetto di facies radar, mutuato dalla stratigrafia sequenziale, è stato utilizzato per associare i risultati GPR con quelli stratigrafici e archeologici. La facies georadar corrisponde ad un insieme di riflessioni radar delimitate in maniera sistematica al tetto e alla base da superfici di discontinuità (superfici radar). Le riflessioni possono essere attribuite sia ad una successione di orizzonti naturali che archeologici; la superficie di discontinuità esprime un'interruzione in questa strutturazione. Oltre alla trasposizione delle stratigrafie archeologica in quella radar, è importante segnalare il tentativo di inserire nella definizione di facies il significato di superficie discordante di elementi archeologici di varia forma e giacitura presenti nel sottosuolo. Superfici planari (fondazioni, strade, piani di calpestio) o di forma concava (fossati, sepolture) possono avere richiesto una fase di erosione per il loro impianto. Su queste superfici si è poi impostata nuovamente la sedimentazione in discordanza angolare e, in certe situazioni, anche con un meccanismo deposizionale progradante con una direzione di alimentazione dominante. La successione di episodi multipli di occupazione umana e di eventi naturali di sedimentazione può quindi costituire un'architettura deposizionale, che esprime nel suo complesso la storia delle interazioni uomo-ambiente.

L'acquisizione secondo una griglia regolare di linee permette anche di generare sezioni radar orizzontali parallele alla superficie topografica (depth slice), in cui sono visualizzate le distribuzioni planari delle aree a diverso potere riflettente (seconda colonna). L'insieme dei dati di carotaggio, delle sezioni radar verticali (analizzate tramite i concetti di facies) e delle depth slice accresce le capacità interpretative permettendo controlli incrociati, e l'estensione areale di informazioni puntuali. Uno strato di pietre individuate nella lettura della carota, ad esempio, può esse-

re più agevolmente interpretato come muro se, alla stessa quota, il profilo georadar mostra una riflessione radar e più in generale una facies radar compatibile con la presenza di una struttura di questo tipo. La geometria di questo muro ed i suoi rapporti con altre strutture analoghe possono essere verificate sulla depth slice ("distribuzione planare delle aree riflettenti") tagliata alla stessa profondità.

Dettagliate informazioni riguardanti le condizioni ambientali caratterizzanti l'area urbana e periurbana di Pisa nel recente passato sono invece garantite dai dati sul contenuto in meiofauna del primo sottosuolo (colonna "associazione microfossilifera"). Le associazioni miste a ostracodi e foraminiferi bentonici riconosciute nei campioni esaminati sono in grado, infatti, di contribuire ad una dettagliata caratterizzazione di facies per ogni sondaggio, evidenziando cambiamenti anche di piccola entità nelle condizioni paleoambientali, specialmente in termini di oscillazioni di salinità, avvenuti nell'area pisana (cfr. § 2.2.).

Le palinofacies rappresentate nella colonna adiacente confermano e implementano il dato paleoambientale fornito dalle associazioni microssilifere e possono fornire indicazioni sulla diffusione di determinate specie vegetali indotta dall'attività dell'uomo, ad esempio con le pratiche agricole.

La colonna "facies deposizionale/attività archeologica" integra e sintetizza tutti i dati delle colonne precedenti, fornendone l'interpretazione geoarcheologica. La lettura stratigrafica integrata dalle varie tipologie di dati analitici consente di riferire i depositi riconosciuti nel log alle diverse facies deposizionali. Un deposito sabbioso, ad esempio, può essere riferito a un canale fluviale quando presenta una diminuzione della granulometria verso l'alto (fining upward), un contatto erosivo alla base, uno spessore superiore al metro e sterilità o presenza di scarsi individui rimaneggiati dal punto di vista del contenuto microfossilifero. In modo analogo sedimenti fini, plastici, di colore grigio, contenenti *Cardium* interi e caratterizzati dalla presenza di specifiche associazioni microfossilifere e polliniche, possono essere ricondotti a depositi di laguna. Le associazioni di facies possono poi essere ricondotte ai diversi tipi di ambiente deposizionale, consentendo di ricostruire, lungo la verticale, le principali variazioni paleoambientali.

Gli ambienti sono contraddistinti dai colori codificati in ambito geomorfologico per la caratterizzazione dei vari agenti morfogenetici, come il verde per l'agente fluviale o l'azzurro per l'agente marino. Questo al fine di rendere più immediata la trasposizione dei dati di sottosuolo in forme del paesaggio e quindi comporre uno scenario paleogeografico nel quale siano circoscritti nello spazio gli ambiti di pertinenza dei diversi agenti morfogenetici. Gli strati archeologici, distinti sulla base delle loro caratteristiche fisiche e dunque elementi "oggettivi" della stratificazione, risultano di per sé portatori di una bassa potenzialità informativa e possono essere meglio interpretati se raggruppati insieme a costituire un'"attività". Ecco dunque, per fornire solo un esempio, che uno strato di piccole pietre legate da argilla, uno strato di malta ed uno di



laterizi, ciascuno dei quali considerati singolarmente appare poco significativo, se raggruppati, possono essere verosimilmente interpretati come un piano pavimentale impostato sulla sua preparazione.

Questa modalità di rappresentazione sintetica offre inoltre la possibilità di rappresentare in forma integrata il contesto naturale e l'attività antropica, consentendo di valutarne le interazioni reciproche: è possibile infatti rappresentare affiancati l'uno all'altro un determinato ambiente naturale, ad esempio una pianura inondabile, e l'attività antropica che l'ha caratterizzato, come "frequentazione" o "terreno agricolo".

L'ultima colonna infine riporta le cronologie che è possibile attribuire ai singoli contesti o ad un intervallo deposizionale, sulla base di materiali archeologici o di datazioni al radiocarbonio effettuate su campioni di carota opportunamente selezionati (cfr. § 2.5.).

(M.B., F.F., S.G., M.P., C.R., V.R., G.S.)

### 3. Presentazione dei dati analitici ottenuti

#### 3.1 Associazioni microfossilifere

L'analisi del contenuto in meiofauna dei sondaggi M1-7 rappresenta un importante strumento di indagine, capace di fornire precise informazioni sulle condizioni ambientali presenti nell'area urbana e periurbana di Pisa nel recente passato, soprattutto in termini di paleosalinità, circolazione/ossigenazione al fondo di bacini e idrodinamicità.

Tramite l'analisi qualitativo-semiquantitativa della meiofauna sono state distinte sette associazioni miste, successivamente raggruppate in tre principali categorie ecologiche denominate F, B e R, seguendo lo schema adottato da AMOROSI *et alii* (2004) per le associazioni presenti nel sottosuolo della Pianura Padana. La lettera F indica un'associazione di ambiente ipoalino-dulcicolo, mentre nel gruppo B sono state raggruppate le associazioni di ambiente salmastro. Le associazioni costituite da microfossili rimaneggiati (alloctoni) appartengono al gruppo R. All'interno dei gruppi B e R, le singole associazioni e i relativi sottoambienti sono stati evidenziati tramite l'utilizzo di numeri (ad esempio: B1; R2).

Le associazioni distinte sono di seguito descritte e interpretate seguendo l'ordine dei gruppi precedentemente indicati. I termini "abbondante", "comune" e "rara" si riferiscono alle categorie di frequenza relativa introdotte nel paragrafo 2.2.

#### GRUPPO F

##### Associazione F

L'associazione F è caratterizzata da un'ostracofauna autoctona solitamente numerosa e poco diversificata, tendenzialmente oligotipica, composta esclusivamente da specie tipiche di ambienti ipoalini. I foraminiferi sono assenti.

La specie dominante è *Pseudocandona albicans* (Brady, 1868), abbondante in termini di frequenza relativa. Subordinatamente si rinvencono *Candona neglecta* (Sars, 1887) da comune a rara, e rare valve di *Ilyocypris decipiens* (Masi, 1905).

La presenza di un'ostracofauna ipoalina e poco diversificata, unitamente all'assenza di foraminiferi, sono indicatori di un ambiente subacqueo dulcicolo o debolmente salmastro/oligoalino (<5‰), privo di significativi afflussi di acque marine. La dominanza quasi assoluta di una specie, *P. albicans*, tipica di acque stagnanti con poco ossigeno disciolto e un'alta concentrazione di materia organica (HENDERSON 1990; MEISCH 2000) suggerisce un ambiente palustre con scarsa circolazione al fondo.

Nei sondaggi in esame l'associazione F è presente entro depositi argilloso-siltosi plastici di colore scuro, ricchi in materia organica decomposta e frammenti di legno o in corrispondenza di livelli torbosi entro successioni argillose plastiche poco organiche e con concrezioni isolate di grandi dimensioni.

#### GRUPPO B

##### Associazione B1

L'associazione B1 mostra una meiofauna autoctona oligotipica, composta esclusivamente da specie eurialine ed opportuniste capaci di tollerare notevoli variazioni di salinità. Gli ostracodi sono numerosi, mentre i foraminiferi sono scarsi in termini di abbondanza assoluta. L'ostracofauna è dominata da abbondanti *Cyprideis torosa* (Jones, 1850), associati a rare valve di *Loxoconcha elliptica* (Brady, 1868b). Le uniche forme di foraminiferi bentonici rinvenute appartengono alle specie *Ammonia tepida* (Cushman, 1926) e *A. parkinsoniana* (d'Orbigny, 1839).

La dominanza assoluta di *Cyprideis torosa*, specie tipica di ambienti salmastri e tollerante a forti oscillazioni di salinità, da quasi dulcicola a ipersalina (ATHERSUCH *et alii* 1989; MEISCH 2000), è indicativa di un bacino poco profondo e minimamente influenzato da acque marine quale una palude salmastra o la porzione interna di un'area lagunare. La presenza esclusiva di specie opportuniste eurialine (BONADUCE *et alii* 1975; MONTENEGRO, PUGLIESE 1996; MURRAY 2006) e di una fauna a foraminiferi scarsa sono compatibili con questa interpretazione. Una meiofauna simile è presente nella porzione prossimale, direttamente influenzata dagli sbocchi fluviali, della laguna di Venezia (RUIZ *et alii*, 2000; COCCIONI *et alii* 2009).

Nei sondaggi in esame l'associazione B1 si ritrova in sedimenti argilloso-siltosi plastici contenenti un'alta concentrazione di materia organica decomposta, frammenti di legno e, occasionalmente, bioclasti di cardidi.

##### Associazione B2

L'associazione B2 è caratterizzata da una meiofauna autoctona numerosa e più diversificata rispetto a B1, sia per gli ostracodi che per i foraminiferi. Le specie

che compongono l'associazione sono quasi tutte opportunistiche e tolleranti a condizioni iposaline e a variazioni di salinità.

Nello specifico, l'ostracofauna è caratterizzata da abbondanti *Cyprideis torosa* e comuni valve di *Loxococoncha elliptica* e *Loxococoncha stellifera* (G.W. Müller, 1894). Rare valve di *Leptocythere bacescoi* (Rome, 1942) sono talvolta presenti. Abbondanti *Ammonia tepida* e *A. parkinsoniana* compongono l'associazione a foraminiferi bentonici, subordinariamente si ritrovano da comuni a rari esemplari di *Haynesina germanica* (Ehrenberg, 1840) e *Aubygnina perlucida* (Heron-Allen & Earland, 1913). Queste specie sono localmente associate a rari *Criboelphidium lidoense* (Cushman, 1936) e *Criboelphidium poeyanum* (d'Orbigny, 1839).

Rispetto all'associazione B1 il maggiore numero di foraminiferi, in termini di abbondanza assoluta, e la maggiore diversità interspecifica evidenziano un significativo aumento dell'influenza marina all'interno del bacino salmastro (porzione centrale della laguna). In particolare le specie presenti sono tutte tipiche di acque leggermente o decisamente mesoaline. Nell'area mediterranea, una meiofauna simile a B2 è ampiamente diffusa nei depositi lagunari sia attuali (ALBANI, SERANDREI BARBERO 1990; MONTENEGRO, PUGLIESE 1996; MURRAY 2006) che tardo quaternari (CARBONI *et alii* 2002; AMOROSI *et alii* 2004; ROSSI *et alii* 2011).

L'associazione B2 è presente in sedimenti argilloso-siltosi estremamente plastici contenenti numerosi gusci di cardidi e rari frammenti di legno.

### Associazione B3

L'associazione B3 contiene una meiofauna autoctona con la più alta diversità interspecifica fra quelle riconosciute nella successione in esame e, a differenza delle altre associazioni del gruppo B, sono presenti anche specie tipiche di ambiente costiero a salinità marina. I foraminiferi sono molto abbondanti, mentre gli ostracodi sono poco numerosi.

L'ostracofauna è dominata da abbondanti *Leptocythere ramosa* (Rome, 1942) e *Palmoconcha turbida* (G.W. Müller, 1912) associata a comuni *C. torosa* e rare *L. elliptica*. Talvolta *C. torosa* è abbondante e accompagnata da *Loxococoncha stellifera* come specie comune. Nell'associazione a foraminiferi sono sempre abbondanti gli esemplari di *Ammonia tepida* e *A. parkinsoniana*, accompagnati da comuni a rari esemplari di *Haynesina germanica* e *Aubygnina perlucida*. Sono sempre presenti, come taxa rari, numerose specie di Miliolidi, quali *Adelosina cliarensis* (Heron-Allen & Earland, 1930), *Miliolinella subrotunda* (Montagu, 1803), *Miliolinella elongata* (Kruit, 1955), *Quinqueloculina seminula* (Linnaeus, 1758) e *Siphonaperta aspera* (d'Orbigny, 1826).

L'elevata diversità interspecifica unitamente alla presenza di taxa tipici di acque polialine-marine, quali *Leptocythere ramosa*, *Palmoconcha turbida* e il gruppo dei Miliolidi, sono indicativi di un significativo aumen-

to degli influssi marini rispetto alle associazioni B1 e B2, compatibile con la porzione più esterna di un bacino lagunare.

L'associazione B3 è presente in depositi argilloso-siltosi estremamente plastici e contenenti numerosi cardidi.

## GRUPPO R

### Associazione R1

Questa associazione è caratterizzata da scarsi e mal conservati foraminiferi bentonici marini (*Ammonia beccarii*; *Elphidium crispum*; *Cibicidoides pachiderma*) accompagnati da frammenti di ostracodi ipoalini (*Candona* sp.). La presenza di forme rielaborate o rimaneggiate appartenenti a specie tipiche di diverse aree, da marino profonde a marino costiere e continentali, indicano un ambiente ad alta energia di origine fluviale.

L'associazione R1 è presente entro depositi sabbiosi.

### Associazione R2

Nell'associazione R2 sono esclusivamente presenti pochi esemplari adulti, talvolta abrasati o arrossati di *C. torosa*.

La presenza di valve mal conservate e selezionate dal punto di vista dimensionale di *C. torosa* suggerisce un ambiente ad alta energia entro un'area debolmente salmastra quale una laguna interna o una palude (ad esempio subdelta).

L'associazione R2 è presente esclusivamente nel sondaggio M1 entro depositi sabbiosi, contenenti rari frammenti di legno e rinvenuti al tetto di una successione argilloso-limosa plastica caratterizzata dalla presenza di gusci di cardidi e una meiofauna autoctona B1.

### Associazione R3

Questa associazione contiene una scarsa meiofauna con evidenti segni di trasporto (gusci/valve arrossate, abrase o parzialmente rotte), composta da numerose specie sia eurialine, *C. torosa*, *Ammonia tepida* e *A. parkinsoniana*, sia marino costiere quali *A. beccarii* e *Nonion boueanum* (d'Orbigny, 1846).

La compresenza di esemplari mal conservati di specie tipiche di ambienti salmastri e marino costieri suggerisce un ambiente di transizione ad alta energia influenzato dalle correnti marine.

Nei sondaggi l'associazione R3 è presente entro successioni sabbiose o composte da alternanze decimetriche di sabbie e argille limose contenenti bioclasti e frammenti di legno.

(R.V.)

## 3.2 Palinofacies

La composizione del residuo organico, con la presenza di numerosi frammenti organici e di palino-

morfi marini a fianco di pollini e spore, ha permesso di descrivere i vari campioni analizzati in termini di palinofacies. Il termine palinofacies è stato introdotto da COMBAZ (1964) per descrivere l'insieme della materia organica che si osserva al microscopio ottico dopo che è stata estratta da un sedimento o da una roccia sedimentaria attraverso le tecniche palinologiche di laboratorio. Sebbene la definizione originale di Combaz sia da considerarsi ancora accettabile, quella suggerita da POWELL *et alii* (1990) di "un'associazione caratteristica di palinoclasti la cui composizione riflette un particolare ambiente sedimentario" sembra essere, come discusso da BATTEN (1996), più completa ed è attualmente più seguita.

I principali componenti della palinofacies sono i palinomorfi, la sostanza organica strutturata e la sostanza organica non strutturata (AOM). I palinomorfi sono rappresentati principalmente da spore e pollini, Funghi, cisti di dinoflagellati, acritarchi, Algae, interni dei foraminiferi e scolecodonti (resti di anellidi policheti). Tutti i frammenti derivati dalle piante (legni, cuticole di foglie e di radici, etc.) costituiscono la sostanza organica strutturata, mentre la sostanza organica non strutturata è il prodotto degradato di quella strutturata e può essere di origine terrestre o marina (Fig. 5).

Nei campioni analizzati sono presenti tutti i principali componenti della palinofacies sopra menzionati. La sostanza organica non strutturata (AOM) è presente in forma granulare, prodotto di degradazione primaria da parte di batteri della cellulosa delle varie parti di piante vascolari, ed è considerata di origine terrestre.

La presenza e la combinazione dei vari elementi permette di riconoscere tre palinofacies diverse:

### **Palinofacies L**

Associazione composta da numerosi fitoclasti, con dimensioni che variano da pochi  $\mu\text{m}$  a 500  $\mu\text{m}$ , di colore arancio-marrone, spesso trasparenti. AOM sporadicamente presente in forma sia granulare che in flocculi. Tra i palinomorfi sono presenti elementi ad affinità marina in percentuali che variano dal 2,5% al 16,5% e sono rappresentati da dinocisti, interni di foraminiferi e scolecodonti. La frazione continentale è rappresentata da pollini e spore (dal 35 al 85% circa) e spore di Funghi (15-33%) ed è caratterizzata da una associazione eterogenea in cui i pollini delle arboree sono presenti in numero maggiore rispetto alle non-arboree. Tra le arboree *Alnus* (ripariale) è talvolta dominante con il 35,8% di percentuale relativa. Le piante acquatiche sono presenti in percentuali variabili da 1,5% al 2,5%.

La presenza di dinocisti, interni di foraminiferi e scolecodonti sembra essere riferibile ad un bacino soggetto ad influenza marina, riferibile ad una laguna, la cui porzione (da esterna ad interna) può essere indicata dalla diminuzione progressiva della percentuale degli elementi marini, accompagnata dall'aumento dell'apporto continentale.

La palinofacies L è stata identificata nei campioni

prelevati a 10,47 m, 10,05 m, 9,60 m e 9,42 m di profondità nel sondaggio M5; nel campione a 11,30 m del sondaggio M1, nel campione a 14,50 m del sondaggio M2, nel campione a 10,45 m del sondaggio M3 e nel campione a 15,10 m del sondaggio M6.

### **Palinofacies P**

Associazione caratterizzata da abbondanti fitoclasti di diverse dimensioni (maggior parte > 100  $\mu\text{m}$ ) di colore da arancio chiaro a marrone/nero. I fitoclasti più frequenti sono marrone chiaro trasparenti con aspetto fibroso. La sostanza organica non strutturata (AOM) può essere abbondante in alcuni livelli. I palinomorfi sono rappresentati in maggior parte da elementi continentali con pollini e spore che variano dal 34,5% al 56% circa e spore di Funghi dal 27,4% al 30,5%. L'associazione pollinica è eterogenea con i pollini delle arboree che sono presenti in numero maggiore rispetto alle non-arboree. Tra le arboree le latifoglie legate a climi temperato-caldi sono sporadicamente più abbondanti raggiungendo al massimo il 13% di percentuale relativa. Le piante acquatiche sono presenti in percentuali variabili da 1,5% al 22%.

L'abbondanza della sostanza organica, soprattutto l'abbondanza dei fitoclasti, sembra indicare un bacino a profondità ridotta, palustre, in cui si ha un notevole apporto continentale ed in cui si possono avere condizioni ambientali povere in ossigeno fino ad anossiche come testimoniato dalla presenza di AOM.

La palinofacies P è stata identificata nei campioni prelevati a 8,56 m e 7,96 m di profondità nel sondaggio M5; nei campioni a 9,45 m, 9,05 m, 8,70 m, 8,30 m, 7,90 m e 7,50 m nel sondaggio M4; nel campione a 6,40 m del sondaggio M3 e nei campioni a 7,38 m e 6,48 m nel sondaggio M6. E' stata inoltre identificata nei campioni prelevati fra 6,85-6,95 m di profondità nel sondaggio M25, fra 4,70-4,72 m nel sondaggio M19 e fra 4,62-4,71 m nel sondaggio M8.

### **Palinofacies A**

Associazione caratterizzata da numerosi fitoclasti equidimensionali a bordi arrotondati di colore da marrone scuro a nero. AOM sporadicamente presente. L'associazione pollinica si presenta eterogenea con numerosi esemplari rimaneggiati. La percentuale delle arboree oscilla dal 7,5% al 23% e diventa subordinata a quella delle non arboree (3,3-20%) in alcuni dei campioni più superficiali. Le acquatiche oscillano dal 4,2% al 9,45%. Le spore di Funghi sono sempre presenti (21-53%). Gli esemplari rimaneggiati sono rappresentati sia da palinomorfi derivati da sedimenti più antichi, sia da palinomorfi che sono rielaborati in situ.

Le dimensioni ridotte ed i bordi arrotondati della maggior parte dei fitoclasti sono indicativi di materiale rielaborato, come indicato anche dall'eterogeneità in termini di contenuto e di conservazione dei palinomorfi presenti. Tale associazione può essere riferibile ad un ambiente di piana inondabile in prossimità di un canale.

La palinofacies A è stata identificata nei campioni prelevati a 7,58 m, 4,45 m, 2,69 m di profondità nel sondaggio M5; nei campioni a 7,30 m, 6,90 m, 5,15 m, 3,85 m, 2,70 m e 1,50 m nel sondaggio M4, nel campione a 2,69 m nel sondaggio M3 e nel campione 1,85-1,90 m nel sondaggio M8.

(C.R.)

### 3.3 Dati geochimici

Le analisi geochimiche hanno condotto alla determinazione, per ognuno dei 100 campioni analizzati, di 11 elementi maggiori, espressi in percentuale ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , LOI) e 17 elementi in traccia, espressi in mg/kg (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Pb e Th). Per comodità di lettura i risultati delle analisi vengono presentati in due tabelle distinte, una (Tab. 2 in Appendice) relativa agli 80 campioni prelevati nelle carote M1-7, l'altra (Tab. 3 in Appendice) relativa invece ai 20 campioni di riferimento, prelevati in prossimità degli attuali corsi del Fiume Arno (perforazioni "Cobra" C1-C3) e del Fiume Serchio (perforazioni "Cobra" C4-C5).

(A.A., I.S.)

Figura 5. Componenti principali delle palinofacies.

Foto 1-15: barra= 20 $\mu\text{m}$ ; foto 16-18: x 600.

1- 2. Cisti di dinoflagellato

1. *Spiniferites*. Campione M4 -2,70 (rimaneggiato).

2. *Lingulodinium*. Campione M2 -14,50.

3. *Scolecodonte*. Campione M5 -10,47.

4. *Spora monoete*. Campione M5 -8,56.

5. Interno di foraminifero. Campione M3 -10,45

6-11 Pollini

6. *Abies*. Campione M4 -8,30.

7. *Alnus*. Campione M4 -8,30.

8. *Quercus*. Campione M5 -10,47.

9. *Pinus*. M4 -9,45

10. *Tilia*. Campione M4 -8,30.

11. Cisti di alga di acqua dolce (*Pseudoschizaea*). Campione M4 -6,90.

12. Spora di Fungi. Campione M4 -7,58.

13. Sostanza organica non strutturata (AOM). Campione M4 -6,90.

14. Fitoclasti rielaborati. Campione M4 -2,70.

15. Fitoclasto in situ. Campione M5 -7,96.

16-18. Palinofacies.

16. Palinofacies L. Campione M5 -10,47.

17. Palinofacies P. Campione M5 -7,96.

18. Palinofacies A. Campione M5 -2,70.

Figure 5. Main palynofacies components .

Photos 1-15: bar= 20 $\mu\text{m}$ ; photos 16-18: x 600.

1- 2. *Dynoflagellate cysts*.

1. *Spiniferites*. Sample M4 -2,70 (reworked).

2. *Lingulodinium*. Sample M2 -14,50.

3. *Scolecodont*. Sample M5 -10,47.

4. *Monoete spore*. Sample M5 -8,56.

5. *Foraminiferal lining*. Campione M3 -10,45

6-11 *Pollen grains*.

6. *Abies*. Sample M4 -8,30.

7. *Alnus*. Sample M4 -8,30.

8. *Quercus*. Sample M5 -10,47.

9. *Pinus*. Sample M4 -9,45

10. *Tilia*. Sample M4 -8,30.

11. *Freshwater algal cyst (Pseudoschizaea)*. Sample M4 -6,90.

12. *Fungal spore*. Sample M4 -7,58.

13. *Unstructured organic matter (AOM)*. Sample M4 -6,90.

14. *Reworked phytoclasts*. Sample M4 -2,70.

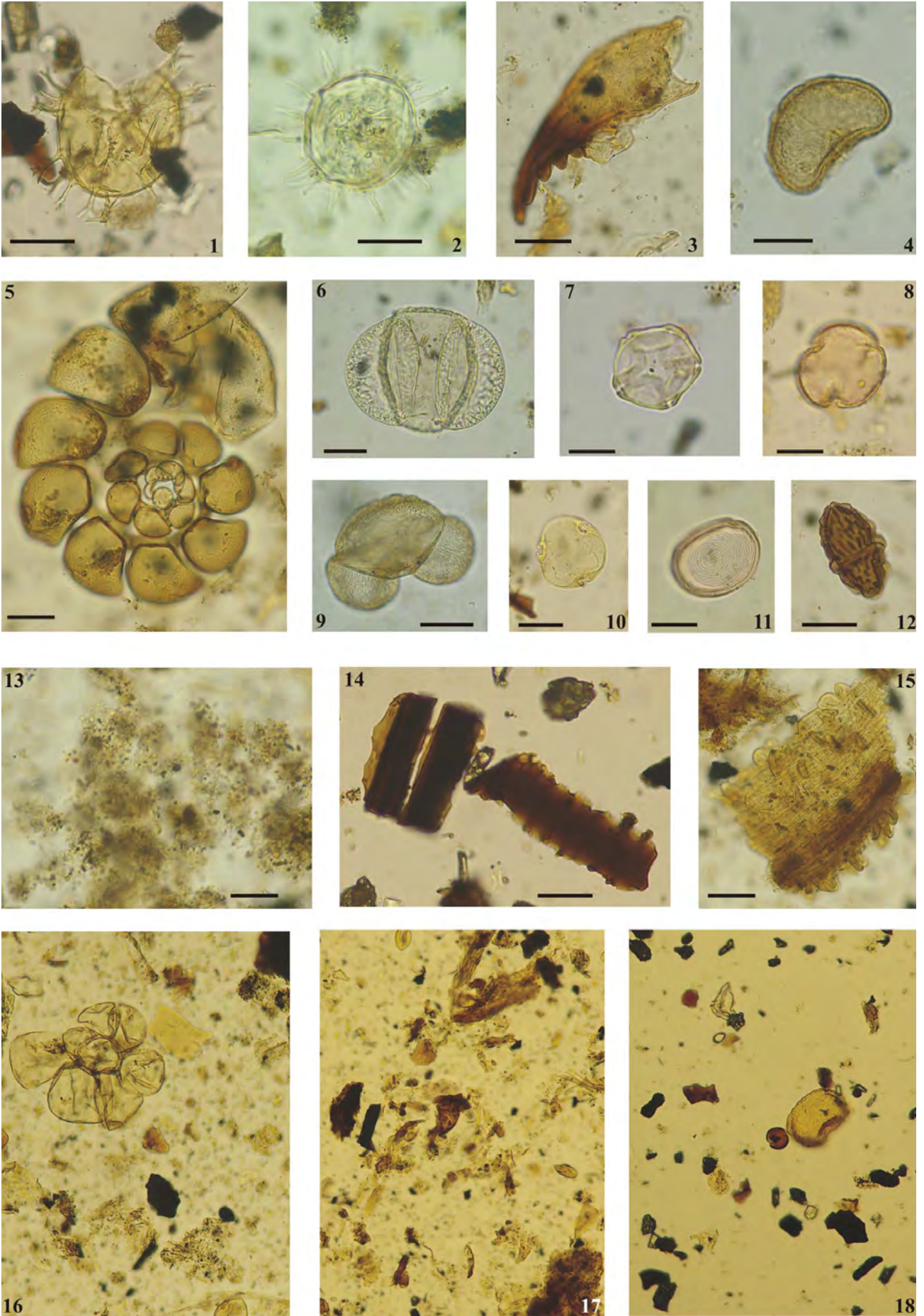
15. *Phytoclast in situ*. Sample M5 -7,96.

16-18. *Palynofacies*.

16. *Palynofacies L*. Sample M5 -10,47.

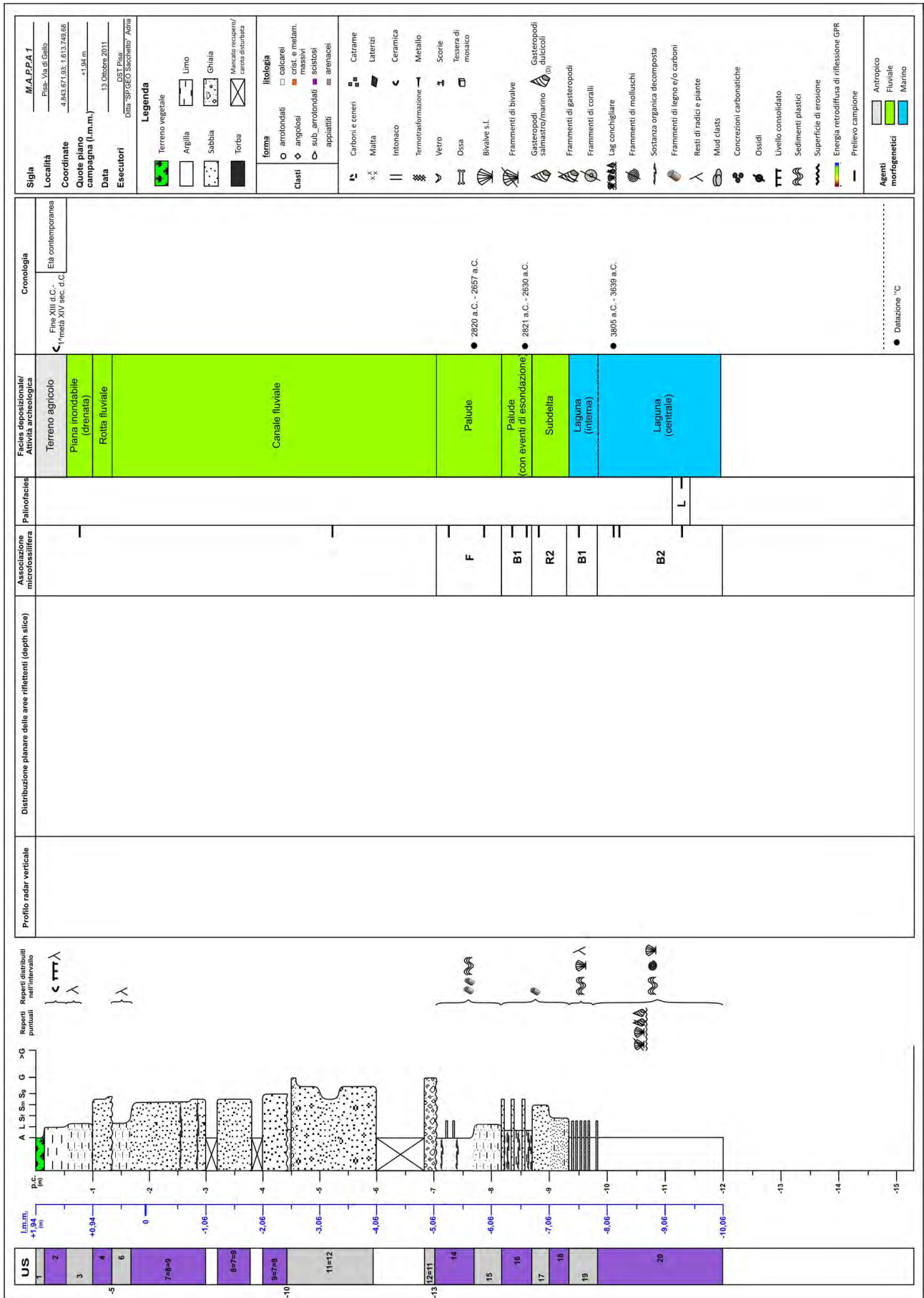
17. *Palynofacies P*. Sample M5 -7,96.

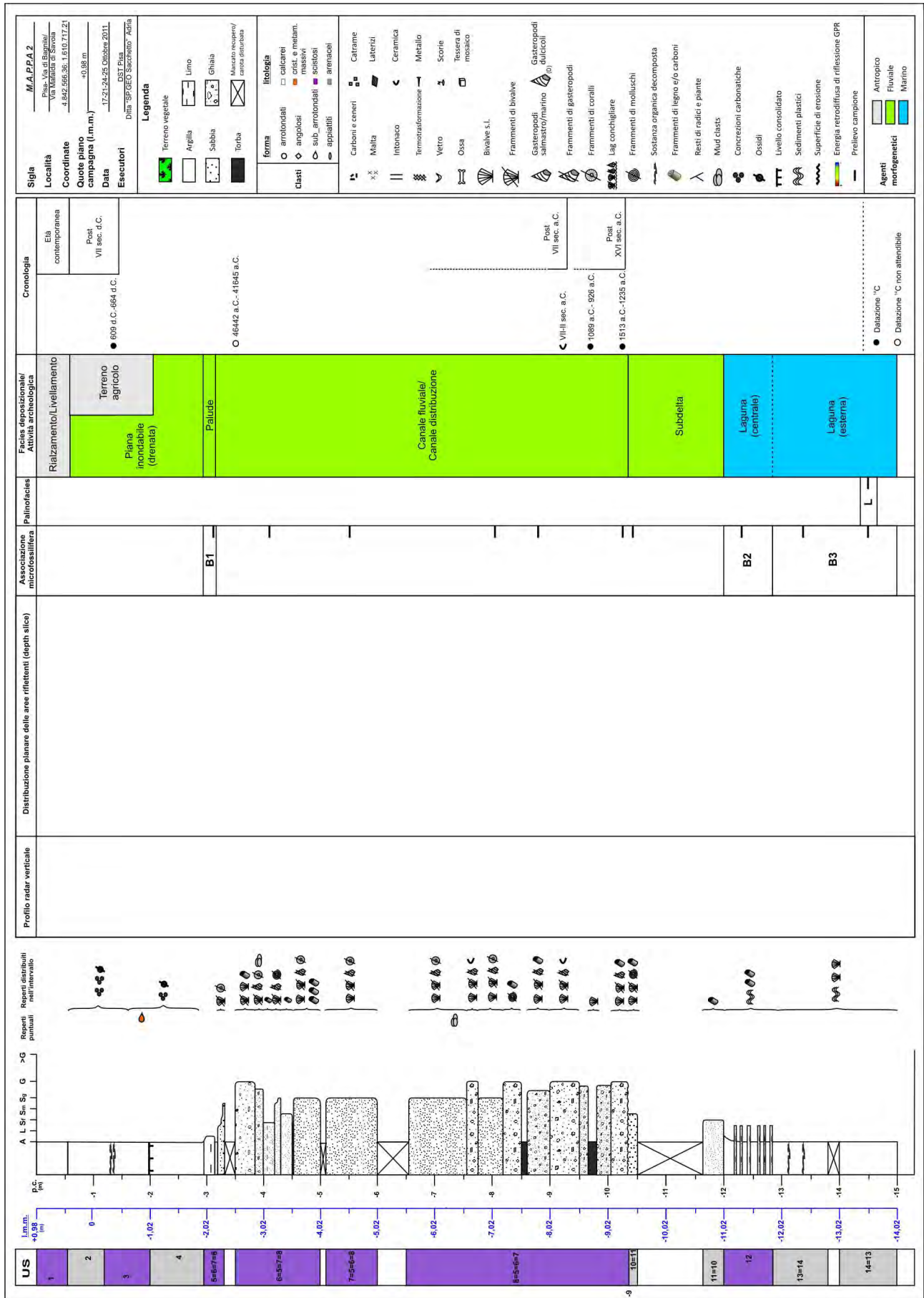
18. *Palynofacies A*. Sample M5 -2,70.

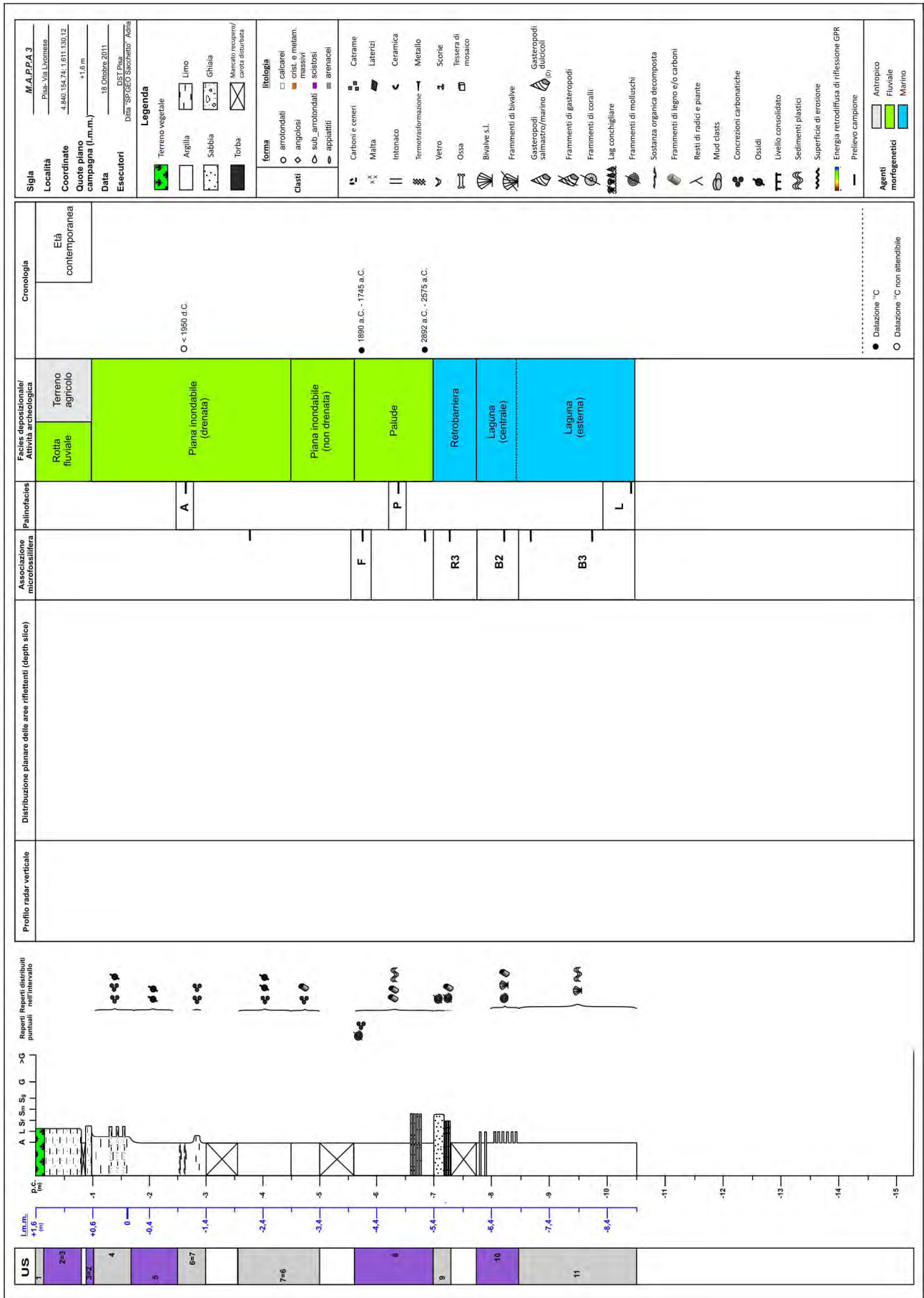


# 4. Log stratigrafici

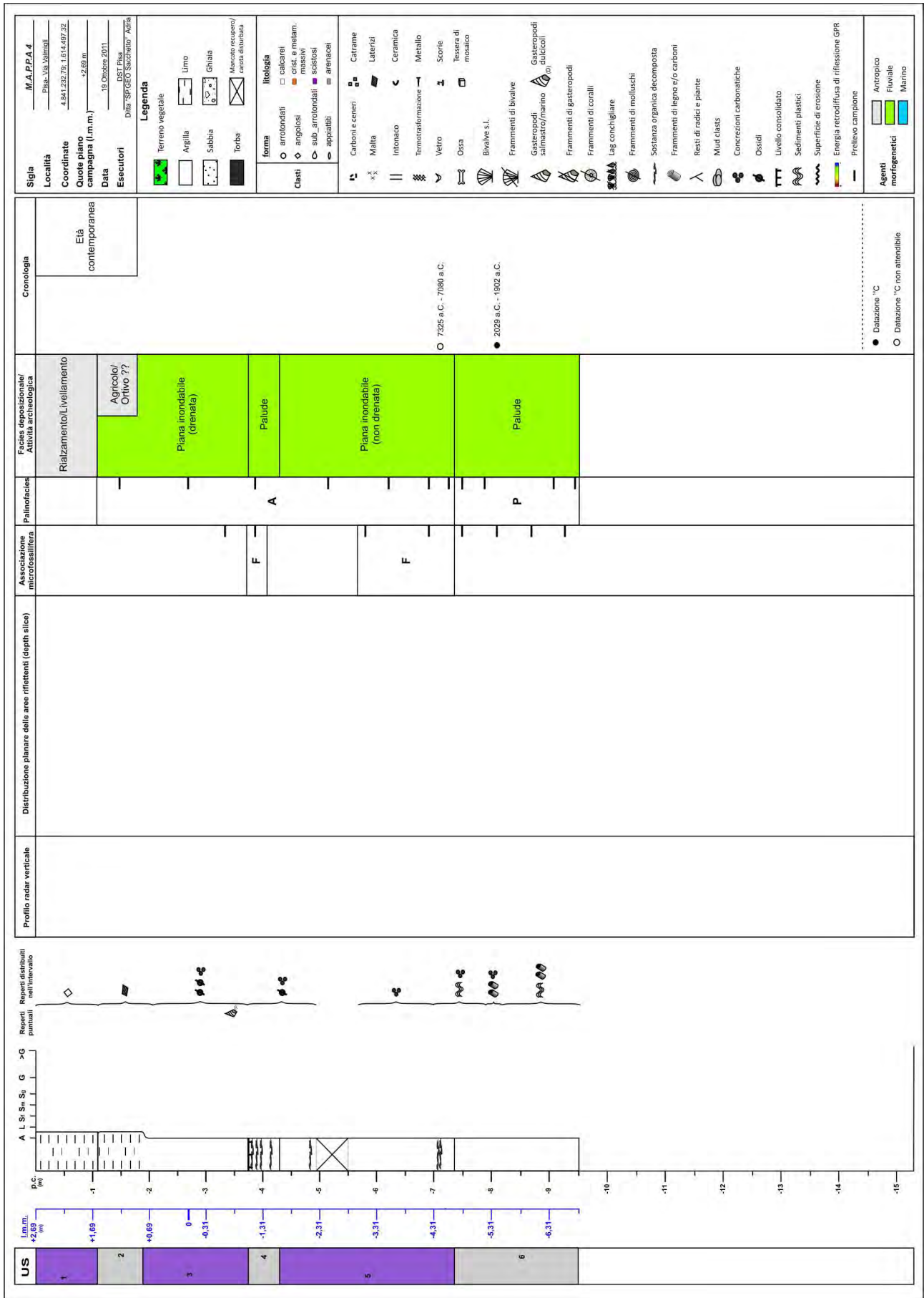
(M.B., F.F., S.G., M.P., C.R., V.R., G.S.)

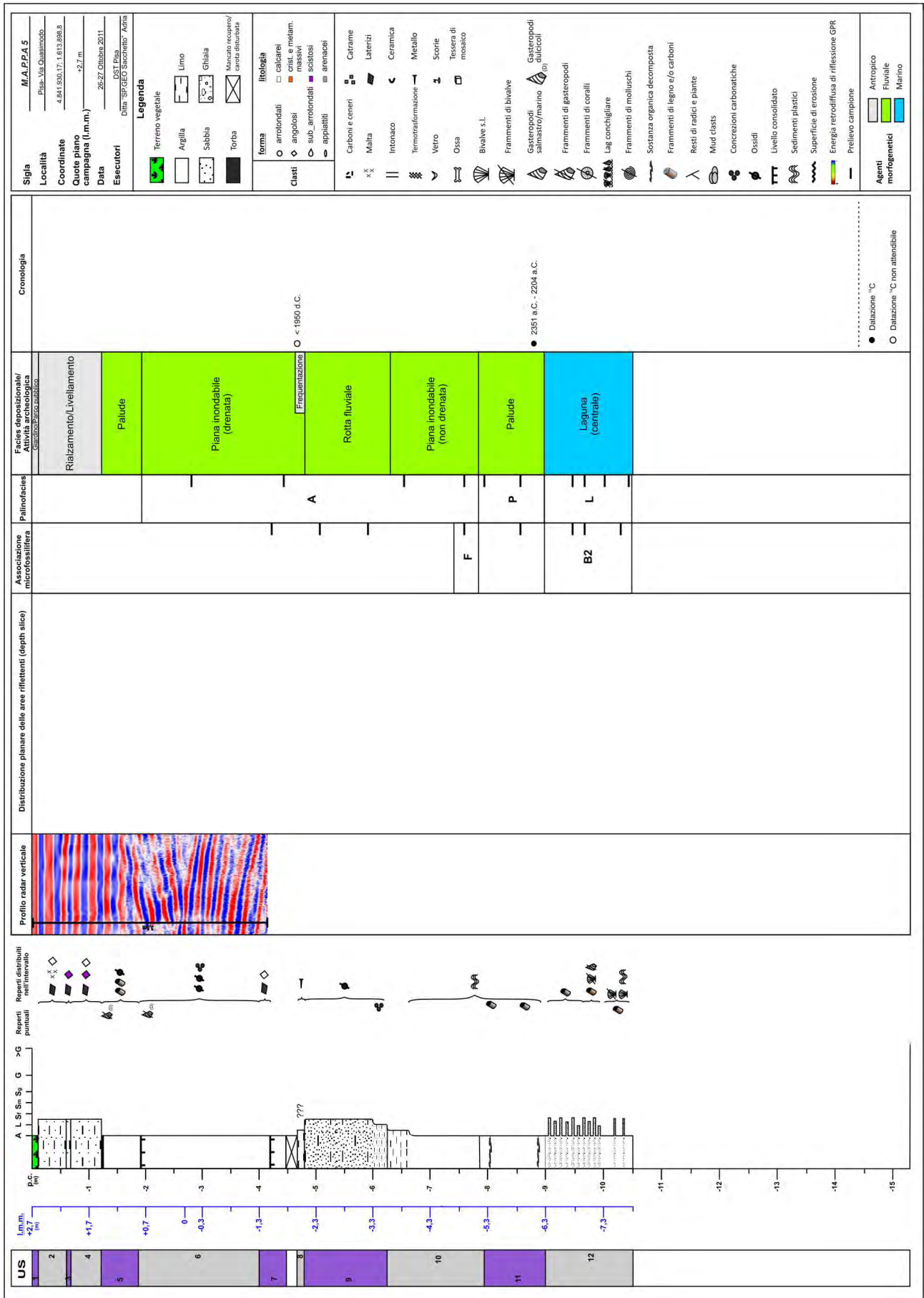


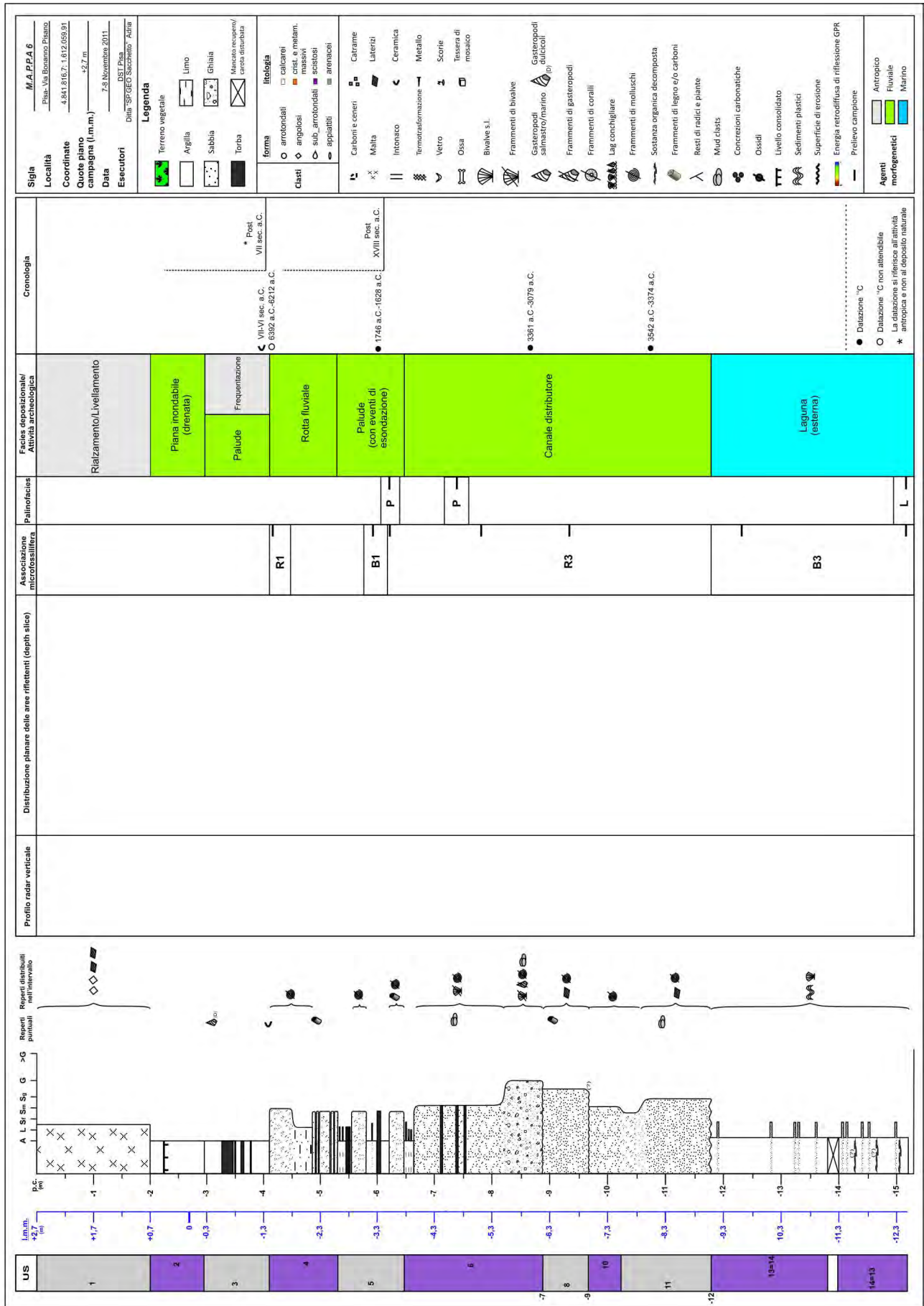


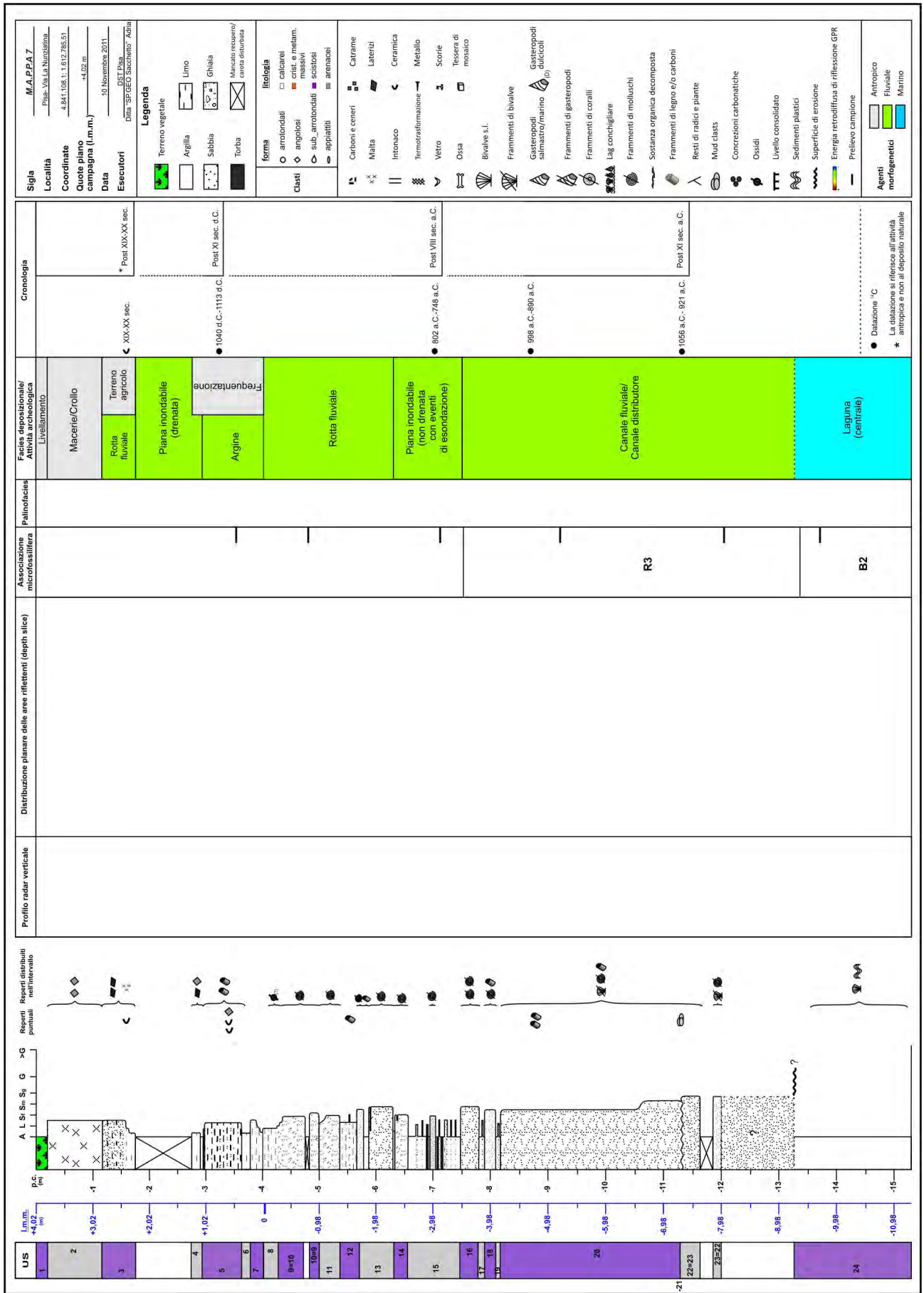


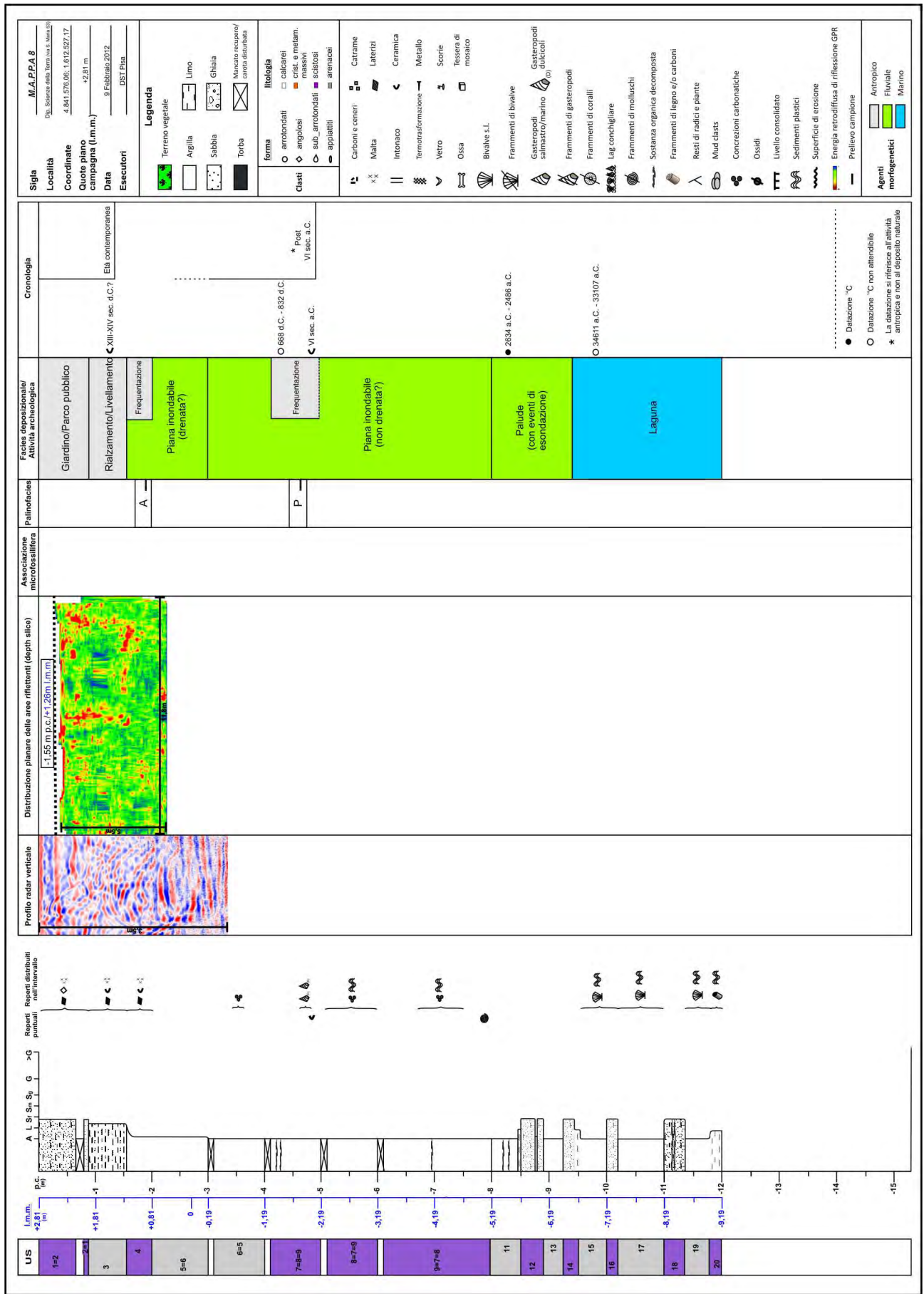


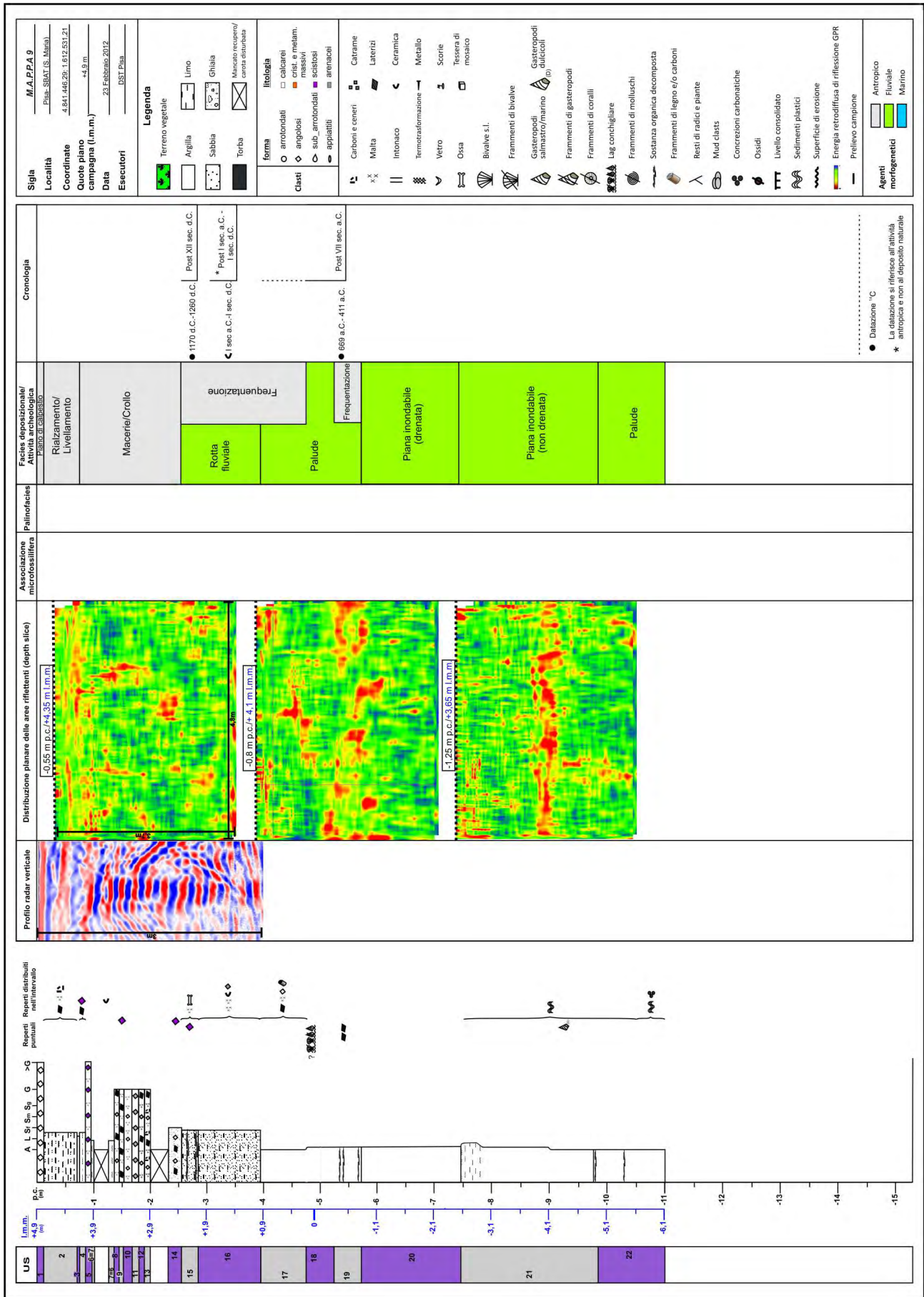












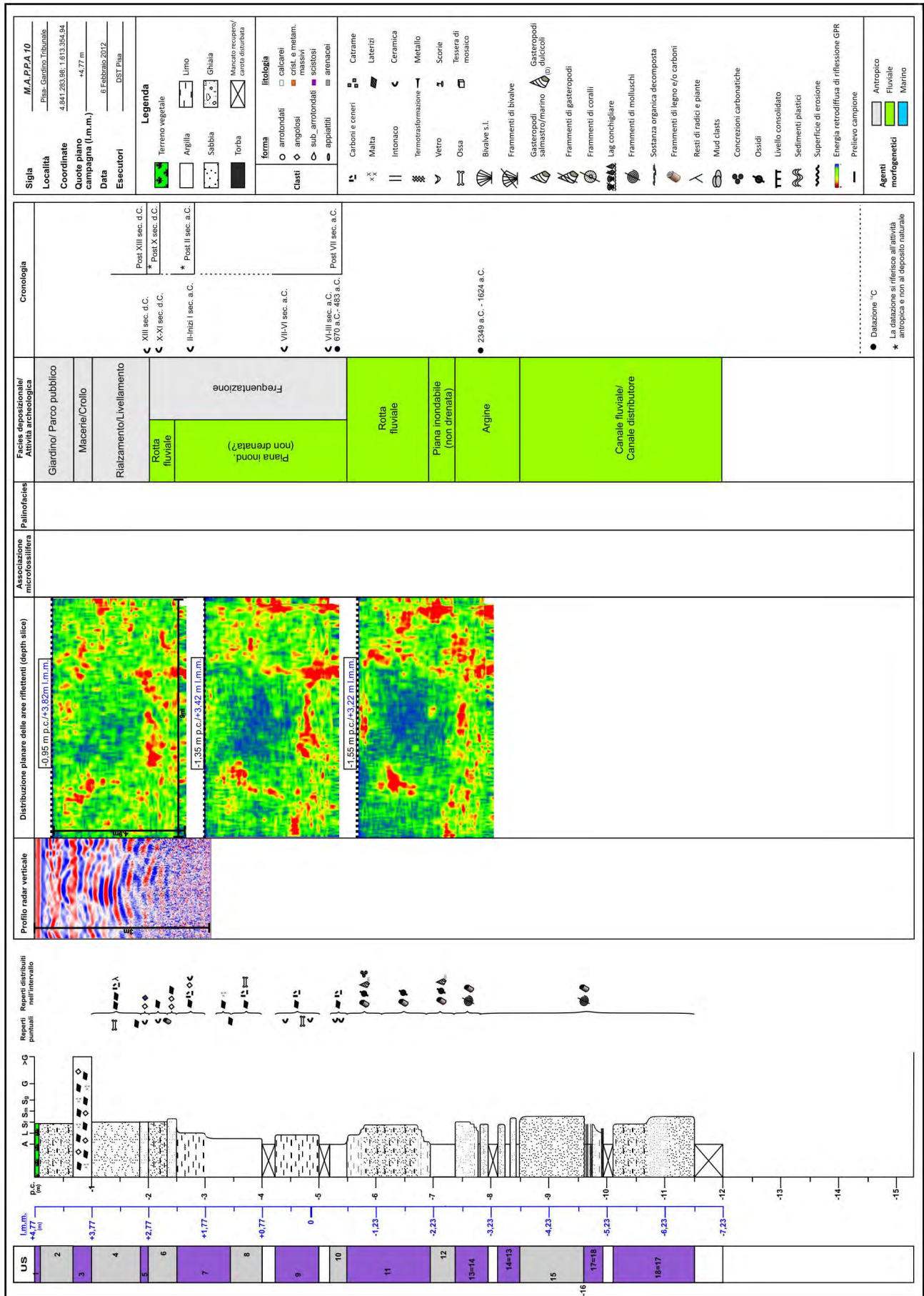
**Sigla** M.A.P.P.A.9  
**Località** Pisa-SBCT (S. Maria)  
**Coordinate** 4.841.446.26; 1.812.531.21  
**Quote piano campagna (l.m.m.)** +4.9 m  
**Data** 23 Febbraio 2012  
**Esecutori** DST Pisa

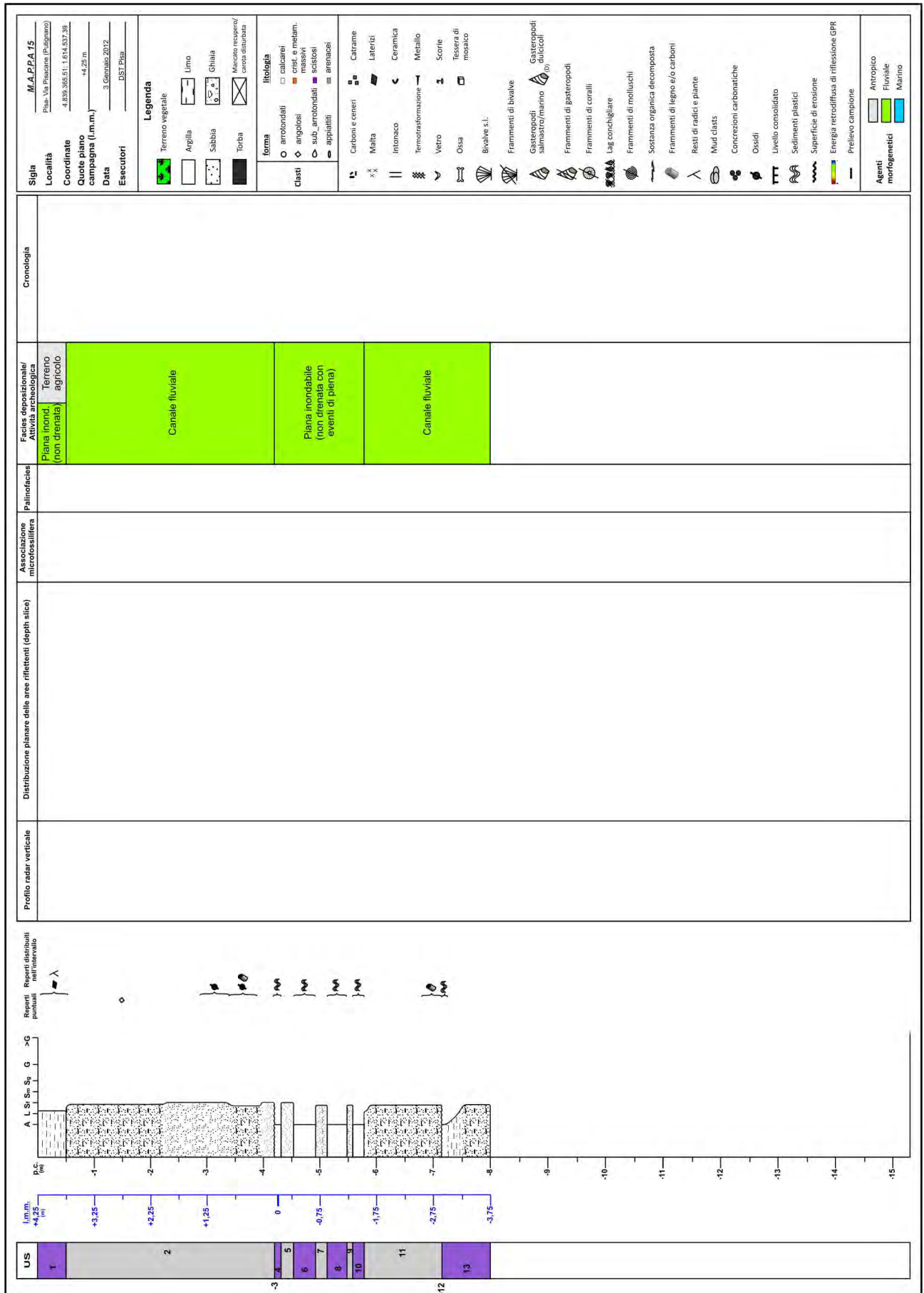
**Legenda**  
 Terreno vegetale  
 Argilla  
 Limo  
 Sabbia  
 Ghiaia  
 Mancato recupero/erora disturbata

- forma**  
 arrotondati  
 angolosi  
 sub arrotondati  
 appiattiti
- Clasti**  
 calcarei  
 cisti metam.  
 massivi  
 scissosi  
 arenacei
- litologia**  
 Carboni e ceneri  
 Malta  
 Intonaco  
 Termotrasmazione  
 Vetro  
 Ossa  
 Bivalve s.l.  
 Carame  
 Laterizi  
 Ceramica  
 Metallo  
 Scorie  
 Tessera di mosaico  
 Frammenti di bivalve  
 Gasteropodi salmastri/marino  
 Gasteropodi dulcicoli  
 Frammenti di gasteropodi  
 Frammenti di coralli  
 Lag conchigliare  
 Frammenti di molluschi  
 Sostanza organica decomposta  
 Frammenti di legno e/o carboni  
 Resti di radici e piante  
 Mud clasts  
 Congrezioni carbonatiche  
 Ossidi  
 Livello consolidato  
 Sedimenti plastici  
 Superficie di erosione  
 Energia retroriflessiva di riflessione GPR  
 Prelievo campione

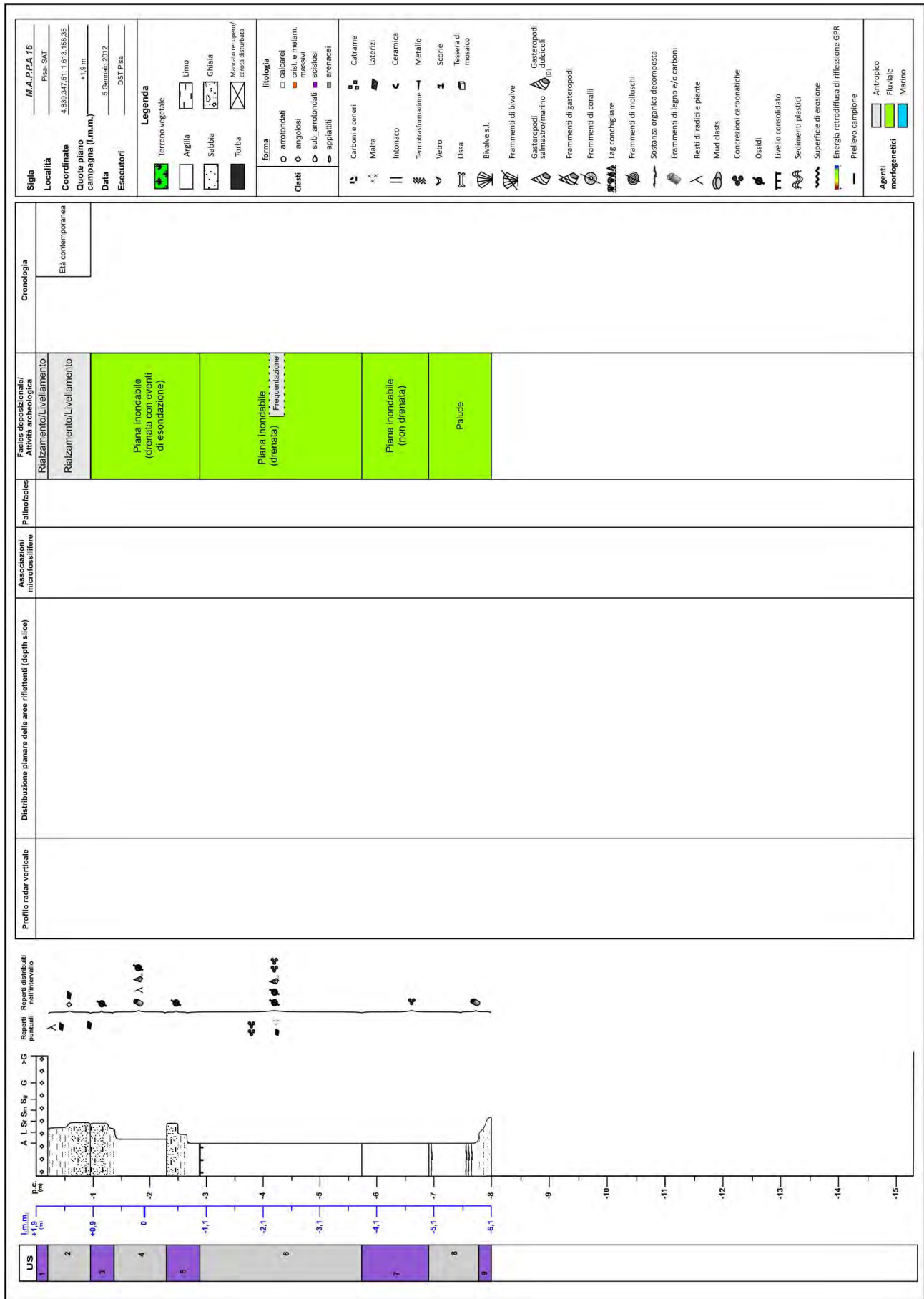
**Agenti morfogenetici**  
 Antropico  
 Fluviale  
 Marino

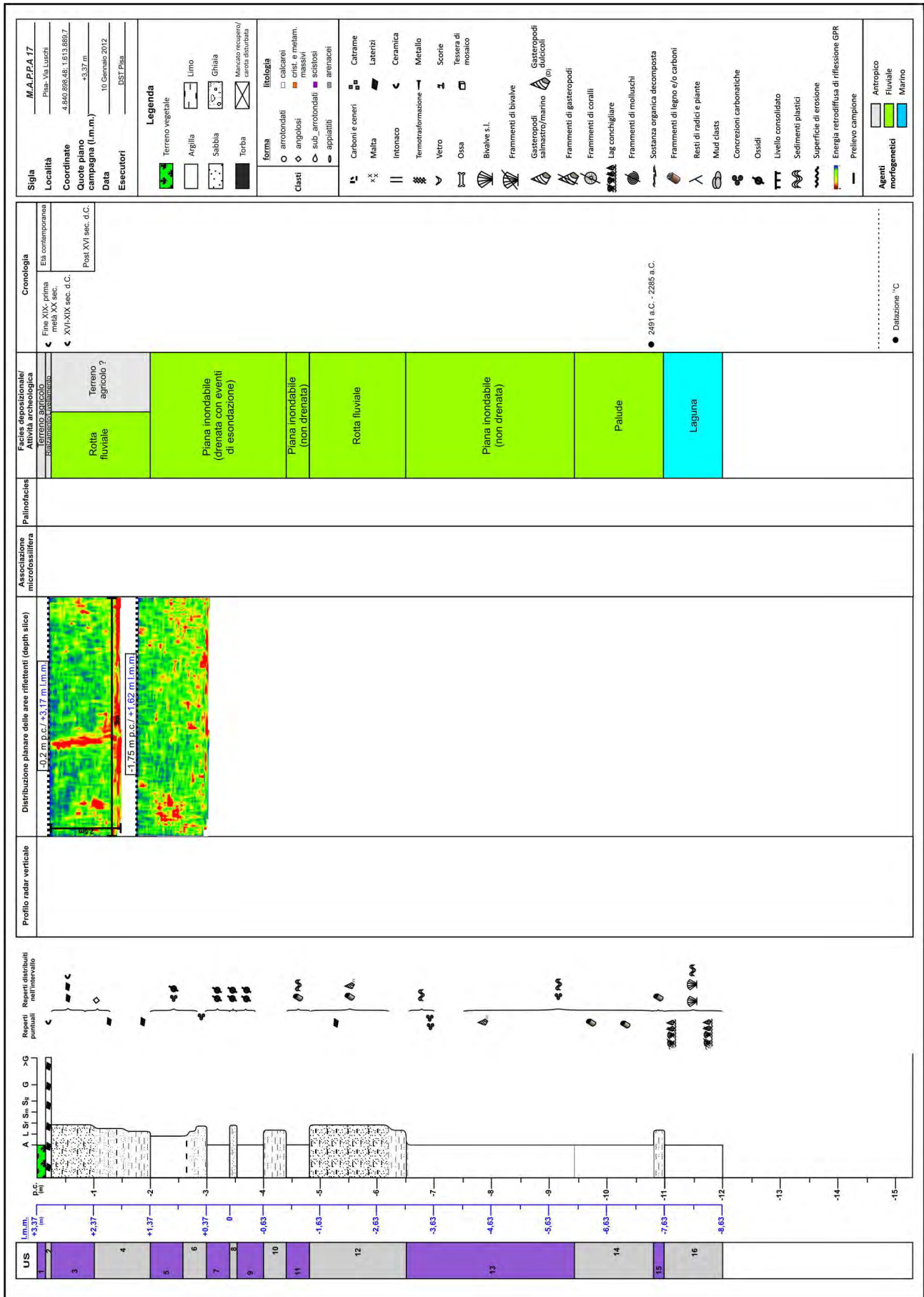
● Datazione °C  
 \* La datazione si riferisce all'attività antropica e non al deposito naturale

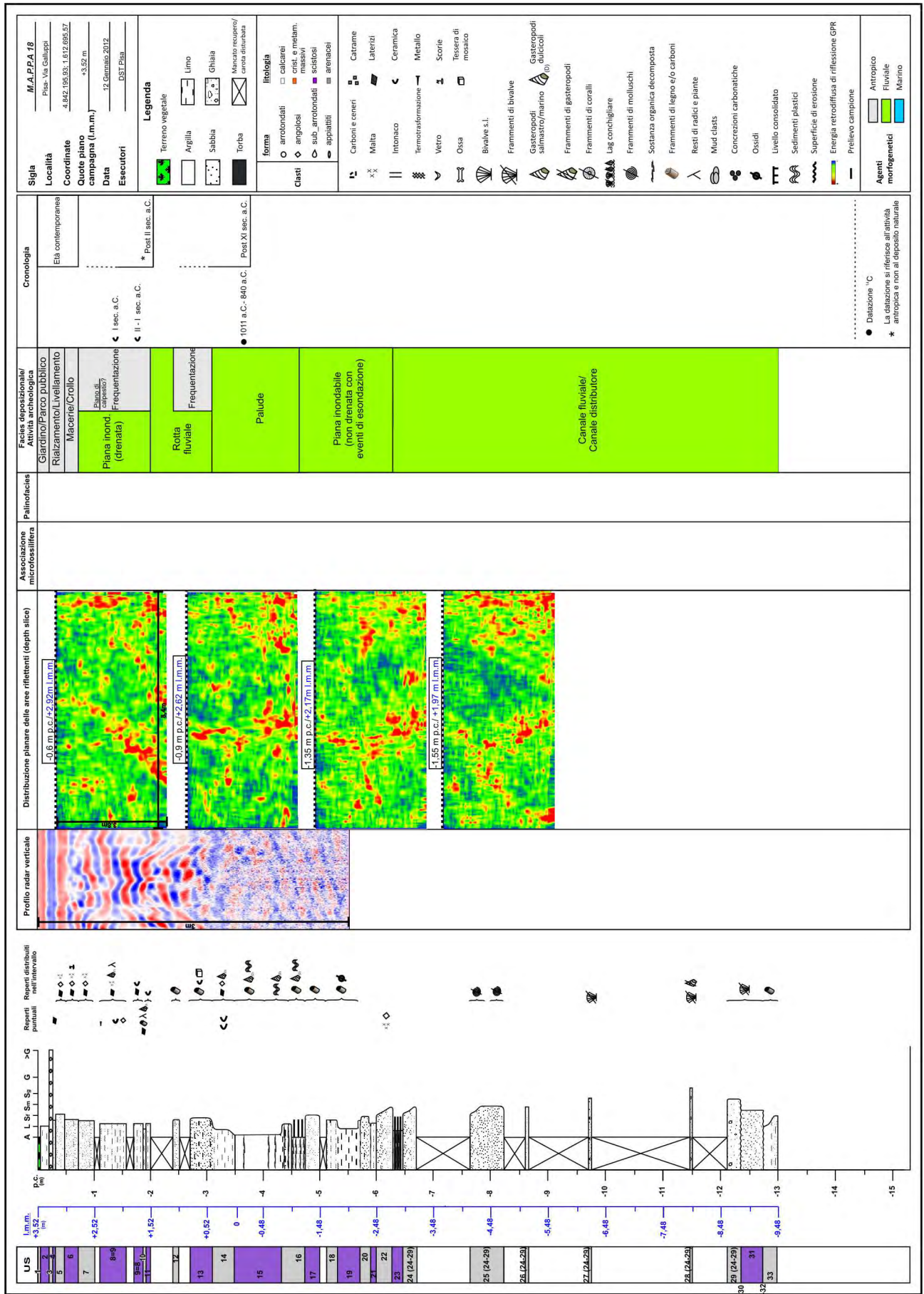


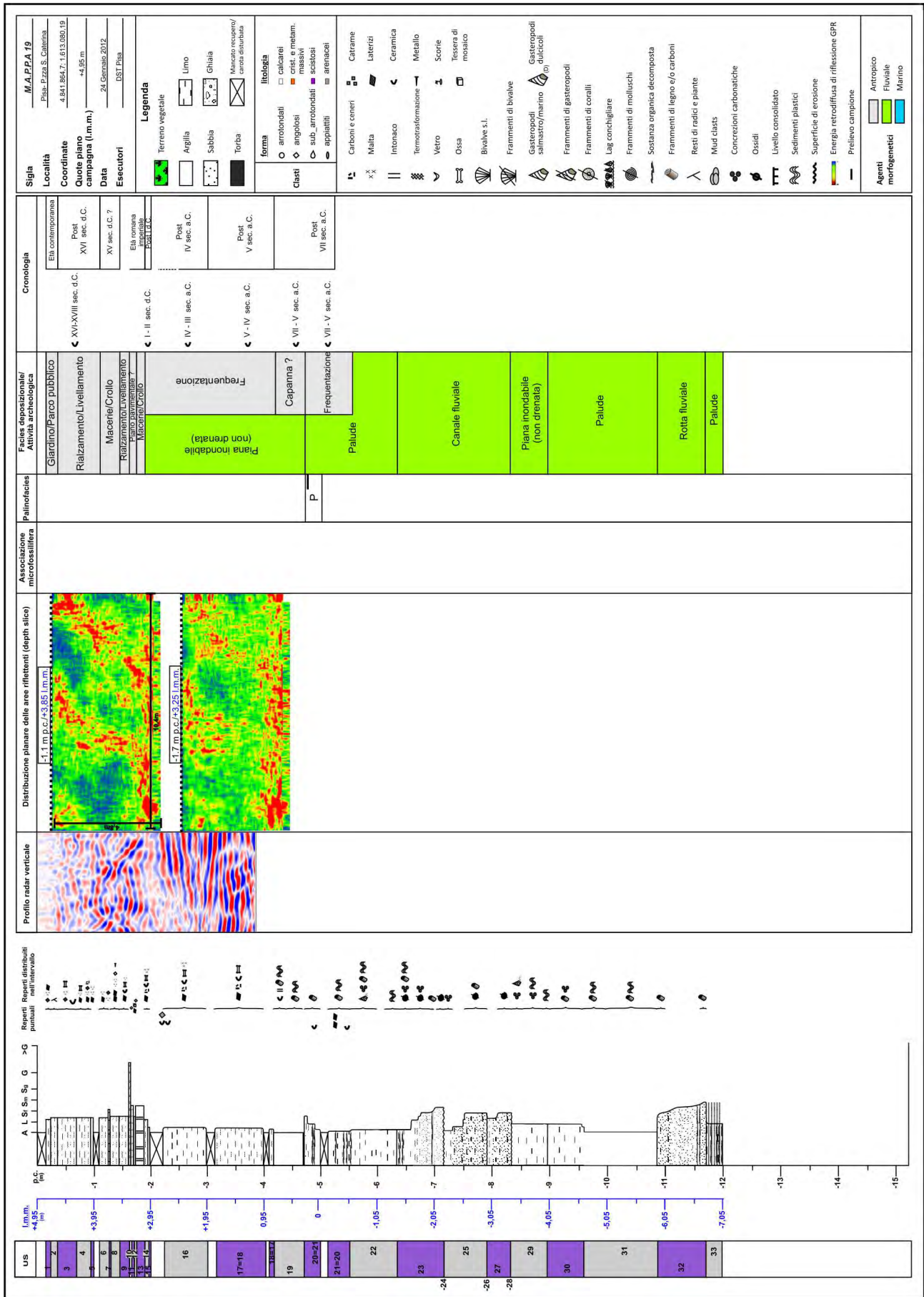


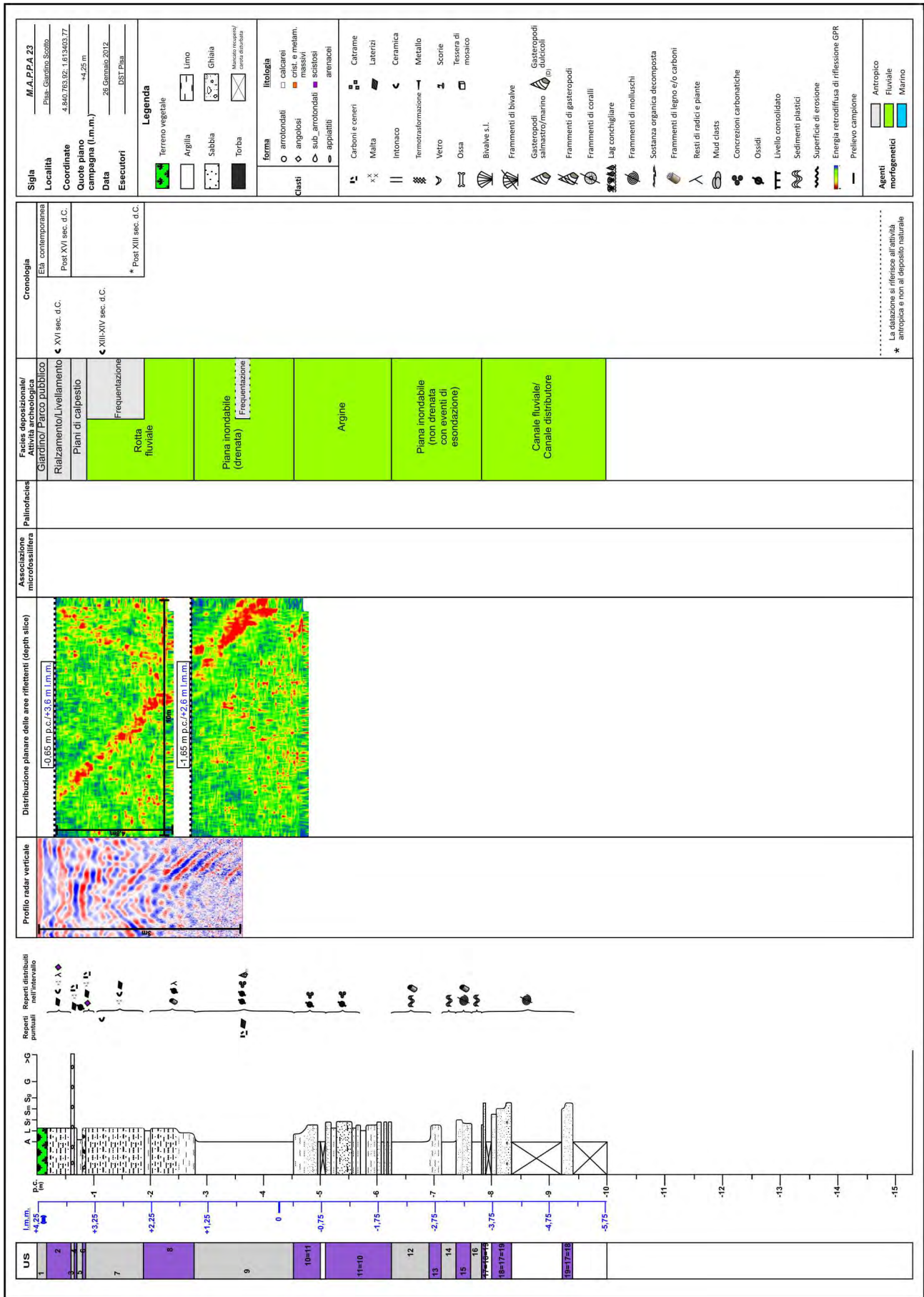


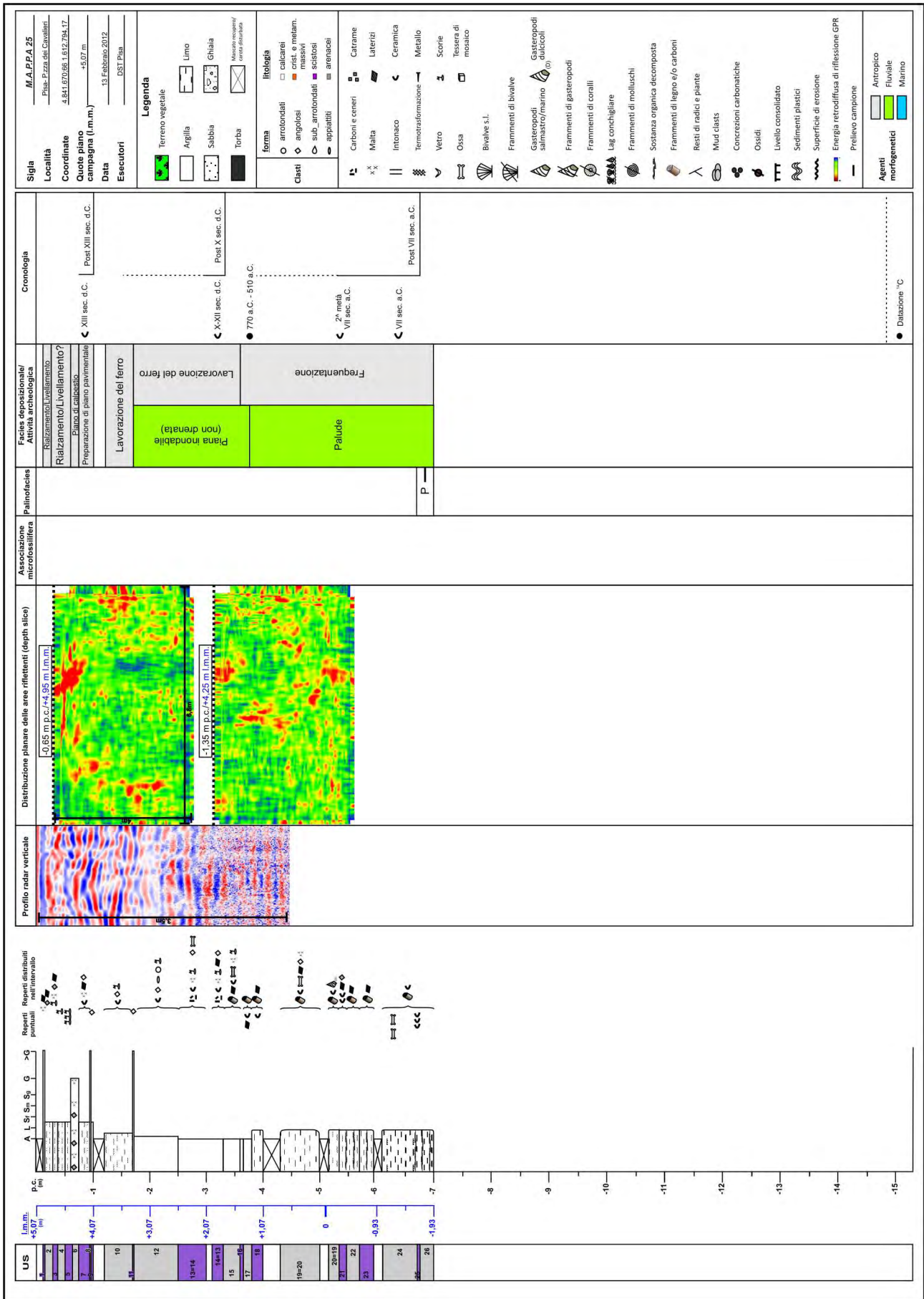


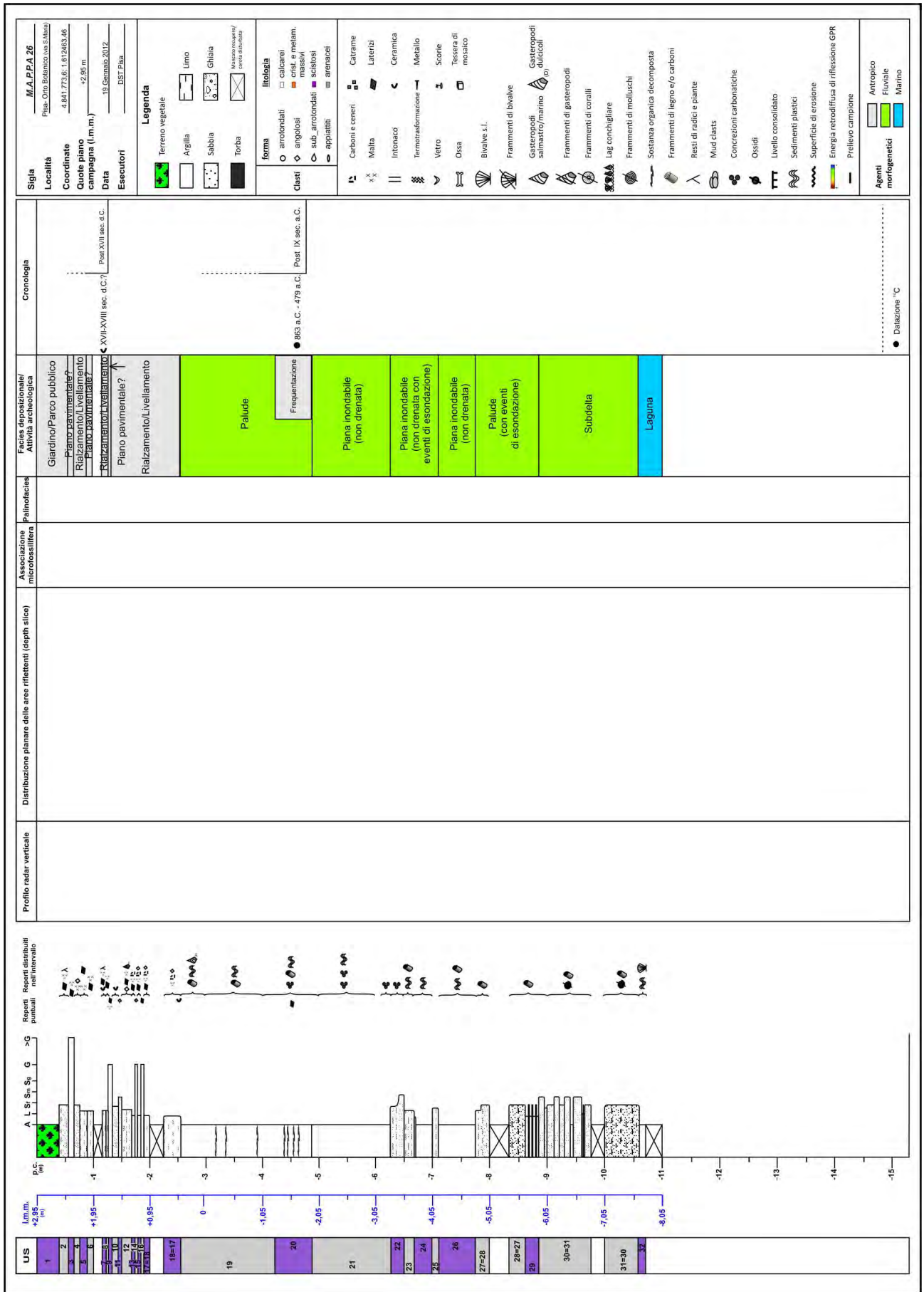


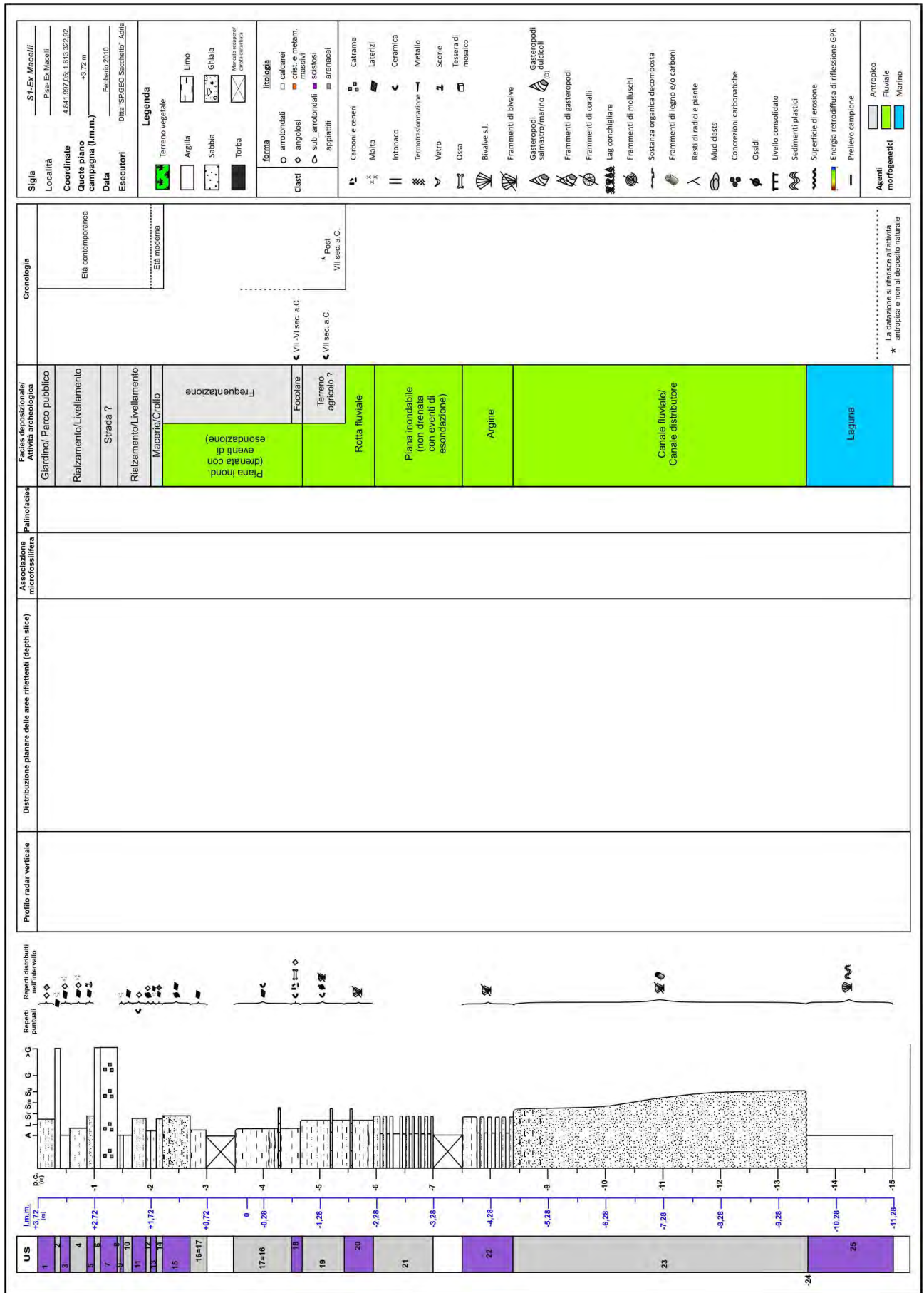




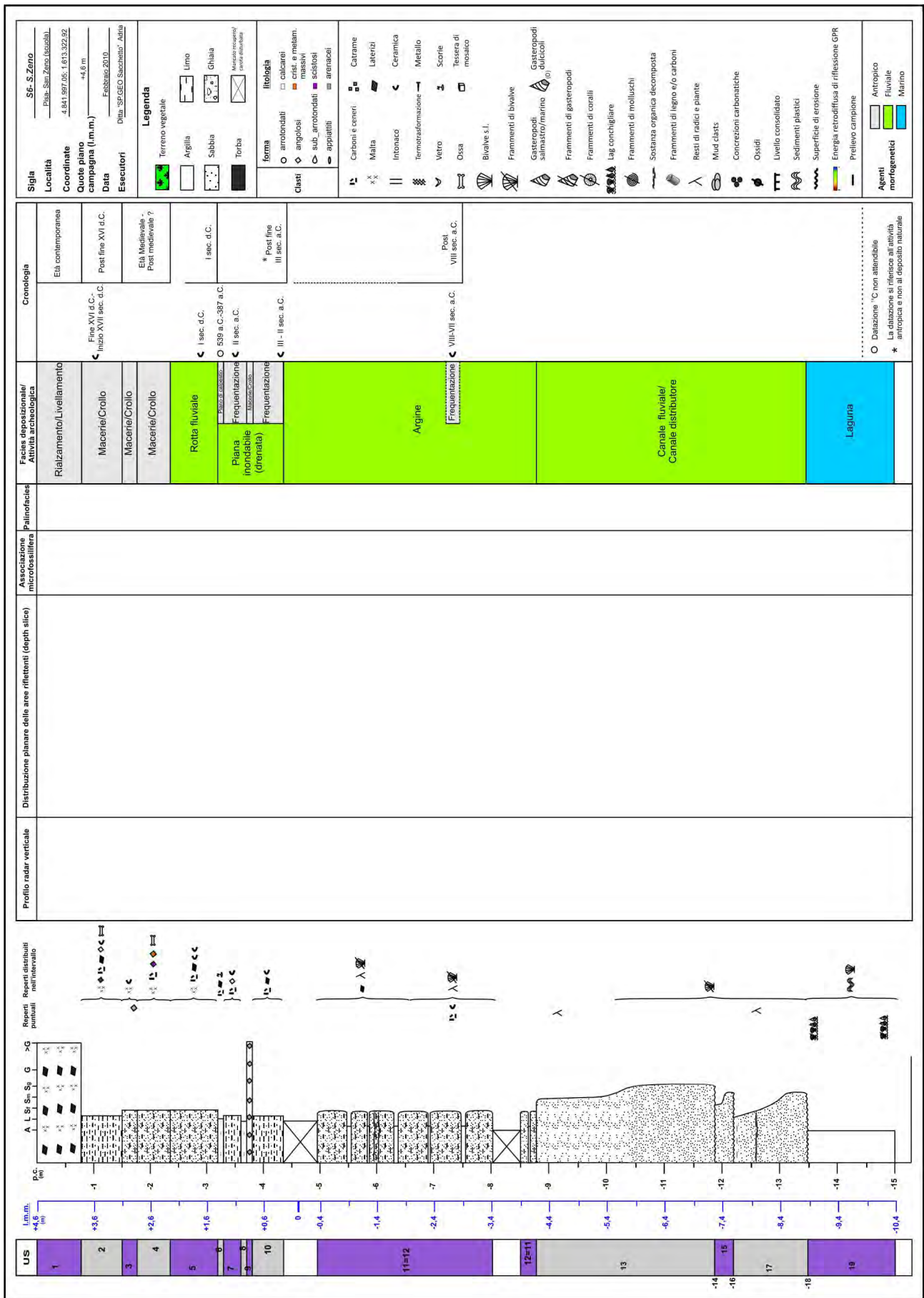












## 5. Caratterizzazione geochemica delle facies e provenienza del sedimento

Le analisi geochemiche condotte su 80 campioni prelevati in carota (M1-7) consentono di rifinire il quadro di interpretazione delle facies illustrato nel paragrafo 4. In particolare, l'utilizzo di indicatori geochemici di granulometria e composizione del sedimento fornisce un valido supporto allo studio sedimentologico delle carote, offrendo un'immagine indiretta delle caratteristiche tessiturali del deposito. Il diagramma binario Rb/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fig. 6) costituisce un esempio di caratterizzazione geochemica dell'insieme delle associazioni di facies riconosciute in carota, qui schematizzato in sette gruppi, in cui la distribuzione dei due indicatori lungo un'unica retta riflette il progressivo incremento nel contenuto in minerali argillosi all'aumentare delle due variabili.

mettersi in relazione alla forte disomogeneità tessiturale di queste due associazioni di facies, che si formano in ambienti deposizionali di bassa energia, ma all'interno dei quali possono tuttavia comunemente confluire sabbie in seguito ad eventi di tracimazione o rotta fluviale. Infine, i depositi che presentano la maggiore concentrazione di Rb e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> corrispondono ai sedimenti argillosi di laguna esterna, dominati quasi esclusivamente da processi di decantazione ed interessati da deposizione occasionale di sabbie provenienti dalle adiacenti aree di retrobarriera.

La caratterizzazione geochemica di 20 campioni prelevati in corrispondenza degli argini attuali dei fiumi Arno e Serchio ha inoltre consentito, attraverso il confronto con le analisi condotte in carota, la determinazione degli ambiti di provenienza del sedimento nell'area in studio. Questo confronto si è avvalso dell'analisi di sei ulteriori campioni, precedentemen-

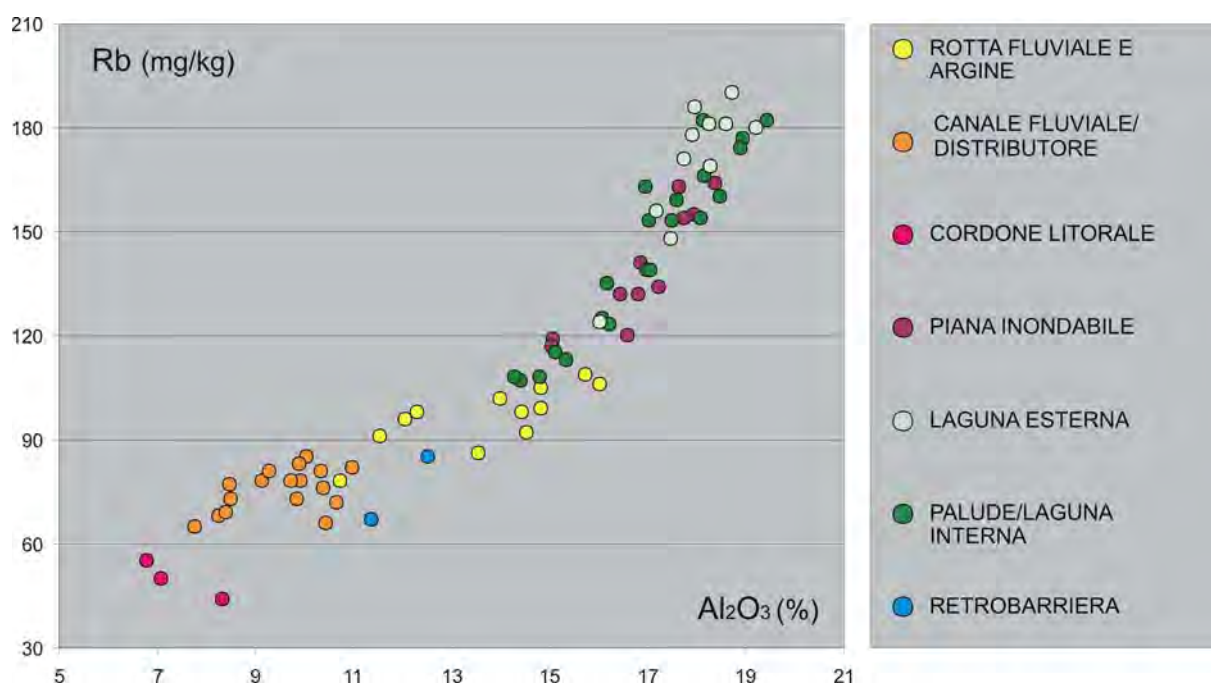


Figura 6. Diagramma binario Rb/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> che riflette i caratteri tessiturali delle associazioni di facies riconosciute in carota.

Le concentrazioni minori di Rb e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sono registrate nei campioni più grossolani, di possibile cordone litorale, seguite dalle facies sabbiose di canale fluviale/canale distributore e da quelle sabbioso-limose di argine/rotta fluviale. I campi di esistenza di queste due ultime associazioni di facies mostrano scarsa sovrapposizione (Fig. 6) a sottolineare la netta distinzione, a livello di comportamento idrodinamico, tra processi di trasporto e sedimentazione in alveo rispetto alle aree di extra-canale. La caratterizzazione geochemica è invece più sfumata per le facies fini e, in particolare, per i depositi di piana inondabile e quelli di palude/laguna interna. In entrambi i casi, il motivo dell'elevata dispersione dei punti sul diagramma binario è da

te acquisiti mediante trivellate a mano in area Serchio (AMOROSI *et alii* sottoposto a revisione). Lavori precedenti hanno evidenziato una scarsa differenziazione dei due bacini di drenaggio in termini di composizione del sedimento (DINELLI *et alii* 2005; CORTECCI *et alii* 2008). In questo lavoro è stato impiegato come possibile discriminante il diagramma binario Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs CaO, che enfatizza le differenze composizionali all'interno della frazione carbonatica del sedimento. Nel diagramma di Fig. 7, dove sono riportati per confronto i depositi di canale e rotta/argine rinvenuti in carota, è ben visibile la sovrapposizione della maggior parte dei campioni al dominio di provenienza del Fiume Arno, con quattro campioni

di argine/rotta (tre dei quali riferiti alla carota M1 ed uno alla carota M5 - Fig. 8) che riflettono invece un'alimentazione diretta dal Fiume Serchio. Il gruppo di 5 campioni di canale che plotta al di fuori di entrambi i domini di riferimento (Fig. 7), con i valori più elevati di  $Mg/Al_2O_3$  viene ricondotto, anch'esso, al Fiume Serchio. Si tratta di altri 4 campioni riferiti alla carota M1 e del campione più profondo rinvenuto nella carota M7 (Fig. 8). Il relativo arricchimento in CaO di questi depositi di canale rispetto a quelli di riferimento è probabilmente da ricondursi ad un effetto di alterazione pedogenetica (con progressiva dissoluzione del carbonato all'aumentare del tempo di esposizione subaerea) registrato dai campioni di argine attuali del Fiume Serchio, ma non dai sedimenti di alveo, sempre sommersi.

L'inserimento nello stesso diagramma binario dei campioni fini di piana inondabile e di palude/laguna

interna (Fig. 9) conferma la sostanziale attribuzione di provenienza dal Fiume Serchio dei depositi relativi alle carote M1 ed M5 (Fig. 8). L'analisi dei depositi di laguna esterna (Fig. 9), nonostante la cautela nel confronto con ambienti deposizionali molto differenti, suggerisce inoltre una possibile estensione dell'area di influenza del Fiume Serchio all'area di prelevamento delle carote M6 e M7. Infine, l'elevata quantità di campioni di piana inondabile e palude con contenuto in CaO molto basso (Fig. 9) riflette con tutta probabilità le frequenti fasi di emersione che hanno interessato l'area in esame nel corso del tardo Olocene, con conseguente pedogenesi e dissoluzione pressoché totale dei carbonati (sviluppo di paleosuoli).

(A.A., I.S.)

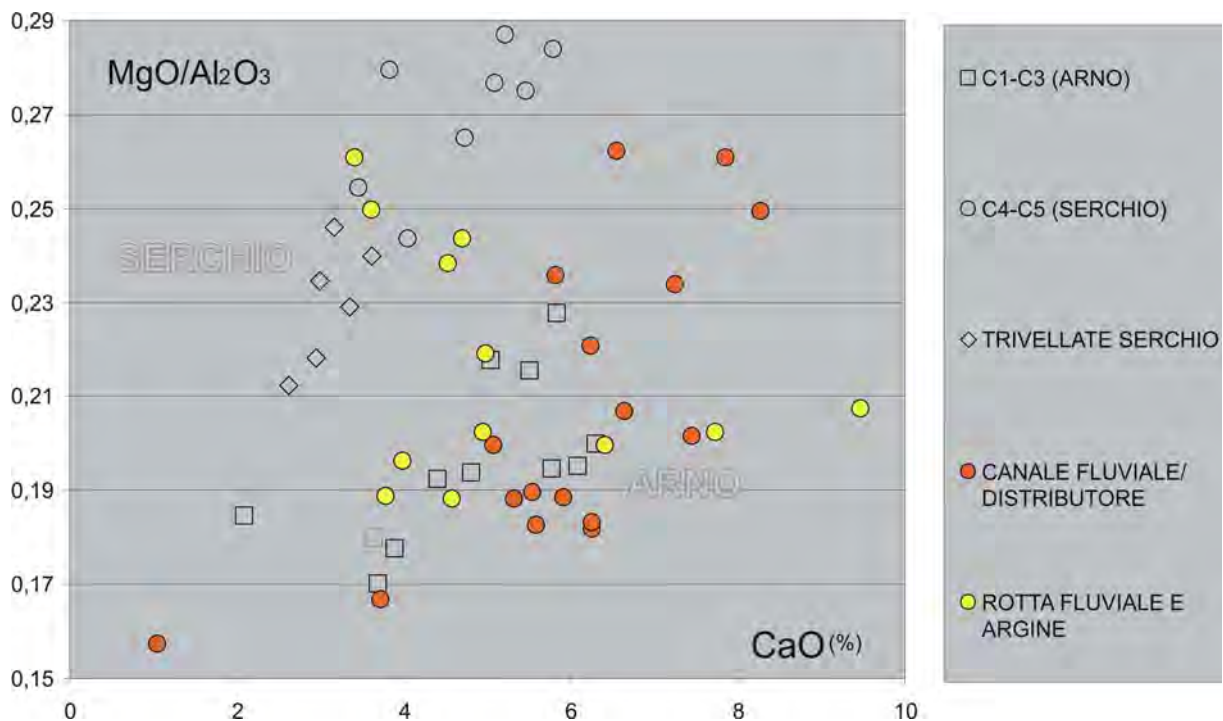


Figura 8. Confronto mediante diagramma binario  $Mg/Al_2O_3$  vs  $CaO$  tra i campioni di canale e rotta/argine fluviale prelevati in carota ed i campioni di riferimento per le aree dei fiumi Arno e Serchio.

ROTTA FLUVIALE E ARGINE	M1 1.05
	M1 8.32
	M1 9.3
	M5 5.07
CANALE FLUVIALE/ DISTRIBUTORE	M1 3.5
	M1 4.2
	M1 5.2
	M1 5.45
	M7 11.9
PIANA INONDABILE	M5 4.07
	M5 4.45
PALUDE/ LAGUNA INTERNA	M1 7.2
	M1 7.68
	M4 6.9
	M5 9.42

Figura 7. Elenco dei campioni, distinti per associazione di facies, carota e profondità di campionamento, tentativamente attribuiti ad una provenienza dal Fiume Serchio.

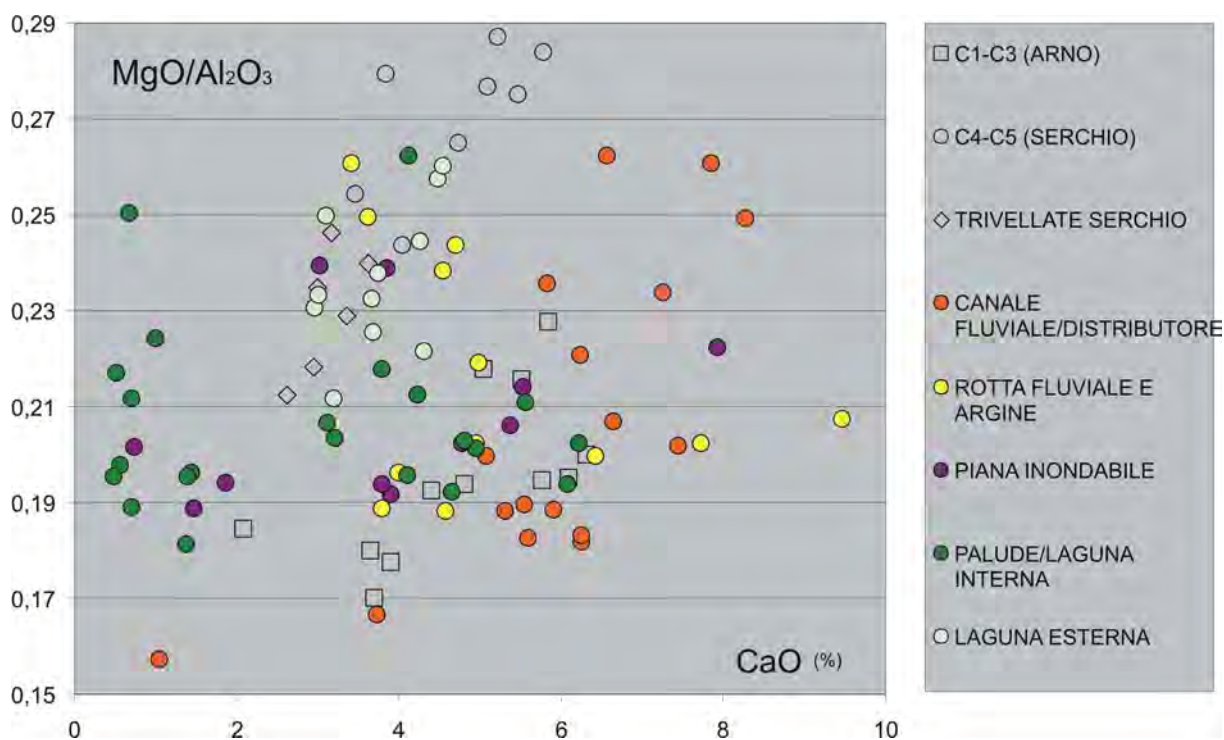


Figura 9. Confronto mediante diagramma binario  $MgO/Al_2O_3$  vs  $CaO$  tra tutti i campioni prelevati in carota ed i campioni di riferimento per le aree dei fiumi Arno e Serchio

## 6. Analisi comparata dei carotaggi: nuove indicazioni sul contesto paleoambientale e insediativo di Pisa

Lo studio interdisciplinare dei carotaggi MAPPA (cfr. § 3, 4 e 5) ha permesso di approfondire la conoscenza del contesto paleoambientale e abitativo dell'area urbana e suburbana di Pisa durante il medio-tardo Olocene, fornendo nuove informazioni sulle facies deposizionali e sul rapporto esistente fra esse e la frequentazione antropica<sup>1</sup>.

Nelle aree di carotaggio prescelte (Fig. 1) la successione di sottosuolo, come già ipotizzato nel modello deposizionale presentato in MapPaper3 (ANICHINI *et alii* 2012: 55), è composta da un'alternanza tra depositi a granulometria fine, formatisi in ambiente di palude e piana inondabile, e depositi sabbiosi dominati da facies di canale e rotta/argine fluviale. Questa successione fluviale, con uno spessore variabile tra 8 e 12 metri, sovrasta depositi di laguna secondo la scansione temporale che qui si presenta (per i riferimenti grafici alla successione di carotaggio cfr. i log stratigrafici in § 4).

<sup>1</sup> I sondaggi Vibracorer Cobra sono stati eseguiti da Federico Bertocchini, Francesco Caruso e Francesco Rinaldi. I materiali di età preromana sono stati analizzati da Fabrizio Burchianti, quelli di età romana da Claudia Rizzitelli e infine quelli di età medioevale e moderna da Gabriele Gattiglia e Francesca Anichini. I frammenti osteologici sono stati esaminati da Claudio Sorrentino.

### 6.1 Sviluppo della laguna (6000-3600 a.C. circa)

Un orizzonte di argille lagunari estremamente plastiche caratterizza la base dei sondaggi a carotaggio continuo, eccetto M4, e di alcuni dei Vibracorer Cobra più profondi, mostrando una meiofauna tipicamente salmastra (gruppo B) accompagnata da palinomorfi sia continentali che marini (palinofacies L). Studi recenti documentano per queste argille di ambiente lagunare, note localmente come "pancone", un'ampia distribuzione areale che si estende dai Monti Pisani fino ai cordoni dunari affioranti, entro un intervallo stratigrafico compreso fra i 30 e i 9 m di profondità sotto il livello del mare (AMOROSI *et alii* 2008; ROSSI *et alii* 2011). Nonostante la cautela nel confronto fra ambienti deposizionali differenti (cfr. § 5), le analisi geochemiche effettuate sui carotaggi M1-7 suggeriscono una doppia alimentazione del bacino lagunare con contributi sia da parte del Fiume Arno sia del Fiume Serchio.

Dati di letteratura indicano che lo sviluppo di questa ampia area lagunare avvenne fra i 6000 ed i 4000 anni a.C., corrispondenti a circa 8000-6000 anni fa calibrati (BENVENUTI *et alii* 2006; AMOROSI *et alii* 2008), durante il momento di massima ingressione marina olocenica e la prima fase di stazionamento alto del livello del mare. L'età di 4000 anni a.C. è stata ricavata unicamente da una datazione effettuata al tetto del "pancone" eroso da un canale nella zona del sito archeologico di San Rossore (BENVENUTI *et alii* 2006). La datazione al radiocarbonio effettuata su un campione prelevato a ca. 75 cm dal tetto non ero-

so delle argille lagunari nel carotaggio M1 consente di inquadrare le ultime fasi di esistenza della laguna nell'area a nord di Pisa ad un'età di ca. 3650 anni a.C.

## 6.2 Prime fasi di riempimento della laguna (3600-1900 a.C. circa)

Successivamente, nell'arco temporale compreso fra circa 3600 e 1900/1600 anni a.C., la laguna evolve con dinamiche deposizionali differenti nelle diverse aree della pianura, come emerge dai siti indagati. Nei carotaggi MAPPA sono registrati, infatti, due principali motivi stratigrafici che si impostano sul "pancone": sovrapposizione in continuità stratigrafica di depositi sabbiosi di subdelta e/o depositi fini palustri e sovrapposizione in discontinuità, tramite superficie erosiva, di depositi di canale.

Nella maggior parte dei carotaggi (M3; M4; M5; M8; M9; M16; M17 e M19) un progressivo colmamento della laguna è documentato dalla presenza di sedimenti argilloso-limosi in facies palustre, al di sopra del "pancone" o alla base della successione in esame. Questi depositi sono caratterizzati da abbondanti fitoclasti e palinomorfi continentali (palinofacies P) e dall'assenza di una meiofauna autoctona che suggerisce, in accordo con le analisi palinologiche (cfr. § 3.2.), lo sviluppo di paludi povere in ossigeno, quasi anossiche, e probabilmente acide. Al contrario, evidenze di progradazione in laguna di corpi sabbiosi di subdelta, a loro volta sormontati da sedimenti palustri, sono riconosciute esclusivamente in tre carotaggi: M1; M2 e M26.

A profondità comparabili rispetto ai depositi palustri e di subdelta (da circa -8 m a -3 m sul livello del mare) sono presenti, in corrispondenza dei carotaggi M6; M7; M10; M18; M23; S1 e S6, depositi in facies di canale a testimoniare la presenza di paleocorsi fluviali. In corrispondenza dei carotaggi più profondi (M6; M7; S1 e S6) la successione di canale arriva addirittura ad erodere i sottostanti depositi lagunari.

Ad eccezione del carotaggio M7, che sarà discusso in seguito, questi corpi di canale assieme ai depositi di palude e subdelta documentano verosimilmente le prime fasi di riempimento della laguna avvenute nell'area in esame al passaggio fra il medio e il tardo Olocene, in accordo con le datazioni disponibili<sup>2</sup>. L'analisi geochimica effettuata su questi sedimenti

---

<sup>2</sup> L'attività dei singoli paleocorsi fluviali è difficilmente databile con precisione, poiché i materiali presenti nella successione di canale sono evidentemente trasportati. Ad esempio, in M6 sono disponibili due datazioni al radiocarbonio effettuate su gusci di cardidi prelevati entro la porzione inferiore della successione di canale (cfr. log M6 in § 4.). Tali datazioni forniscono un'età compresa fra ca. 3500 e 3050 anni a.C., che risulta essere poco più recente di quella ottenuta per la porzione superiore del "pancone" in M1. È possibile, dunque, che i gusci analizzati provengano dal tetto del "pancone" eroso. Difficilmente inquadrabili appaiono perciò anche i piccolissimi frammenti ceramici rinvenuti nel deposito di canale, che devono comunque essere anteriori alla chiusura del canale stesso avvenuta prima del 1700 a.C., come attesta la datazione al radiocarbonio effettuata sui sovrastanti depositi di palude.

ha consentito di discriminare due differenti ambiti di provenienza sedimentaria, evidenziando la presenza simultanea di paleocorsi e aree extra-canale attribuibili ai fiumi Arno e Serchio. Nello specifico, all'interno di un generale panorama di provenienza Arno, è stato possibile riconoscere un'alimentazione da parte del Serchio nei depositi di subdelta e nei sovrastanti depositi palustri del carotaggio M1.

## 6.3 Passaggio alla pianura alluvionale e diffusione della frequentazione antropica tra l'età protostorica e l'età arcaica (1900-481 a.C. circa)

La successiva transizione ad un sistema deposizionale prettamente alluvionale è evidenziata dalla comparsa, nei livelli stratigrafici superiori (fra circa -3 m e 0 m sul livello del mare) della maggior parte dei carotaggi (M3; M4; M5; M8; M10; M15; M16; M17; M18; M19; M23 e M26), di un deposito di piana inondabile prevalentemente non drenata, talvolta soggetta a eventi di esondazione. Questo deposito è contraddistinto da una consistenza plastica e da una palinofacies continentale (palinofacies A) talvolta accompagnata da meiofauna oligalina-dulcicola (gruppo F). Datazioni al radiocarbonio disponibili in prossimità del limite inferiore e superiore di una successione continua di piana non drenata (M10) consentono di inquadrare questo ambiente deposizionale fra 1900 e 500 anni a.C. circa.

Testimonianza di precoce emersione della piana inondabile è documentata in M2, M3 e M9 dove è presente, già a partire da circa -2 m (M2 e M3) e -3 m (M9) sul livello del mare, la transizione da depositi di piana non drenata a depositi di piana drenata, con evidenze di esposizione subaerea. Questi ultimi, in M9, sono a loro volta sormontati da sedimenti palustri datati alla base attorno al VI sec. a.C. (datazione al radiocarbonio).

Depositivi di rotta o argine fluviale intercalano o sovrastano la successione di piana inondabile in M5; M10; M17; M18; M19 e M23. In M5 tali depositi mostrano una chiara alimentazione Serchio.

Localmente (M6; M18; M19; M25 e M26) sono inoltre documentati, entro questo intervallo deposizionale, depositi di palude presumibilmente sviluppatasi in prossimità di un paleocanale in risposta alla ordinaria migrazione e dinamica fluviale (backswamp).

Nel medesimo intervallo stratigrafico sono presenti, esclusivamente, depositi sabbiosi di rotta in M7 e depositi di canale distributore/fluviale in M1 e M2<sup>3</sup> a testimoniare la presenza, continua nel tempo, di un canale in prossimità (M7) o esattamente in corrispondenza (M1 e M2) dei siti indagati. Ad una profondità di ca. -9 m rispetto al livello del mare si registra in M7 la presenza di un canale fluviale che incide direttamente il "pancone". Le datazioni al radiocarbonio disponibili in M7 entro questi depositi e nella successione di piana non drenata sovrastante indicano

---

<sup>3</sup> In M2 l'interpretazione di facies di canale è al momento ipotetica e necessita di ulteriori analisi, fra le quali quelle malacologiche, attualmente in progress.

che il canale, inizialmente di provenienza Serchio e poi Arno (cfr. § 5.), ha insistito in corrispondenza del sito durante un intervallo temporale compreso fra ca. 1050 e 750 anni a.C. Queste datazioni evidenziano un hiatus temporale di entità notevole (ca. 2500 anni) al passaggio fra le argille lagunari e le sabbie di canale.

Nell'ultimo stadio di questa fase evolutiva della pianura si fanno gradualmente più frequenti le testimonianze della frequentazione antropica che lascia tracce nei diversi contesti ambientali, suggerendo tipologie insediative differenti.

### 6.3.1 Frequentazione delle aree umide palustri

Nell'area di Piazza dei Cavalieri (M25) da -2 m (base sondaggio) fino a +1,3 m sul livello del mare sono presenti depositi limoso-argillosi, di colore grigio scuro/nerastro e ricchi in sostanza organica, formati in un ambiente di palude che reca tracce evidenti di una frequentazione intensa da parte dell'uomo, probabilmente insediato nelle immediate adiacenze (Fig. 10). La palinofacies che caratterizza il campione prelevato alla base della successione carotata, a circa -1,7 m sul livello del mare, mostra caratteristiche intermedie fra quelle tipiche di un ambiente palustre e di un ambiente alluvionale, che ben si accordano con un'area interessata da un impaludamento effimero. In particolare, gli strati US 25 e 24<sup>4</sup> attestati tra -1,7 m e -1 m sul livello del mare restituiscono un elevato numero di frammenti ceramici, in bucchero e in impasto databili complessivamente al VII secolo a.C. e frammenti ossei di pecora, verosimilmente riferibili alle attività domestiche e a resti di pasto. La frequentazione continua nelle US 23, 22 e 21<sup>5</sup>; i materiali di quest'ultima sembrano meglio inquadrabili nella seconda metà del VII secolo a.C.. Il sedimento che caratterizza queste unità stratigrafiche appare tessituralmente eterogeneo, indicando una consistente rielaborazione da parte dell'uomo del sedimento naturale.

Tali caratteristiche ricorrono anche nella parte superiore di questo deposito, tra le US 20 e 18<sup>6</sup>; un campione di sostanza organica dall'US 18 fornisce una datazione al radiocarbonio compresa tra il 770 e il 510 a.C., indicando nella media degli anni un'età in-

4 US 25 (VII sec. a.C.) Ceramica: 2 fr. di coppa in bucchero settentrionale (metà VII-primi quarti VI sec. a.C.); 1 fr. in bucchero locale; 2 fr. di olla da fuoco in impasto (VII-VI sec. a.C.); 2 fr. che attaccano di una forma chiusa in bucchero (prima metà VII sec. a.C.).

US 24 (VII sec. a.C.) Ceramica: 1 fr. di ansa a nastro di kyatos in bucchero decorato a falsa cordicella (metà VII-terzo quarto del VII sec. a.C.); 2 fr. di olla di impasto (VII-primi quarti VI sec. a.C.). Ossi: terzo molare inferiore destro di pecora; 2 fr. di mandibola di pecora; 3 fr. non id. di pecora.

5 US 21 (seconda metà VII sec. a.C.) Ceramica: 1 fr. di coppa con orlo rientrante in impasto fine (prima metà VII sec. a.C.); 6 fr. di olletta di impasto, di cui 1 ingubbiato (VII-VI sec. a.C.).

6 US 19=20 Ceramica: 2 fr. di impasto; 1 fr. di coppa di impasto mal cotto; 2 fr. in impasto grezzo, parete e orlo di olla. Ossi: 1 fr. di osso lungo non id. US 18 uno scarto ceramico vetrificato.

torno al VII secolo a.C., coerente con i dati archeologici.

Nella vicina Piazza Santa Caterina (M19) i depositi di palude presentano tracce di frequentazione documentata da ceramica databile fra il VII e il V secolo a.C.<sup>7</sup>. Un campione prelevato a 0,25 m sopra il livello del mare mostra un'elevata concentrazione di frammenti di legno di forma spigolosa, riconducibile forse a un taglio operato dall'uomo.

Nell'area dell'Orto Botanico (M26), sulla piana inondabile non drenata sono presenti depositi di palude databili alla base, tramite radiocarbonio, a 836-479 a.C. che, nella media, rimandano a una generica età arcaica. Quest'ultimo ambiente appare episodicamente frequentato, come attestano i piccoli frammenti laterizi rinvenuti ad una profondità compresa fra -1,75 m e -1,35 m sul livello del mare, in corrispondenza di un accumulo di sostanza organica carboniosa.

Frequentazioni di aree palustri intorno al VI secolo a.C. (datazione al radiocarbonio) sono testimoniate anche nell'area della SBAT (M9) e in Via Bonanno Pisano (M6)<sup>8</sup>.

### 6.3.2 Frequentazione della piana inondabile non drenata

La piana non drenata appare frequentata intorno al VI secolo a.C. nell'area del Dipartimento di Scienze della Terra (M8)<sup>9</sup>, nell'area del Tribunale (M10) (la datazione è offerta dai materiali ceramici<sup>10</sup> e da analisi al radiocarbonio) e Piazza Santa Caterina (M19). In quest'ultima zona, al passaggio fra l'ambiente di palude e la piana inondabile non drenata, alcuni frammenti di concotto suggeriscono l'esistenza di una capanna genericamente databile fra VII-V secolo a.C.<sup>11</sup>.

### 6.3.3 Frequentazione delle aree in prossimità di un canale (argine e rotta fluviale)

Nell'area degli ex-Macelli (S1), frammenti ceramici sparsi, forse riferibili allo svolgimento di attività agricole e complessivamente databili intorno al VII secolo a.C.<sup>12</sup>, caratterizzano il tratto superiore di un deposito di rotta fluviale, rimasto in esposizione per il tempo

7 US (20=21) Ceramica: 1 fr. di una forma chiusa prossima al fondo in comune semidepurata, l'esterno presenta una leggera scialbatura; 1 fr. di dolio di impasto a scisti ipercotto, con superficie interna lisciata (probabilmente VII sec. a.C.).

8 US 3 Ceramica: 1 fr. di olla di impasto mal cotto (VII-VI sec. a.C.).

9 US 7=8 Ceramica: 1 fr. di parete di impasto (VI sec. a.C.).

10 US 10 Ceramica: 1 fr. di fondo ad anello di coppetta acroma (VI-III sec. a.C.). US 9 Ceramica: 1 fr. di parete di olla di impasto grezzo (VII-VI sec. a.C.).

11 US 19 Ceramica: 1 fr. di impasto a scisti (VII-V sec. a.C.). 4 fr. di argilla con numerosi vacuoli lasciati da elementi vegetali (rivestimento di incannicciata).

12 US 19 (VII sec. a.C.) Ceramica: 1 fr. di parete di ceramica a scisti (fine VII-II sec. a.C.); 4 fr. di olle di impasto (VII-VI sec. a.C.); 1 fr. di parete di impasto fine (VII sec. a.C.); 1 fr. di parete acroma non id.



Figura 10. Il carotaggio M25 di Piazza dei Cavalieri; nel riquadro il dettaglio dei depositi palustri con tracce di frequentazione.

necessario ad avviare processi di ossidazione. Sulla superficie del deposito (probabile piano di calpestio) si deposita uno strato costituito dalla concentrazione di pietre, ceramica, frammenti di olle da fuoco e due grossi frammenti di ossa (un'ala di bacino e un'estremità prossimale di radio sinistro di maiale<sup>13</sup>), che può essere interpretato come focolare o traccia di attività legate alla preparazione e al consumo dei pasti. La ceramica databile al VII-VI secolo a.C. fornisce un inquadramento cronologico per questa forma di insediamento.

Nell'area di San Zeno (S6), la frequentazione di un argine fluviale è documentata dalla presenza di un frammento di ansa di olla databile tra la fine dell'VIII e il VII secolo a.C.<sup>14</sup>.

Più incerta risulta invece l'attribuzione cronologica della frequentazione testimoniata dal rinvenimento di materiali metallici<sup>15</sup> e lignei al passaggio tra i depositi di rotta fluviale e i sovrastanti depositi di piana inondabile a nord-est della città, in Via Quasimodo (M5), e della frequentazione documentata a nord della città in Via Galluppi (M18).

#### 6.4 Lo sviluppo dell'insediamento nel contesto della pianura alluvionale

La progressiva aggradazione della pianura alluvionale determina una generale esposizione subaerea, come dimostra la presenza, a partire da quote intorno allo zero sul livello del mare, di depositi fini con evidenze di ossidazione, tipici di piana inondabile drenata, nel centro storico di Pisa (S. Zeno-S6, Dipartimento di Scienze della Terra-M8 e giardino Scotto-M23) e nelle zone immediatamente esterne (M2; M3; M4; M5; M6 e M18). Questi depositi mostrano un generale contesto di alimentazione Arno, ad eccezione della porzione inferiore della successione di piana presente a nord-est della città in M5, dove le analisi geochimiche evidenziano una provenienza affine al Fiume Serchio (cfr. § 5.).

Il processo di aggradazione della pianura, pur mostrando una generale tendenza a svilupparsi a partire dalla fine dell'età arcaica, non appare sincrono in tutta l'area in esame, probabilmente a causa di paleomorfologie locali legate all'attività di canali fluviali. In alcune aree il fenomeno sembra svilupparsi più precocemente, come ad esempio nell'area della SBAT-M9 (cfr. § 6.3.), in altre invece non risulta mai compiutamente realizzato (presso il Tribunale-M10; Piazza S. Caterina-M19 e Piazza dei Cavalieri-M25).

13 US 18 (VII-VI sec. a.C.) Ceramica: 2 fr. di orlo di olle da fuoco in impasto fine (VII-VI sec. a.C.); 1 fr. di parete acroma. Ossi: 1 fr. di ala di bacino di maiale; 1 fr. di estremità prossimale di radio sinistro di maiale (potrebbero appartenere ad un unico individuo).

14 US 11 Ceramica: 1 fr. di ansa orizzontale di olla di impasto (fine VIII-VII sec. a.C.).

15 US 8 Metallo: asta in ferro a sezione circolare spezzata a un'estremità e con terminazione a punta all'altra estremità. Lunghezza conservata 35 cm ca.; diametro max 0,5 cm. Punta a sezione triangolare, ribattuta a martello. Appare ripiegata almeno 3 volte.

Localmente sedimenti sabbiosi di esondazione e/o di rotta fluviale intercalano i depositi di piana inondabile a nord dell'Arno, in particolare nelle sue immediate adiacenze (zona ex Macelli-S1; via Luschi-M17; giardino Scotto-M23) e in Via Galluppi (M18). Depositati di rotta fluviale sono presenti anche poco a sud dell'Arno in corrispondenza di Via della Nunziatina (M7) e in Via Livornese (M3).

Fenomeni di ristagno, in ambiente di piana drenata, sono registrati fuori dal centro storico in Via Quasimodo (M5), mentre in corrispondenza dell'Orto Botanico (M26) e della SBAT (M9) continuano a persistere aree impaludate formatesi durante il precedente intervallo cronologico e in seguito colmate, nel caso di M9, da depositi di rotta fluviale.

La presenza di depositi di canale fluviale, inquadrabili entro questa fase evolutiva, è documentata a nord del centro storico di Pisa nel carotaggio M1 e a sud dell'Arno in località Putignano (M15). Nel primo caso (M1) tali depositi mostrano un'alimentazione Serchio (cfr. § 5.).

La pianura alluvionale costituisce, dunque, il contesto ambientale in cui si sviluppa l'insediamento, le cui tracce, riscontrate nei diversi ambienti, sono di seguito descritte seguendo la successione delle fasi storiche. In alcuni casi, tuttavia, mancano riferimenti cronologici per attribuire con sicurezza ad un preciso periodo la frequentazione avvenuta su depositi di piana inondabile drenata, ubicati in aree diverse del suburbio (M5; M16 e S1). A partire dall'età medievale, ma in modo ancor più marcato dall'età moderna, la stratificazione antropica tende a obliterare pressoché totalmente i depositi naturali.

##### 6.4.1 L'età classica ed ellenistica (480-90 a.C.)

Tracce di frequentazione riferibili a questo ampio arco cronologico sono riscontrabili, seppur in contesti ambientali leggermente differenti, in due aree fra loro molto vicine e ubicate nel settore nord del centro storico: Piazza S. Caterina (M19) e S. Zeno (S6). Nel primo caso la frequentazione si è prolungata su depositi di piana inondabile non drenata fino alla piena età romana<sup>16</sup>, mentre nella zona di S. Zeno è avvenuta in un contesto di piana drenata. Nello specifico, in quest'ultimo sito, un sottile strato costituito esclusivamente da grosse pietre di arenaria e da un frammento di coppo, segnala forse la presenza del crollo di una struttura che doveva sorgere nelle vicinanze. Le ceramiche databili fra la fine del III e il II secolo

16 US 17=18 Ceramica: 8 fr. di ceramica di impasto a scisti più o meno depurato: 1 fondo piatto, 1 orlo di olla da fuoco con orlo a sezione triangolare, 5 pareti; 1 spalla di olla con cordonatura (V-IV secolo a.C.); 1 fr. di vasca di coppa in ceramica figulina (V secolo a.C.). Ossi: 1 punta di corno di capriolo; 1 fr. non id. US 16 Ceramica: 2 fr. di anfora africana; 2 fr. di olla semidepurata da fuoco pertinenti a forma chiusa; 1 fr. di impasto grossolano con grossi inclusi litici, probabilmente quarzi (primo ellenismo, IV-III secolo a.C.). Ossi: 1 fr. di vertebra di caprovino; 1 fr. di dente di erbivoro molto vecchio; 1 fr. di cranio di caprovino.



a.C., presenti negli strati immediatamente anteriori<sup>17</sup> e posteriori<sup>18</sup>, permettono di inquadrare la frequentazione dell'area in questo ambito cronologico.

Nella zona non distante di Piazza dei Cavalieri (M25), pur essendo presenti materiali residuali di età ellenistica e tardo repubblicana<sup>19</sup>, mancano chiare evidenze di una stratificazione riferibile a questo intervallo cronologico. Un sottile livello di piana non drenata (US 17<sup>20</sup> e US 16), direttamente sovrapposto in continuità di sedimentazione sui depositi di palude di età arcaica (cfr. § 6.3.1), risulta frequentato in un momento storico imprecisabile prima che su di esso si formi una stratificazione di età medievale. Dato l'ampio intervallo cronologico considerato e il limitato spessore del livello, non è possibile escludere eventuali interventi antropici che abbiano asportato porzioni del deposito.

#### 6.4.2 L'età romana e tardo antica (89 a.C.-600 d.C.)

Nell'area nord del centro storico, fra S. Zeno (S6) e Piazza S. Caterina (M19), negli stessi contesti ambientali della fase precedente, rispettivamente piana inondabile drenata e non drenata, sono presenti piani di calpestio più o meno strutturati. A S. Zeno si tratta di uno strato molto compatto (US 6), costituito da una matrice limosa molto scura, ricca di carboni, laterizi e scorie; potrebbe trattarsi di un piano di calpestio relativo ad un'area in cui si svolgono attività produttive. Pur in assenza di elementi di datazione diretta, lo strato si colloca verosimilmente al passaggio fra il I secolo a.C. e il I secolo d.C. sulla base della datazione fornita dagli strati anteriori (cfr. § 6.4.1)<sup>21</sup> e posteriori. Nella zona di Piazza S. Caterina, al di sopra di un sottile livello di piana contenente anche materiali residuali, che complessivamente suggeriscono una frequentazione nella prima età imperiale<sup>22</sup>, è presente un livello di macerie. Queste sono sostanzialmente composte da frammenti di intonaco dipinto di rosso (Figg. 11 e 12), reimpiegati forse come preparazione

17 US 10 (fine III-II secolo a.C.) 1 fr. di orlo tazza Morel 3131, Campana A (fine III-ultimo quarto II secolo a.C.); 1 fr. di piede Campana A (fine III-II secolo a.C.).

18 US 7 (II a.C.?) Ceramica: 1 fr. di parete di anfora non id.; 1 fr. di parete da fuoco; 1 fr. di vernice nera Campana A (II secolo a.C.).

19 Cfr. i materiali di US 13=14 e 12 della piazza dei Cavalieri presentati in 6.4.3.

20 US 17 Ceramica: 1 fr. di olla in impasto ingubbiato semi-depurato.

21 US 5 (I secolo d.C.) Ceramica: 6 frr. di sigillata italica (I secolo d.C.); 4 frr. di olla da fuoco: un orlo bifido, un orlo triangolare, 2 frr. di parete (I-II secolo d.C.); 2 frr. di pareti sottili di cui uno decorato a rotella (I secolo d.C.); 6 frr. di parete di anfora di cui 4 forse africana; 1 fr. di fondo di comune; 28 frr. non id. Ossi: 1 fr. di radio di pecora.

22 US 14 Ceramica: 1 fr. a pareti sottili; 1 fr. di orlo di patera a orlo estroflesso a vasca bombata o poco profonda in Campana A, Serie Morel 1310 (dal III fino alla prima metà del II secolo a.C.). Ossi: 1 fr. di costola; 1 fr. non id.

US 15 Ceramica: 1 fr. di becco di lucerna (età imperiale).

per un piano pavimentale, se può essere interpretato come tale il sovrastante strato di malta e pietre (Fig. 13). La presenza di un pavimento è confermata dalla distribuzione planare delle aree riflettenti derivanti dall'analisi georadar, che mostra tracce di strutture a questa stessa quota.

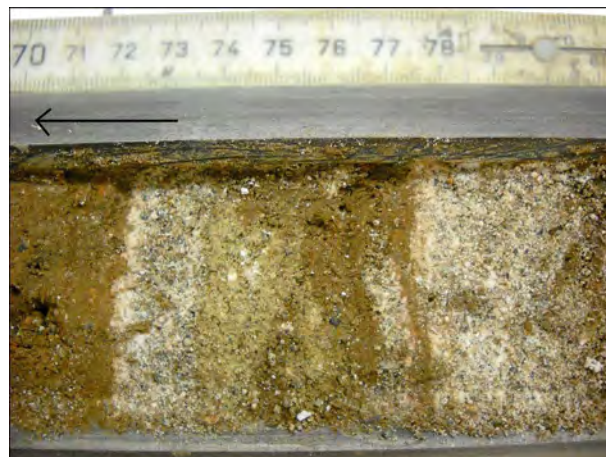


Figura 11. Santa Caterina (M19). Dettaglio dello strato di intonaci (US 13).



Figura 12. Santa Caterina (M19). Frammento di intonaco con la superficie dipinta di rosso.

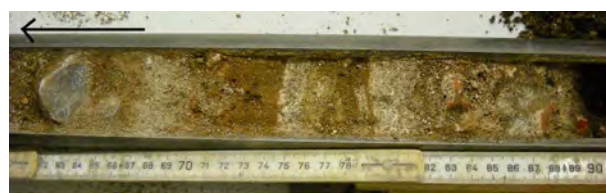


Figura 13. Santa Caterina (M19). Frammenti di intonaco dipinto, forse reimpiegati come preparazione per un possibile piano pavimentale di malta e pietre.

Poco più a nord, immediatamente all'esterno del centro storico (Via Galluppi-M18), tracce di frequentazione sono suggerite dalla presenza di materiali ceramici<sup>23</sup> entro depositi alluvionali di piana inondabile drenata. E' possibile inoltre che la superficie del deposito, a circa +2,4 m sul livello del mare, abbia costituito un piano di calpestio; la distribuzione planare delle aree riflettenti evidenzia, proprio attorno a questa quota, la presenza di strutture.

Nei due carotaggi prossimi al corso attuale dell'Arno, alla fine di Via S. Maria (SBAT-M9) e nell'area del Tribunale (M10), evidenze di frequentazione sono ancora una volta testimoniate dalla presenza di sporadici frammenti ceramici, rispettivamente entro depositi di rotta fluviale e al passaggio fra sedimenti fini di piana drenata e sabbie di rotta. E' opportuno tuttavia segnalare che le ceramiche in M9<sup>24</sup> potrebbero essere residuali, poiché la datazione al radiocarbonio al tetto dello stesso deposito rimanda ormai ad una piena età medievale. In M10 un frammento di ceramica a vernice nera rinvenuto nella porzione superiore della piana non drenata, al passaggio con la sovrastante rotta fluviale, potrebbe suggerire un termine *post quem* alla tarda età repubblicana per la sua frequentazione.

Nell'area suburbana, ad ovest della città (via Mafalda di Savoia-M2), immediatamente al di sotto di un livello organico datato tramite radiocarbonio al VII sec. d.C., sono presenti depositi di piana drenata con tracce di rielaborazione antropica, forse dovute ad una attività agricola, e un orizzonte di esposizione subaerea verosimilmente inquadrabili entro una generica età romana o tardoantica.

### 6.4.3 L'età medievale (601-1491 d.C.)

In continuità rispetto all'intervallo precedente, evidenze di rielaborazione antropica, imputabili ad attività agricole e databili a partire dal VII secolo d.C., sono documentate nell'area suburbana (via di Mafalda di Savoia-M2) entro depositi di piana drenata.

Nel centro storico, la frequentazione di età medievale rilevata attraverso i carotaggi interessa frequentemente depositi di argine e di rotta fluviale. In Via della Nunziatina (M7), poco a sud dell'Arno, i depositi di argine frequentati sono datati, tramite analisi al radiocarbonio, all'XI secolo d.C.; a nord del fiume (M9; M10 e M23) la frequentazione medievale è attestata in analoghi contesti di rotta fluviale. Al giardino Scotto (M23) i materiali forniscono un termine *post quem* al XIII-XIV secolo<sup>25</sup>, mentre la distribuzione planare delle aree riflettenti derivanti dall'analisi georadar mostra la presenza di una struttura muraria alla quota di +2,6 m sul livello del

23 US 8=9 Ceramica: 1 fr. di vernice nera; 1 fr. di sigillata italiana; 3 frr. di acroma.

24 US 16 Ceramica: 3 frr. di pareti di olle da fuoco di impasto; 1 fr. di vernice nera, Campana A (II-inizi I secolo a.C.); 1 fr. di orlo di brocchetta in ceramica comune (tarda Repubblica-prima età imperiale).

25 US 7 Ceramica: 1 fr. di parete di boccale (XIII-XIV secolo).

mare; nell'area della SBAT (M9), dove nei sedimenti sono presenti pietre di scisto, nuclei di malta e frammenti di osso<sup>26</sup>, la datazione al radiocarbonio del materiale organico al tetto del deposito indica per la sua formazione un'età attorno al XIII secolo d.C.; al Tribunale (M10), infine, alla frequentazione del deposito di rotta<sup>27</sup> segue un livello di rialzamento/livellamento realizzato posteriormente al XIII secolo<sup>28</sup>.

Nell'area di Piazza dei Cavalieri (M25), in un contesto di piana non drenata, la diffusa presenza di scorie, a partire dalla quota di +1,50 m circa sul livello del mare, suggerisce l'inizio dell'attività di lavorazione del ferro che, come indica lo spessore del deposito, si protrae nel tempo. Se mancano elementi cronologici per le fasi iniziali di tale attività<sup>29</sup>, un più chiaro riferimento cronologico compare, a partire dalla quota di +1,95 sul livello del mare, con ceramica databile tra X e XII secolo<sup>30</sup>. Tra +4,07 e +4,30 m sul livello del mare si succedono alcuni strati di preparazione per un probabile piano di calpestio realizzato con gli scarti della lavorazione della calcarenite. All'interno di uno di questi, alcuni frammenti ceramici riferibili al XIII secolo forniscono un termine di datazione *post quem* per la loro posa in opera<sup>31</sup>. Tra +3,72 m e +4,42 m sul livello del mare la distribuzione planare delle aree riflettenti mostra la presenza di strutture mal definite. Seguono quindi strati ricchi di scorie e strati di malta e frammenti laterizi genericamente interpretabili come rialzamento e livellamento, senza una precisa definizione cronologica.

È possibile infine che, in Piazza S. Caterina (M19), risalga alla fine del periodo medievale lo strato di macerie<sup>32</sup> impostato su uno strato di rialzamento/livellamento non databile<sup>33</sup>, derivante forse dalla demolizione degli edifici che si sviluppavano in quest'area (Fig. 14): secondo quanto riportato negli annali di Paolo Tronci<sup>34</sup>, questi sarebbero stati infatti abbattuti

26 US 15 Ossi: 1 fr. di vertebra e 1 fr. di osso lungo di erbivoro di medie dimensioni.

27 US 6 Ceramica: 1 fr. di olla da fuoco da fuoco (X-XI secolo?).

28 US 5 Ceramica: 2 frr. di un unico esemplare di spalla di boccale (XIII secolo). US 4 Ossi: 1 fr. di astragalo probabilmente di carnivoro.

29 US 15 Ceramica: 2 frr. di acroma non id.

30 US 13=14 Ceramica: 1 fr. di olletta da fuoco con filettatura (X-XII secolo); 1 fr. di anfora africana; 1 fondo e 1 parete di olla in ceramica da fuoco semidepurata (età ellenistica?). Ossi: 1 fr. di cranio di erbivoro; 4 frr. non id. di cui uno carbonizzato. US 12 Ceramica: 1 fr. di vernice nera; 1 fr. di ansa depurata; 10 frr. di acroma non id. US 10 Ceramica: 3 frr. di acroma.

31 US 7 Ceramica: 1 fr. di brocchetta acroma (XIII secolo); 1 fr. di forma aperta, invetriata verde, produzione di Murcia (XIII secolo).

32 US 8 Metallo: 1 chiodo forgiato in ferro con stelo a sezione quadrangolare.

33 US 9 Ceramica: 1 fr. ceramica acroma depurata non id. Ossi: 1 fr. di estremità prossimale di radio di pecora.

34 Tronci 1640, p. 18 "Non lassero' dire che la piazza grande avanti alla Chiesa di S. Caterina non fu spianata prima dell'anno 1464, con licenza della Comunità e vi trovarono gran quantita' di fondamenti dalle quali ben si conobbe quanto era diversa l'antica forma della Citta' di Pisa da quel-

probabilmente nel 1464.

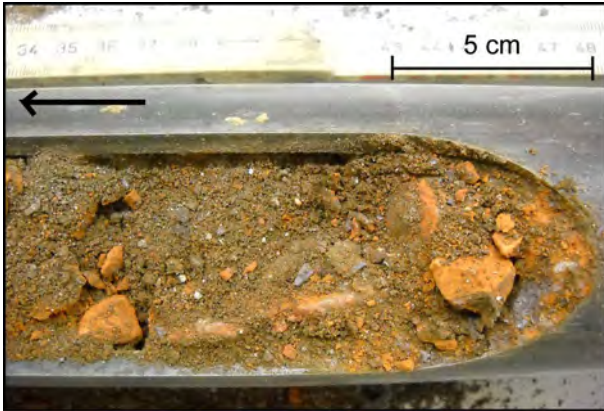


Figura 14. Santa Caterina (M19). Dettaglio dello strato di macerie, probabilmente dovuto all'abbattimento di edifici di età medievale.

#### 6.4.4 L'età moderna (1492-1814 d.C.)

Un tratto ricorrente nei depositi di età moderna, dei carotaggi effettuati nell'area urbana, è la presenza di strati costituiti da frammenti di laterizi e pietre, anche di scisto. Poiché queste ultime sono generalmente utilizzate per le coperture dei tetti in età basso medievale, è possibile che si tratti di macerie derivanti dalla demolizione di edifici di questo periodo. Talvolta, in assenza di chiari elementi cronologici, l'attribuzione di tali strati a questo periodo viene effettuata con un certo margine di dubbio. Depositi con macerie sono riscontrabili nell'area degli ex-Macelli (S1), del Dipartimento di Scienze della Terra (M8), della SBAT (M9) e di S. Zeno (S6). In M8<sup>35</sup> ed M9, alle stesse quote degli strati di macerie, la distribuzione planare delle aree riflettenti derivanti dall'analisi georadar mostra la presenza di strutture: nel primo caso delimitano uno o più ambienti, di cui quello meglio definito misura 3,5x5 metri circa, nel secondo si tratta di un muro della larghezza di 0,70 metri circa. A S. Zeno è possibile riconoscere una successione di strati di macerie: i primi due, contenenti anche materiali residuali (US 4<sup>36</sup>, 3<sup>37</sup>), risultano di datazione imprecisabile; una più definita cronologia proviene invece dallo strato sovrastante, in cui sono presenti materiali databili fra la fine del XVI e l'inizio del XVII secolo<sup>38</sup>. In Piazza S. Cate-

le parti".

35 US 3 Ceramica: 1 fr. non id; 1 fr. di parete forse di anfora priva di rivestimento (XIII-XIV secolo?).

36 US 4 Ceramica: 3 frr. di un'unica olla da fuoco con filettatura sulla superficie; 1 fr. di impasto da fuoco; 1 fr. di parete di brocchetta acroma. Pietra: 1 fr. di lastra di rivestimento in breccia. Ossi: 2 frr. di metacarpo di pecora.

37 US 3 Ceramica: 1 fr. di parete di anfora africana.

38 US 2 (fine XVI-inizio XVII secolo) Ceramica: 1 fr. di smalto berrettino (metà XVI-metà XVII secolo); 1 fr. di fondo di salsiera di Montelupo (fine XVI secolo); 2 frr. di piatto di graffita a punta (XVI secolo); 1 fr. di ingobbiate policroma (seconda metà XVI-XVII secolo); 1 fr. di pentolino ingobbiate; 2 frr. di boccale in maiolica arcaica di cui un orlo del XIV-

rina lo strato di macerie della demolizione di edifici di età medievale (cfr. § 6.4.3) è ricoperto da uno strato di rialzamento/livellamento, il cui unico riferimento cronologico è offerto da materiale ceramico genericamente databile al XVI-XVIII secolo<sup>39</sup>.

In alcuni casi sono attestati anche strati interpretabili come probabili piani di calpestio, più o meno strutturati, con i loro livelli di preparazione. Nell'area dell'Orto Botanico (M26), alcuni probabili piani di calpestio impostati su strati di un rialzamento/livellamento di epoca imprecisabile e contenenti anche materiale residuale<sup>40</sup>, sono databili al XVII-XVIII secolo se non oltre<sup>41</sup>. Presso il giardino Scotto (M23) sono forse interpretabili come piani di calpestio tre sottili strati in successione (US 6, 4 e 3; US 5 probabile strato preparatorio). Il piano più alto è costituito dai residui di lavorazione di pietra calcarea che attestano forse una vicina attività di cantiere. Tali piani appaiono cronologicamente inquadrabili tra il termine *post quem* fornito dallo strato sottostante, post XIII-XIV secolo, e dalla ceramica databile al XVI secolo contenuta nello strato di livellamento e rialzamento superiore<sup>42</sup>. Alla stessa quota la distribuzione planare delle aree riflettenti derivante dall'analisi georadar mostra la presenza di due strutture murarie ortogonali.

Evidenze di frequentazione, forse imputabili ad attività agricole, sono riscontrabili nell'area suburbana ad ovest della città, presso via Mafalda di Savoia (M2), in continuità rispetto ai precedenti periodi storici, e a est, in Via Luschi (M17), dove depositi di rotti presentano materiali di diversa natura tra cui piccoli clasti angolosi, frammenti laterizi e ceramici<sup>43</sup>. In quest'ultimo sito, la distribuzione delle aree riflettenti mostra la presenza di una struttura, forse interpretabile come pozzo, alla quota di circa +1,7 m e di una probabile struttura muraria alla quota di +3,2 m sul livello del mare.

#### 6.4.5 L'età contemporanea (post 1815 d.C.)

La stratificazione dei carotaggi localizzati nel centro urbano, solitamente in corrispondenza di aree sistematiche ad orto, giardino o parco pubblico, si conclude generalmente con strati di rialzamento/livellamento a cui seguono riporti funzionali alle sistemazioni attuali, come avviene in via Luschi (M17), in Via Quasimodo (M5), al giardino Scotto (M23), al Tribunale

inizio XV secolo; 2 frr. di olla grezza da fuoco; 2 frr. privi di rivestimento. Ossi: 1 fr. di testa di femore di bovino; 3 frr. di cranio di erbivoro di medie dimensioni; 1 fr. di osso carpale umano?

39 US 3 Ceramica: 1 fr. di parete di pentolino invetriata (XVI-XVIII secolo).

40 US 18=17 Ceramica: 1 fr. di impasto grezzo non det. US 10 Ceramica: 3 frr. anfore non det. (età romana).

41 US 7 Ceramica: 1 fr. di orlo di pentolino da fuoco invetriato (XVII-XVIII secolo?); 1 fr. di parete di pentolino da fuoco (XVII-XVIII secolo?).

42 US 2 Ceramica: 1 fr. di parete di boccale Montelupo (inizio XV secolo); 1 fr. di parete di pentolino invetriata (XVI secolo).

43 US 3 Ceramica: 1 fr. non id.; 1 fr. di ingobbiate (XVI-XIX secolo).

(M10), al Dipartimento di Scienze della Terra (M8), alla SBAT (M9), in piazza S. Caterina (M19), in Via della Nunziatina (M7), in Via Bonanno Pisano (M6), agli ex-Macelli (S1) e in Via Galluppi (M18). In particolare, in Via Quasimodo (M5) il rialzamento/livellamento<sup>44</sup> è probabilmente avvenuto al momento dell'edificazione della scuola Betti, dopo la bonifica di un'area acquitrinosa. Agli ex-Macelli (S1) è attestata una successione di strati di rialzamento/livellamento interrotti da uno strato di bitume, solo ipoteticamente riferibile ad un asfalto stradale; la successione termina col terreno dell'attuale giardino. Al Tribunale (M10) lo strato di macerie, pur non avendo elementi di datazione interna, può essere ragionevolmente attribuito all'abbattimento del quartiere medievale che si sviluppava in quest'area in occasione della costruzione del tribunale in epoca fascista: alla stessa quota, la distribuzione planare delle aree riflettenti mostra la possibile presenza di un ambiente di 4x4 metri circa. In Via della Nunziatina (M7) sono presenti depositi di rotta fluviale con tessitura eterogenea, indicativi di un probabile rimaneggiamento antropico nel corso dell'età moderna, come suggerisce il materiale laterizio e ceramico rinvenuto al suo interno<sup>45</sup>. Potrebbe trattarsi di un terreno agricolo o ortivo esterno all'edificio, che doveva sorgere nelle adiacenze e testimoniato dallo strato di macerie derivanti dalla sua demolizione presenti al di sopra.

In area extraurbana la successione di carotaggio si conclude invece con terreni che recano tracce di lavorazione agricola: presso via di Gello (M1<sup>46</sup>), via Malfalda di Savoia (M2), via Livornese (M3), Via Valmigli (M4) e a Putignano (M15).

(M.B., F.F., S.G., M.P., V.R., G.S.)

## 7. Conclusioni e prospettive

Il numero rilevante di nuovi dati acquisiti e l'approccio interdisciplinare con il quale sono stati elaborati hanno permesso di incrementare in modo significativo le conoscenze del contesto paleoambientale ed insediativo della zona urbana e suburbana della città di Pisa durante gli ultimi 6000 anni circa, da quando tutta l'attuale pianura pisana era occupata da un'ampia laguna. L'ambiente lagunare continuò a persistere fino a circa 3600 anni a.C. quando, a causa del progressivo aumento dell'apporto sedimentario, la laguna iniziò ad interrarsi e a trasformarsi gradualmente in un'area palustre, attraversata da canali distributori. In seguito, tra l'età protostorica e la prima età storica, l'attività fluviale, caratterizzata da un reticolo piuttosto articolato, divenne prevalente con la progressiva formazione della pianura alluvionale. Negli innumerevoli episodi di tracimazione che hanno contribuito alla costruzione della pianura alluvionale, è stato possibile distinguere gli apporti

44 US 11 Ceramica: 1 fr. di fondo di tegame invetriato (XVIII-XIX secolo).

45 US 3 Ceramica: 1 fr. di terraglia (XIX-XX secolo).

46 US 2 Ceramica: 1 fr. di boccale in maiolica arcaica (fine XIII- prima metà XIV secolo).

provenienti dal Fiume Serchio da quelli provenienti dal Fiume Arno chiarendo, insieme all'analisi di foto aeree, il quadro idrografico piuttosto complesso dell'area pisana. Negli archivi naturali, da noi indagati in questa fase della ricerca, appare ben documentato il reciproco condizionamento fra l'ambiente naturale e le caratteristiche dell'insediamento umano.

I dati raccolti rappresentano pertanto una preziosa fonte di informazioni sul sottosuolo dell'area pisana, a disposizione di chiunque operi nei settori delle Scienze della Terra e dell'Archeologia. Ai fini specifici della prosecuzione del progetto questi dati, assieme a quelli sintetizzati nel livello informativo archeologico (ANICHINI *et alii*, 2012) saranno la base per la composizione degli scenari paleogeografici che verranno elaborati per le principali fasi di frequentazione del territorio. In linea più generale questo caso di studio rappresenta un esempio di approccio metodologico (good practice) molto promettente per gli studi geoarcheologici in area urbana e periurbana. Lo schema messo a punto per la rappresentazione dei log stratigrafici potrà costituire un prototipo ottimale per l'adozione di un linguaggio tecnico condiviso tra sedimentologi, geomorfologi e archeologi. In questo lavoro sono state testate con successo tipologie di indagine non convenzionali quali l'utilizzo a fini geoarcheologici del georadar, l'utilizzo di indicatori geochimici per la caratterizzazione delle facies e la determinazione degli ambiti di provenienza dei sedimenti ed infine l'impiego combinato nell'indagine palinologica di tutti i diversi tipi di palinomorfi. Queste potranno essere incluse nelle routine dell'indagine geoarcheologica. Infine alcuni capisaldi teorici della metodologia di indagine messa a punto, quali l'interpretazione di elementi della stratificazione naturale in termini di attività antropiche e la trasposizione dei dati di sottosuolo in forme del paesaggio, potranno apportare significativi miglioramenti all'approccio integrato fra le discipline coinvolte nella ricerca geoarcheologica.

(F.F., M.P., G.S.)

## Appendice

Tabella 1. Datazioni al radiocarbonio effettuate sui carotaggi MAPPA. Nei log (cfr. § 4.) sono riportati gli intervalli di calibrazione con la maggiore percentuale di probabilità nell'intervallo espresso come  $2\sigma$ .

Campione carotaggio_ profondità p.c. (m)	Materiale datato	Età convenzionale (anni BP)	Età calibrata_2 sigma (anni calibrati a.C./d.C)	Età calibrata_1 sigma (anni calibrati a.C./d.C)
M1_10,10	gusci di molluschi	5148±35	3805-3639 a.C. (99,5%) 3888-3882 a.C. (0,5%)	3763-3670 a.C. (100%)
M1_8,62	frammenti di legno	4179±41	2821-2630 (77,1%) 2890-2831 (22,9%)	2813-2742 a.C. (52,6%) 2729-2694 a.C. (23,3%) 2880-2850 a.C. (20,4%) 2686-2680 a.C. (3,7%)
M1_7,75	frammenti di legno	4174±37	2820-2657 a.C. (73,7%) 2887-2832 a.C. (22%) 2655-2632 a.C. (4,3%)	2813-2742 a.C. (53,6%) 2728-2695 a.C. (23,8%) 2878-2850 a.C. (19,9%) 2685-2680 a.C. (2,7%)
M2_10,30	gusci di molluschi	3485±37	1513-1235 a.C. (100%)	1443-1308 a.C. (100%)
M2_9,75	frammento di legno	2848±25	1089-926 a.C. (97,2%) 1112-1100 a.C. (2,8%)	1047-975 a.C. (90,3%) 954-944 a.C. (9,7%)
M2_3,50	frammento di legno	42200±1300	46442-41645 a.C. (100%)	44608-42554 a.C. (100%)
M2_1,34	materia organica decomposta	1395±23	609-664 d.C. (100%)	635-660 d.C. (100%)
M3_6,65	frammenti di legno	4155±64	2892-2574 a.C. (100%)	2817-2664 a.C. (77%) 2874-2834 a.C. (19,8%) 2645-2638 a.C. (3,2%)
M3_5,75	frammenti di legno	3496±27	1890-1755 a.C. (100%)	1833-1772 a.C. (68,4%) 1880-1863 a.C. (17,6%) 1850-1837 a.C. (14%)
M3_2,69	frammenti di legno	————	< 1950 d.C.	
M4_8,15	frammenti di legno	3610±24	2029-1902 a.C. (100%)	1981-1937 a.C. (66,6%) 2019-1994 a.C. (33,4%)
M4_7,12	materia organica decomposta	8201±37	7325-7080 a.C. (100%)	7301-7220 a.C. (53,5%) 7198-7140 a.C. (39,5%) 7097-7086 a.C. (7%)
M5_8,76	argilla organica	3842±24	2351-2204 a.C. (81,9%) 2407-2376 a.C. (9,6%) 2457-2418 a.C. (7,9%) 2366-2361 a.C. (0,7%)	2345-2276 a.C. (64,8%) 2253-2228 a.C. (23,3%) 2223-2209 a.C. (10,8%) 2387-2386 a.C. (1,1%)
M5_4,77	frammento di legno	————	< 1950 d.C.	
M6_10,75	gusci di molluschi	4915±35	3542-3374 a.C. (76,4%) 3622-3550 a.C. (23,6%)	3461-3378 a.C. (53,4%) 3534-3487 a.C. (37,2%) 3614-3598 a.C. (8,3%) 3593-3590 a.C. (1,1%)
M6_8,70	gusci di molluschi	4708±47	3361-3079 a.C. (97,6%) 3061-3035 a.C. (2,4%)	3333-3261 a.C. (40,1%) 3242-3170 a.C. (39,2%) 3160-3122 a.C. (20,7%)
M6_6,04	materia organica decomposta	3395±25	1746-1628 a.C. (100%)	1739-1705 a.C. (51,2%) 1699-1665 a.C. (45,5%) 1647-1645 a.C. (3,3%)
M6_4,05	argilla organica	7396±40	6392-6212 a.C. (97,6%) 6136-6113 a.C. (2,4%)	6355-6293 a.C. (58,2%) 6267-6227 a.C. (41,8%)
M7_11,40	frammento di legno	2843±23	1056-921 a.C. (95,4%) 1085-1064 a.C. (3,4%) 1111-1103 a.C. (1,2%)	1030-974 a.C. (75,3%) 956-941 a.C. (17,8%) 1040-1032 a.C. (7%)
M7_8,77	frammento di legno	2777±23	998-890 a.C. (86,2%) 881-845 a.C. (13,8%)	994-896 a.C. (73,5%) 975-954 a.C. (26,5%)

M7_7,10	frammenti di legno	2559±28	802-748 a.C. (65,5%) 688-665 a.C. (15,9%) 643-589 a.C. (14,8%) 581-557 a.C. (3,9%)	797-760 a.C. (82,9%) 682-671 a.C. (17,1%)
M7_3,40	frammenti di legno	905±23	1040-1113 d.C. (51,9%) 1115-1190 d.C. (45,3%) 1197-1207 d.C. (2,8%)	1046-1090 d.C. (56,6%) 1149-1168 d.C. (22,4%) 1121-1139 d.C. (21,1%)
M8_9,75	argilla organica	31360±370	34611-33107 a.C. (100%)	34083-33388 a.C. (74,4%) 34404-34159 a.C. (25,6%)
M8_8,30	frammenti di legno	4050±26	2634-2486 a.C. (94,5%) 2833-2819 a.C. (3,7%) 2661-2649 a.C. (1,8%)	2531-2496 a.C. (41,9%) 2589-2565 a.C. (30,7%) 2620-2603 a.C. (18,3%) 2601-2592 a.C. (9,1%)
M8_4,25	argilla organica	1260±40	668-832 d.C. (91,2%) 836-869 d.C. (8,8%)	679-779 d.C. (99,4%) 795-796 d.C. (0,6%)
M9_5,35	frammenti di legno	2456±41	669-411 a.C. (75,3%) 756-684 a.C. (24,7%)	567-486 a.C. (36,9%) 749-687 a.C. (31%) 666-642 a.C. (11,3%) 441-417 a.C. (9,8%) 591-578 a.C. (5,8%) 462-449 a.C. (5,3%)
M9_2,75	frammenti di legno	827±23	1170-1260 d.C. (100%)	1207-1255 d.C. (94,3%) 1191-1196 d.C. (5,7%)
M10_7,85	argilla organica	3613±137	2349-1624 a.C. (98,8%) 2404-2379 a.C. (0,8%) 2434-2421 a.C. (0,4%)	2144-1862 a.C. (79,2%) 1851-1772 a.C. (17,5%) 2194-2177 a.C. (3,3%)
M10_5,30	carboni	2465±27	670-483 a.C. (59,8%) 758-683 a.C. (30,2%) 466-415 a.C. (10%)	594-516 a.C. (41,7%) 751-686 a.C. (38,8%) 687-638 a.C. (16,9%) 621-614 a.C. (2,5%)
M17_10,75	frammenti di legno	3912±41	2491-2285 a.C. (97,2%) 2550-2536 a.C. (1,4%) 2247-2235 a.C. (1%) 2559-2553 a.C. (0,4%)	2469-2390 a.C. (65,9%) 2385-2345 a.C. (34,1%)
M18_3,65	argilla organica	2785±34	1011-840 a.C. (100%)	980-899 a.C. (92,2%) 996-986 a.C. (7,8%)
M25_4	carboni	2485±26	770-510 a.C. (98,8%) 436-422 a.C. (1,2%)	604-543 a.C. (40,5%) 653-606 a.C. (30,1%) 756-729 a.C. (17,5%) 669-659 a.C. (6,9%) 692-684 a.C. (5%)
M26_4,60	frammento di legno	2563±75	836-479 a.C. (94,8%) 470-414 a.C. (5,2%)	649-546 a.C. (45,3%) 808-735 a.C. (40,1%) 690-662 a.C. (14,6%)
S6_3,25	carboni	2372±33	539-387 a.C. (98,4%) 706-695 a.C. (1,6%)	506-459 a.C. (46,8%) 419-395 a.C. (41,2%) 453-439 a.C. (12%)

Tabella 2. Valori di concentrazione degli elementi nei campioni di carota (M1-M7).

Sample	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Pb	Th
M1 1.05	62,28	0,55	14,52	4,35	0,12	3,46	4,54	1,65	2,23	0,12	6,18	24	91	145	15	71	22	73	92	144	18	125	8	404	19	66	10	14
M1 2.25	67,75	0,40	9,74	3,36	0,10	2,15	6,24	1,98	1,80	0,04	6,43	6	58	89	10	51	13	51	78	161	16	70	6	337	16	44	8	15
M1 3.5	66,33	0,45	9,84	3,39	0,11	2,30	7,25	1,93	1,71	0,07	6,63	5	63	130	11	48	15	52	73	165	16	91	7	322	32	48	8	15
M1 4.2	63,86	0,46	10,67	3,65	0,11	2,66	8,28	1,90	1,81	0,06	6,54	9	70	134	12	54	18	53	72	164	17	67	6	331	31	61	6	14
M1 5.2	66,85	0,43	10,99	3,59	0,12	2,59	5,83	1,88	2,00	0,07	5,65	10	109	105	11	60	18	57	82	142	16	67	7	351	19	38	8	12
M1 5.45	64,81	0,47	10,43	3,76	0,12	2,72	7,85	1,95	1,62	0,09	6,17	11	71	92	11	57	18	55	66	135	15	58	7	291	11	25	5	11
M1 7.2	53,79	0,72	16,17	6,46	0,17	4,24	4,12	1,21	2,48	0,14	10,51	22	131	183	28	118	43	135	135	134	33	125	12	445	33	80	15	20
M1 7.68	52,31	0,70	16,95	6,24	0,08	4,24	0,67	1,21	2,60	0,12	14,88	31	148	189	30	119	41	146	163	94	32	94	12	467	40	83	16	16
M1 8.32	68,26	0,49	11,54	4,01	0,09	2,88	3,62	2,25	2,13	0,08	4,64	16	71	123	11	63	14	63	91	128	18	172	7	350	20	66	8	14
M1 9.3	66,31	0,51	12,31	4,06	0,10	3,21	3,42	2,30	2,12	0,11	5,55	14	77	133	13	70	19	69	98	133	21	207	9	369	31	45	13	14
M1 10.3	52,06	0,74	17,07	7,32	0,22	4,02	2,95	1,02	2,57	0,15	11,87	27	145	189	28	112	39	149	163	134	30	110	14	363	44	79	20	21
M1 11.3	51,20	0,76	18,01	6,87	0,18	5,15	2,07	1,19	3,08	0,16	11,34	32	155	207	32	132	53	167	183	104	36	109	13	413	51	105	24	25
M2 1.2	60,38	0,71	17,22	5,72	0,13	3,47	0,73	1,39	2,47	0,19	7,59	24	121	169	21	93	37	128	134	123	29	209	11	427	36	70	17	18
M2 2.3	50,79	0,67	15,08	6,13	0,14	3,35	7,93	0,96	2,19	0,13	12,64	17	115	219	23	101	33	118	119	182	27	139	12	433	35	74	13	15
M2 3.1	54,86	0,70	15,33	6,12	0,09	3,10	6,22	1,00	2,26	0,18	10,13	15	112	169	19	95	29	112	113	184	28	229	12	412	33	58	14	22
M2 4.5	59,28	0,47	11,36	4,45	0,11	2,69	8,24	1,63	1,66	0,09	10,02	9	66	128	14	71	18	60	67	177	17	160	7	294	24	52	10	13
M2 5.5	66,17	0,25	6,79	2,48	0,14	1,91	10,92	1,52	1,39	0,08	8,35	0	33	114	8	67	9	31	55	227	15	41	4	267	15	29	8	8
M2 9.6	67,44	0,32	7,09	3,04	0,12	2,34	9,70	1,79	1,10	0,09	6,98	6	46	162	10	70	13	39	50	165	13	41	5	247	15	35	9	4
M2 10.05	62,78	0,40	8,33	3,82	0,15	2,45	11,05	1,83	1,12	0,09	7,99	9	60	177	16	79	16	51	44	172	14	72	4	268	16	52	4	6
M2 13.4	51,73	0,72	18,25	6,71	0,14	4,56	3,11	1,22	2,96	0,13	10,46	33	163	209	27	131	53	160	181	128	31	96	14	383	55	101	19	21
M2 14.5	49,98	0,71	17,91	7,14	0,14	4,04	3,68	1,09	2,80	0,15	12,36	26	158	199	25	112	35	148	178	181	29	106	13	331	44	80	18	22
M3 0.9	57,46	0,63	14,43	5,11	0,14	2,88	6,42	1,26	1,95	0,13	9,61	14	95	145	20	89	28	93	98	161	24	188	11	458	29	56	14	17
M3 2.7	52,98	0,79	18,38	7,66	0,14	3,47	1,48	0,62	2,22	0,12	12,16	37	170	210	29	124	48	167	164	123	33	107	14	530	51	81	22	23
M3 3.85	55,15	0,73	15,05	6,27	0,15	3,22	5,54	1,08	2,03	0,13	10,66	16	120	159	25	102	36	125	117	157	28	142	13	525	32	76	14	17
M3 4.75	54,06	0,81	18,16	6,88	0,07	3,56	1,44	0,97	2,54	0,15	11,37	36	167	208	29	127	49	173	166	115	32	112	15	511	64	95	21	20
M3 5.75	50,79	0,76	17,59	6,30	0,12	3,44	4,11	0,92	2,52	0,15	13,32	20	154	192	25	129	49	160	159	143	31	101	14	450	47	84	19	19
M3 6.4	51,32	0,77	18,13	6,43	0,06	3,54	0,48	1,09	2,57	0,09	15,52	30	162	198	22	98	32	130	182	96	26	101	15	413	38	82	17	24
M3 7.25	62,60	0,52	12,51	3,98	0,12	2,56	5,25	2,14	1,87	0,13	8,33	14	84	125	12	73	19	74	85	163	22	187	9	353	24	53	12	10
M3 8.2	58,98	0,66	14,42	4,80	0,11	2,90	4,95	1,68	2,04	0,14	9,33	18	96	136	18	81	26	98	107	159	28	216	11	339	22	59	13	13
M3 8.95	50,71	0,72	17,74	7,07	0,16	4,09	2,96	1,21	2,56	0,12	12,66	27	150	191	27	110	33	146	171	158	31	105	14	336	47	82	16	14
M3 10.22	51,30	0,74	17,95	6,67	0,13	3,80	3,19	1,06	2,72	0,12	12,33	24	157	189	22	113	41	158	186	166	29	92	14	335	47	84	13	19

Sample	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Pb	Th
M4 1.5	52.03	0.73	16.45	6.45	0.14	3.39	5.38	0.83	2.17	0.14	12.30	24	138	173	26	106	42	135	132	162	28	138	13	479	41	71	29	20
M4 2.7	51.61	0.77	16.86	6.96	0.15	3.41	4.78	0.83	2.33	0.11	12.19	30	149	188	27	119	44	146	141	167	29	116	14	512	54	71	18	17
M4 3.3	51.07	0.78	17.65	7.19	0.14	3.38	3.90	0.73	2.43	0.09	12.64	30	168	199	26	122	51	161	163	158	29	101	14	514	49	86	19	19
M4 3.85	51.26	0.76	19.44	6.60	0.07	3.52	1.38	0.73	2.38	0.08	13.78	35	186	223	25	129	49	186	182	128	29	93	14	485	53	89	21	25
M4 4.6	54.49	0.79	17.94	7.29	0.09	3.48	1.87	0.86	2.32	0.14	10.73	24	156	196	28	122	46	162	155	135	33	119	14	548	47	79	16	26
M4 6.2	53.99	0.79	18.94	7.88	0.08	4.01	0.70	0.92	2.61	0.15	9.93	40	177	231	33	138	45	185	177	113	33	96	14	539	50	92	22	20
M4 6.9	55.22	0.76	17.04	6.65	0.09	3.52	3.12	1.05	2.34	0.17	10.05	28	145	193	28	117	44	157	153	137	31	125	15	488	43	93	21	22
M4 7.5	55.09	0.82	18.90	7.34	0.07	3.57	0.70	0.94	2.56	0.19	9.83	32	164	216	31	129	52	168	174	114	31	111	15	472	44	92	18	24
M4 8.5	55.33	0.79	18.08	7.37	0.12	4.05	1.00	1.20	2.61	0.16	9.30	37	161	206	30	123	43	162	154	112	30	100	12	481	47	79	21	17
M4 9.25	54.69	0.81	18.15	6.96	0.08	3.59	0.56	1.11	2.51	0.17	11.37	32	154	200	31	122	40	168	166	110	33	118	15	553	41	91	20	22
M5 1.5	54.05	0.76	17.06	6.40	0.14	3.47	3.22	0.72	2.33	0.12	11.72	31	150	188	28	116	49	152	139	133	28	142	13	534	44	81	34	18
M5 2.8	50.14	0.77	17.75	7.18	0.13	3.44	3.80	0.58	2.42	0.09	13.70	34	164	211	29	126	49	167	154	166	29	99	15	506	58	94	22	20
M5 4.07	55.17	0.73	16.80	6.41	0.15	4.02	3.02	1.12	2.20	0.13	10.26	30	141	184	26	115	40	129	132	129	32	133	12	490	42	77	14	19
M5 4.45	55.67	0.70	16.59	6.05	0.15	3.96	3.85	1.21	2.22	0.12	9.49	27	131	179	25	109	37	120	120	129	27	134	12	448	33	67	17	17
M5 5.07	57.57	0.63	15.72	5.28	0.13	3.83	4.71	1.51	2.17	0.14	8.66	20	110	166	19	92	29	99	109	143	25	167	10	452	29	76	12	16
M5 5.9	59.51	0.64	14.83	4.95	0.15	3.25	4.98	1.55	2.06	0.13	7.95	22	101	155	18	85	29	91	99	153	25	206	9	463	31	69	11	13
M5 6.96	55.60	0.74	16.07	5.71	0.12	3.26	4.81	1.02	2.23	0.13	10.32	24	134	172	23	107	38	6	125	150	29	144	13	453	42	82	18	20
M5 7.38	56.30	0.78	16.97	6.06	0.08	3.26	4.66	0.93	2.38	0.12	8.47	26	155	192	26	118	47	158	139	152	30	130	12	484	50	86	14	20
M5 7.96	56.35	0.78	17.50	6.45	0.11	3.42	1.40	0.97	2.41	0.14	10.46	33	161	198	31	121	47	164	153	108	13	123	15	485	55	95	16	17
M5 8.56	54.09	0.79	18.48	6.65	0.07	4.01	0.52	1.11	2.56	0.12	11.61	38	169	208	31	123	43	169	160	95	34	111	14	458	54	86	18	20
M5 9.42	59.36	0.60	14.28	4.90	0.10	3.11	3.79	1.77	2.03	0.12	9.96	18	95	142	18	81	27	96	108	138	25	180	11	354	33	65	13	21
M5 10.05	59.81	0.61	14.79	4.62	0.10	3.14	4.23	1.73	2.13	0.11	8.72	22	100	140	18	83	26	96	108	145	23	189	10	363	36	55	13	18
M5 10.47	55.56	0.66	16.03	5.48	0.13	3.55	4.31	1.45	2.28	0.12	10.42	25	120	160	21	95	32	119	124	145	26	162	11	361	31	60	16	15
M6 2.6	51.55	0.62	14.83	5.32	0.16	3.00	7.73	0.89	2.05	0.22	13.62	16	115	153	21	92	40	111	105	151	23	151	10	471	42	60	44	19
M6 4.25	65.58	0.54	13.56	4.19	0.09	2.66	3.99	1.80	2.17	0.14	5.27	22	84	141	14	70	20	70	86	127	17	162	9	435	32	51	10	12
M6 4.95	57.50	0.66	16.02	4.90	0.10	3.24	4.95	1.17	2.30	0.11	9.06	25	114	168	21	97	32	105	106	138	25	165	11	446	45	74	16	16
M6 5.4	53.72	0.71	16.21	5.52	0.10	3.14	6.08	0.76	2.27	0.13	11.36	23	128	179	22	107	34	122	123	164	25	139	12	428	46	81	14	13
M6 6.37	70.76	0.47	10.74	2.73	0.09	2.02	4.58	2.07	1.96	0.07	4.51	12	54	166	8	51	14	49	78	146	17	236	7	352	37	53	10	15
M6 6.78	73.78	0.29	9.90	2.18	0.08	1.65	3.73	2.32	2.03	0.06	3.97	9	38	86	4	46	8	37	83	146	10	62	6	384	16	38	11	12
M6 7.9	70.05	0.34	10.34	2.59	0.09	1.96	5.55	2.09	1.98	0.06	4.95	11	48	119	5	50	10	41	81	167	13	65	6	362	7	34	11	9
M6 9.3	67.15	0.37	9.92	2.76	0.10	2.00	7.45	1.79	1.88	0.06	6.52	10	53	172	10	55	15	43	78	173	13	51	5	338	14	44	8	13
M6 10.3	72.20	0.24	9.15	2.05	0.09	1.67	5.59	2.13	1.99	0.03	4.86	6	34	78	6	51	8	31	78	166	10	38	5	331	10	44	5	8



Sample	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Pb	Th
M6 11.25	71,02	0,26	8,51	2,24	0,10	1,76	6,64	2,04	1,84	0,02	5,57	7	40	99	5	45	9	35	73	175	11	37	5	354	14	35	6	7
M6 12.36	48,73	0,69	18,28	6,61	0,17	4,47	4,26	0,76	2,76	0,08	13,19	32	162	210	25	123	37	145	169	178	26	81	13	326	42	90	15	16
M6 13.47	51,96	0,67	17,48	6,31	0,18	4,50	4,49	1,01	2,70	0,13	10,58	29	139	198	21	111	37	133	148	163	28	113	13	367	45	78	15	20
M6 14.7	50,47	0,68	17,18	6,64	0,16	4,47	4,55	1,11	2,65	0,11	11,99	30	148	197	25	122	41	141	156	149	30	88	12	376	36	80	17	18
M7 1.4	56,86	0,51	12,06	4,40	0,16	2,50	9,47	1,32	2,11	1,37	9,25	9	77	142	15	77	101	137	96	221	16	113	8	471	28	59	115	14
M7 3.4	61,27	0,60	13,99	4,60	0,14	2,64	3,79	1,34	2,40	0,96	8,27	17	88	143	16	76	50	143	102	140	23	182	10	417	33	67	30	16
M7 4.7	76,73	0,29	10,05	2,81	0,13	1,58	1,05	2,20	2,13	0,21	2,82	11	42	123	10	59	8	42	85	96	14	88	6	401	6	23	15	11
M7 6.15	72,24	0,30	8,41	2,13	0,09	1,54	6,26	2,04	1,85	0,09	5,06	0	34	133	3	48	7	28	69	180	12	70	4	321	10	29	6	10
M7 7.1	53,78	0,68	15,13	5,46	0,15	3,19	5,56	1,03	2,19	0,11	12,72	18	117	160	22	102	37	120	115	145	29	162	10	457	37	66	16	13
M7 9.2	72,99	0,25	8,25	1,87	0,09	1,50	6,26	2,11	1,94	0,07	4,66	0	31	106	3	38	8	27	68	175	10	35	4	344	13	33	5	11
M7 10.35	72,05	0,23	9,30	2,23	0,09	1,75	5,32	2,17	2,00	0,03	4,82	5	33	74	7	53	6	32	81	166	10	39	4	374	7	24	11	10
M7 11.15	73,59	0,21	8,47	2,05	0,08	1,69	5,08	2,12	1,93	0,06	4,72	3	29	88	7	55	5	30	77	165	11	33	4	383	11	21	10	8
M7 11.55	68,75	0,33	10,40	2,85	0,10	1,96	5,91	1,57	1,95	0,08	6,11	12	49	150	10	58	14	45	76	163	11	36	5	379	7	38	8	11
M7 11.9	72,36	0,20	7,78	2,02	0,10	2,04	6,56	1,83	1,74	0,09	5,28	5	28	249	6	57	8	24	65	160	10	23	6	364	21	18	5	12
M7 13.85	48,89	0,71	18,72	7,27	0,16	4,35	3,66	0,81	2,93	0,11	12,39	31	166	210	25	117	33	154	190	183	25	87	14	297	44	84	15	19
M7 14.48	47,97	0,70	18,60	6,78	0,18	4,42	3,75	0,87	2,85	0,12	13,76	30	178	211	30	129	37	156	181	158	30	82	13	337	46	81	19	23
M7 14.88	48,50	0,72	19,21	7,44	0,16	4,48	3,01	0,91	2,87	0,14	12,55	32	167	216	28	122	38	159	180	159	31	82	12	312	49	94	18	18

Tabella 3. Valori di concentrazione degli elementi nei campioni di riferimento, prelevati in prossimità del Fiume Arno (C1-C3) e del Fiume Serchio (C4-C5).

Sample	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Pb	Th
<b>C1 1.75</b>	71,38	0,33	10,51	2,94	0,12	1,89	3,65	2,20	1,94	0,05	4,98	11	48	101	10	57	12	47	83	154	14	102	6	409	13	50	12	11
<b>C1 4.4</b>	62,62	0,55	12,15	4,18	0,13	2,37	6,09	1,62	1,74	0,11	8,09	13	80	130	14	66	22	76	80	165	21	203	10	404	21	55	9	18
<b>C1 5.8</b>	55,30	0,72	15,32	5,76	0,14	2,98	5,77	0,94	2,05	0,11	10,91	26	121	159	23	103	35	125	120	170	29	156	14	517	37	63	14	19
<b>C1 6.73</b>	52,47	0,77	16,52	7,28	0,18	3,20	4,81	0,75	2,22	0,14	11,67	26	143	189	28	116	40	148	136	152	31	118	14	511	47	86	16	19
<b>C2 1.25</b>	71,34	0,32	10,14	2,97	0,11	1,80	3,90	2,26	1,92	0,07	5,17	6	48	92	13	57	11	45	83	161	13	97	6	414	16	36	15	7
<b>C2 1.7</b>	72,08	0,46	11,71	3,10	0,12	2,16	2,09	2,24	1,87	0,11	4,07	15	57	119	10	57	13	54	78	116	17	217	7	420	19	48	12	17
<b>C2 5.14</b>	55,54	0,68	15,16	5,61	0,18	3,03	6,31	0,97	1,97	0,14	10,42	17	109	148	22	90	31	108	101	165	26	149	11	578	30	51	11	10
<b>C2 7.72</b>	55,03	0,74	16,84	5,76	0,10	3,24	4,41	0,96	2,32	0,12	10,47	26	132	178	25	106	40	135	128	158	28	149	15	581	36	72	15	21
<b>C3 2.7</b>	54,45	0,70	15,37	5,83	0,15	3,50	5,84	1,00	2,25	0,10	10,82	20	122	160	22	101	37	116	121	183	27	173	11	537	41	61	17	20
<b>C3 3.8</b>	63,87	0,54	13,09	3,95	0,12	2,85	5,04	2,00	1,88	0,14	6,52	18	77	128	13	68	20	64	78	155	20	212	8	404	31	54	11	15
<b>C3 4.5</b>	73,89	0,32	9,24	2,33	0,10	1,57	3,70	2,23	1,76	0,06	4,81	6	39	103	7	48	9	36	77	158	14	157	7	375	24	40	9	10
<b>C3 6.45</b>	58,06	0,53	13,27	4,41	0,15	2,86	5,52	1,56	2,02	0,12	11,49	17	88	135	16	79	26	84	89	160	21	140	8	419	32	71	14	12
<b>C4 0.6</b>	57,56	0,65	15,89	5,57	0,15	4,44	3,84	1,52	2,36	0,15	7,86	27	122	181	24	104	37	102	113	138	24	143	11	480	29	65	13	18
<b>C4 0.9</b>	62,40	0,56	13,93	4,34	0,13	3,69	4,74	1,84	2,18	0,12	6,07	21	91	147	13	75	23	67	91	139	19	187	8	417	33	56	10	12
<b>C4 1.65</b>	60,57	0,60	15,61	4,84	0,13	3,97	3,47	1,65	2,26	0,16	6,74	26	102	166	18	92	27	87	105	123	23	176	11	459	34	61	10	13
<b>C4 2.8</b>	57,04	0,65	16,34	5,62	0,14	3,98	4,05	1,38	2,32	0,12	8,36	29	123	176	24	107	37	110	124	134	27	162	11	456	39	73	13	17
<b>C5 0.35</b>	57,31	0,57	14,55	4,72	0,12	4,13	5,79	1,70	2,30	0,23	8,52	21	97	175	17	95	58	158	100	140	23	166	9	476	35	59	24	14
<b>C5 0.8</b>	59,27	0,58	14,81	4,74	0,12	4,25	5,22	1,80	2,40	0,17	6,65	23	95	163	16	92	59	147	102	140	22	167	10	477	27	52	15	18
<b>C5 1.65</b>	60,14	0,54	14,22	4,48	0,12	3,91	5,47	1,79	2,34	0,10	6,89	19	94	154	13	85	28	88	99	138	20	165	9	478	27	58	13	14
<b>C5 2.8</b>	59,14	0,55	14,53	4,63	0,12	4,02	5,10	1,81	2,36	0,13	7,61	32	126	180	25	107	36	108	124	134	27	162	11	470	41	75	12	16

## Bibliografia

- AGUZZI M., AMOROSI A., COLALONGO M.L., RICCI LUCCHI M., ROSSI V., SARTI G., VAIANI S.C. 2007, *Late Quaternary climatic evolution of the Arno coastal plain (Western Tuscany, Italy) from subsurface data*, in «Sedimentary geology», 201, pp. 211-229.
- ALBANI A.D., SERANDREI BARBERO R. 1990. *I Foraminiferi della Laguna e del Golfo di Venezia*, in «Memorie della Società Geologica Padova», 42, pp. 271-341.
- AMMERMAN A.J. 1998, *Environmental archaeology in the Velabrum, Rome: interim report*, in «Journal of Roman Archaeology», 11, pp. 213-223.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., FIORINI F., FUSCO F., PASINI G., VAIANI S.C., SARTI G. 2004, *Paleogeographic and paleoclimatic evolution of the Po plain from 150-KY core records*, in «Global and Planetary Change», 40, pp. 1-24.
- AMOROSI A., SARTI G., ROSSI V., FONTANA V. 2008, *Anatomy and sequence stratigraphy of the late Quaternary Arno valley fill (Tuscany, Italy)*, in «GeoActa», Special Publication 1, pp. 117-129.
- AMOROSI A., RICCI LUCCHI M., ROSSI V., SARTI G. 2009, *Climate change signature of small-scale parasequences from Lateglacial–Holocene transgressive deposits of the Arno valley fill*, in «Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology», 273, pp. 142-152.
- AMOROSI A., SAMMARTINO I., SARTI G. sottoposto a revisione, *Background levels of potentially toxic metals from soils of Pisa coastal plain (Tuscany, Italy) as identified from sedimentological criteria*, in «Environmental Earth Sciences»
- ANICHINI F., BINI D., BINI M., DUBBINI N., FABIANI F., GATTIGLIA G., GIACOMELLI S., GUALANDI M.L., PAPPALARDO M., ROSSI V., SARTI G., STEFFE' S. 2012, *Acquisizione di dati archeologici, geomorfologici e stratigrafici per l'area urbana e periurbana di Pisa ed analisi preliminari*, in «MapPapers 1, 2011», pp.55-56
- ANICHINI F., FABIANI F., GATTIGLIA G., GUALANDI M.L. 2012, *MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico, vol.1*, Roma.
- ATHERSUCH J., HORNE D.J., WHITTAKER J.E. 1989, *Marine and brackish water ostracods*, in KERMAK D.M., BARNES R.S.K. (eds.) «Synopses of the British Fauna (New Series)», 43, Brill E.J., Leiden, pp. 1-343.
- BATTEN D.J. 1996, *Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation*, in JANSONIUS J., MCGREGOR D.C. (eds.) «Palynology: Principles and applications», American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 3, pp. 1011-1064.
- BENVENUTI M., MARIOTTI LIPPI M., PALLECCHI P., SAGRI M. 2006, *Late-Holocene catastrophic floods in the terminal Arno River (Pisa, Central Italy) from the story of a Roman riverine harbour*, in «The Holocene», 16, pp. 863-876.
- BINI M., BRÜCKNER H., CHELLI A., PAPPALARDO M., DA PRATO S., GERVASINI L. 2012, *Palaeogeographies of the Magra Valley coastal plain to constrain the location of the Roman harbour of Luna (NW Italy)*, in «Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology», 337-338, pp. 37-51.
- BONADUCE G., CIAMPO G., MASOLI M. 1975, *Distribution of Ostracoda in the Adriatic Sea*, in «Pubblicazione Stazione Zoologica di Napoli», 40, pp. 1-304.
- BONDESÀN M., CIBIN U., COLALONGO M.L., PUGLIESE N., STEFANI M., TSAKIRIDIS E., VAIANI S.C., VINCENZI S., 2006, *Benthic communities and sedimentary facies recording late Quaternary environmental fluctuations in a Po Delta subsurface succession (Northern Italy)*, in COCCIONI R., LIRER F., MARSILI A. (eds.) «Proceedings of the Second and Third Italian Meeting of Environmental Micropaleontology», The Grzybowski Foundation Special Publication, 11, Krakow, pp. 21-31.
- BUTZER K.W. 2008, *Challenges for a cross-disciplinary geoarchaeology: The intersection between environmental history and geomorphology*, in «Geomorphology», 101, pp. 402-411.
- CARBONI M.G., BERGAMIN L., DI BELLA L., IAMUNDO F., PUGLIESE N. 2002, *Palaeoecological evidences from foraminifers and ostracods on Late Quaternary sea-level changes in the Ombrone river plain (central Tyrrhenian coast, Italy)*, in «Geobios», 35, Mémoire Spécial 24, pp. 40-50.
- CARBONI M.G., BERGAMIN L., DI BELLA L., ESU D., PISEGNA CERONE E., ANTONIOLI F., VERRUBBI V. 2010, *Palaeoenvironmental reconstruction of late Quaternary foraminifera and molluscs from the ENEA borehole (Versilian plain, Tuscany, Italy)*, in «Quaternary Research», 74, pp. 265-276.
- COCCIONI R., FRONTALINI F., MARSILI A., MANA D. 2009, *Benthic foraminifera and trace element distribution: A case-study from the heavily polluted lagoon of Venice (Italy)*, in «Marine Pollution Bulletin», 59, pp. 257-267.
- COMBAZ A., 1964, *Les palinofaciès*, in «Revue de Micropaléontologie», 7, pp. 205-218.
- CORTECCI G., DINELLI E., BOSCHETTI T., ARBIZZANI P., POMPILIO L. 2008, *The Serchio River catchment, northern Tuscany: Geochemistry of stream waters and sediments, and isotopic composition of dissolved sulfate*, in «Applied Geochemistry», 23, pp. 1513-1543.

- DINELLI E., CORTECCI G., LUCCHINI F., ZANTEDESCHI E. 2005, *Sources of major and trace elements in the stream sediments of the Arno river catchment (northern Tuscany, Italy)*, in «Geochemical Journal», 39, pp. 531-545.
- ELLIS B.F., MESSINA A.R. 1940, *Catalogue of Foraminifera*, in «American Museum of Natural History», New York.
- FIORINI F. 2004, *Benthic foraminiferal associations from Upper Quaternary deposits of southeastern Po Plain, Italy*, in «Micropaleontology», 50, pp. 45-58.
- FIORINI F., VAIANI S.C. 2001, *Benthic foraminifers and transgressive-regressive cycles in the Late Quaternary subsurface sediments of the Po Plain near Ravenna (Northern Italy)*, in «Bollettino della Società Paleontologica Italiana», 40, pp. 357-403.
- FRANZINI M., LEONI L., SAITTA M. 1972, *A simple method to evaluate the matrix effects in X-ray fluorescence analysis*, in «X-Ray Spectrometry», 1, pp. 151-154.
- FRANZINI M., LEONI L., SAITTA M. 1975, *Revisione di una metodologia analitica per fluorescenza-X basata sulla correzione completa degli effetti di matrice*, in «Rendiconti Società Italiana Mineralogica e Petrologica», 31, pp. 365-378.
- GHILARDI M., FOAUCHE E., QUEYREL F., SYRIDES G., VOVALDIS K., KUNESCH S., STYLLAS M., STYROS S. 2008, *Human occupation and geomorphological evolution of Thessaloniki Plain (Greece) since mid Holocene*, in «Journal of Archeological Science», 35, pp. 111-125.
- GHILARDI M., BORAİK M. 2011, *Reconstructing the Holocene depositional environments in the western part of Ancient Karnak temple complex (Egypt): a geoarchaeological approach*, in «Journal of Archeological Science», 38, pp. 3204-3216.
- HENDERSON P.A. 1990, *Freshwater Ostracods*, in KERMACK D.M., BARNES R.S.K. (eds.) «Synopses of the British Fauna (New Series)», 43, Brill E.J., Leiden, New York, Kopenaghen, Köln, pp. 1-228.
- JORISSEN F.J. 1988, *Benthic Foraminifera from the Adriatic Sea; principles of phenotypic variation*, in «Utrecht Micropaleontological Bulletin», 37, pp. 1-176.
- LEONI L., SAITTA M. 1976, *X-ray fluorescence analysis of 29 trace elements in rock and mineral standard*, in «Rendiconti Società Italiana Mineralogica e Petrologica», 32, pp. 497-510.
- LEONI L., MENICHINI M., SAITTA M. 1982, *Determination of S, Cl and F in silicate rocks by X-ray fluorescence analysis*, in «X-Ray Spectrometry», 11, pp. 156-158.
- MARRINER N., MORHANGE C., DOUMET-SERHAL C. 2006, *Geoarchaeology of Sidon's ancient harbours, Phoenicia*, in «Journal of Archaeological Science», 33, pp. 1514-1535.
- MATTHEWS W. 2010, *Geoarchaeology and taphonomy of plant remains and microarchaeological residues in early urban environments in the Ancient Near East*, in «Quaternary International», 214, pp. 98-113.
- MAZZINI I., ANADÓN P., BARBIERI M., CASTORINA F., FERRELI L., GLIOZZI E., MOLA M., VITTORI E., 1999, *Late Quaternary sea-level changes along the Tyrrhenian coast near Orbetello (Tuscany, Central Italy): paleoenvironmental reconstruction using ostracods*, in «Marine Micropaleontology», 37, pp. 289-311.
- MEISCH C. 2000, *Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe*, in SCHWOERBEL J., ZWICK P. (eds.) «Süeswasserfauna von Mitteleuropa», 8/3, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, pp. 1-522.
- MONTENEGRO M.E., PUGLIESE N. 1996, *Autecological remarks on the ostracod distribution in the Marano and Grado Lagoons (Northern Adriatic Sea Italy)*, in «Bollettino della Società Paleontologica Italiana», 3, pp. 123-132.
- MURRAY J.W. 2006, *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*, Cambridge University Press, Cambridge.
- PARIBENI E., FABIANI F., PISTOLESI M. 2005, *Massarosa (LU). Area Archeologica di Massaciuccoli: i carotaggi nel sito della ex scuola elementare*, in «Notiziario della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana», 1, pp. 50-54.
- POWELL A.J., DODGE J.D., LEWIS J. 1990, *Late Neogene to Pleistocene palynological facies of the Peruvian continental margin upwelling, Leg 112*, in SUESS E., VON HUENE R. et al. (eds.) «Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results», 112, pp. 297-321.
- REILLE M. 1992-98, *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*, in «Laboratoire de botanique historique et palynologie», Marseille.
- REIMER P.J., BAILLIE M.G.L., BARD E., BAYLISS A., BECK J.W., BLACKWELL P.G., BRONK RAMSEY C., BUCK C.E., BURR G.S., EDWARDS R.L., FRIEDRICH M., GROOTES P.M., GUILDERSON T.P., HAJDAS I., HEATON T.J., HOGG A.G., HUGHEN K.A., KAISER K.F., KROMER B., MCCORMAC F.G., MANNING S.W., REIMER R.W., RICHARDS D.A., SOUTHON J.R., TALAMO S., TURNEY C.S.M., VAN DER PLICHT J., WEYHENMEYER C.E. 2009, *INTCAL 09 and MARINE09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years Cal BP*, in «Radiocarbon», 51, pp. 1111-1150.
- RICCI LUCCHI M. 2008, *Vegetation dynamics during the last interglacial-glacial cycle in the Arno coastal plain (Tuscany, western Italy): location of a new tree refuge*, in «Quaternary Science Reviews», 27, pp. 2456-2466.
- ROSSI V., AMOROSI A., SARTI G., POTENZA M. 2011, *Influence of inherited topography on the Holocene sedimentary evolution of coastal systems: an example from Arno coastal plain (Tuscany, Italy)*, in «Geomorphology», 135, pp. 117-128.

- RUIZ F., GONZALEZ-REGALADO M.L., BACETA J.I., MENEGAZZO-VITTURI L., PISTOLATO M., RAMPAZZO G., MOLINAROLI E. 2000, *Los ostracodos actuales de la laguna de Venecia (NE de Italia)*. [*Les ostracodes actuels de la lagune de Venise (NE Italie)*] [*Recent ostracods from the Venice lagoon (NE Italy)*], in «Geobios», 33, pp. 447-454.
- SGARRELLA F., MONCHARMONT ZEI M. 1993, *Benthic foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): systematics and autoecology*, in «Bollettino della Società paleontologica Italiana», 32, pp. 145-264.
- TRONCI P. 1640, *Descrizione delle Chiese, Monasteri et oratorii della citta' di Pisa*, Ms. Archivio Capitolare di Pisa, p. 18 .
- WENTWORTH CK. 1922, *A scale of grade and class terms for clastic sediments*, in «Journal of Geology», 30, pp. 377-392.



Quest'opera è stata rilasciata con licenza Creative Commons Attribuzione 3.0 Unported. Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/> o spedisci una lettera a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.