

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

**FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E
NATURALI**

Corso di laurea magistrale in SCIENZE PER L'AMBIENTE

**Evoluzione della composizione chimica dei sedimenti
della pianura Romagnola: evoluzione dei tenori di fondo**

Tesi di Laurea in GEOCHIMICA

Relatore

Prof. Enrico Dinelli

Presentata da

Francesca Amato

(III SESSIONE)

Anno Accademico 2012/2013

INDICE

CAPITOLO I:

- Obiettivo e introduzione
- Individuazione area di studio
- Inquadramento geologico-strutturale
- Evoluzione della costa

CAPITOLO II:

- Metodi e materiali
- Studio facies stratigrafiche e litologia
- Analisi e distribuzione elementi
- Rappresentazione grafica

CAPITOLO III

- Osservazioni e conclusioni

ALLEGATI

BIBLIOGRAFIA

OBIETTIVO TESI:

L'obiettivo del seguente lavoro di tesi è stato:

- Studio e classificazione dei sedimenti e della litologia riferiti alla zona di studio secondo gli schemi proposti da (Amorosi et alii) in diversi lavori pubblicati.
- Realizzazione di un database utilizzabile per studi successivi
- Elaborazione dei dati ottenuti per la realizzazione di un modello stratigrafico per la caratterizzazione dell'area, con rappresentazione grafica attraverso l'utilizzo del software Rockworks.
- Conclusioni discussione finale dei risultati ottenuti.

CAPITOLO I

INDIVIDUAZIONE AREA DI STUDIO

L'area di studio include la zona costiera della regione Emilia-Romagna compresa tra il fiume Savio ed il fiume Po, ed include i territori delle provincie di Ravenna e Ferrara.

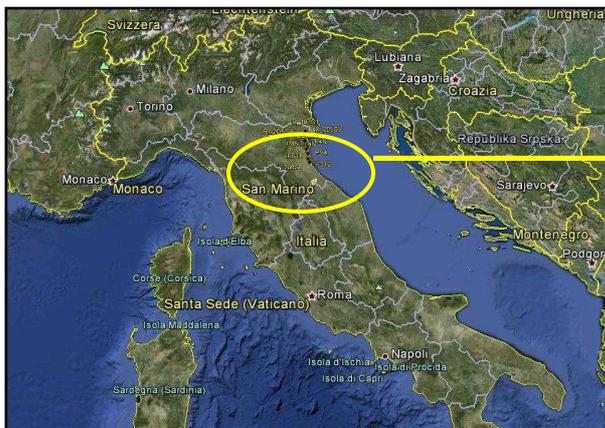


Fig. 1 Area di studio: Costa Nord-occidentale Adriatica compresa tra le provincie di Ferrara e Ravenna.

I sondaggi oggetto del mio studio sono compresi , rispettivamente nei Fogli della cartografia 1:50000 numero 223 e 240 che includono parte del territorio costiero della provincia di Ravenna e numero 205 e 187 per la parte costiera della provincia di Ferrara.

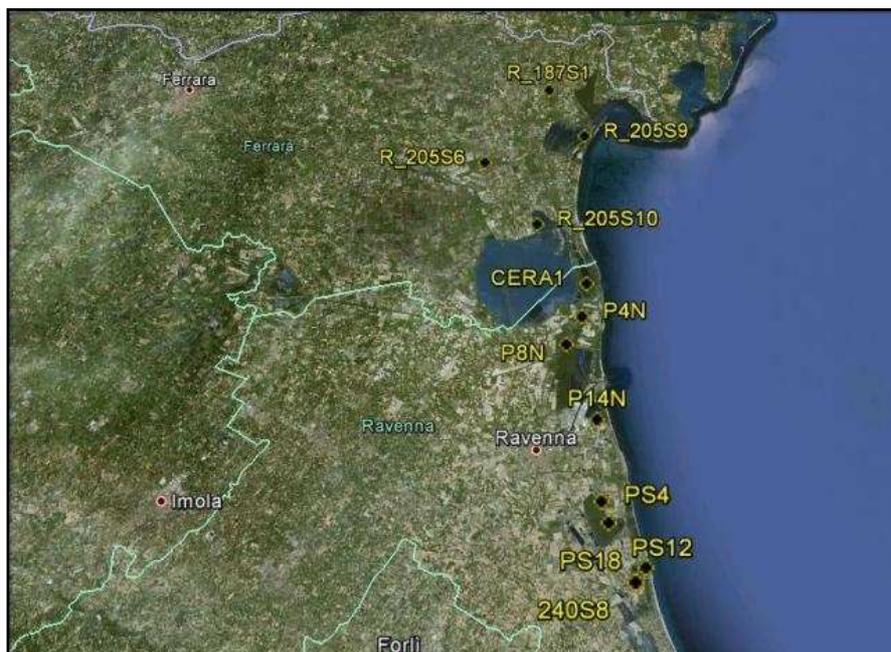


Fig.n 2 - ubicazione dei sondaggi considerati nel presente studio

Tabella n.3 – posizione geografica dei sondaggi considerati, coordinate chilometriche UTM32, datum ED50

sondaggio	foglio	provincia	E	N
240 S8	240	RA	765521	4909359
PS 18	223	RA	766485	4910965
PS 12	223	RA	762568	4915303
PS4	223	RA	761715	4917496
P14N	223	RA	760792	4926497
P8N	223	RA	756932	4935172
P4N	223	RA	758447	4938727
CERA 1	205	FE	758734	4942977
205 S10	205	FE	752487	4950575
205 S9	205	FE	757264	4963676
205 S6	205	FE	745524	4958948
187 S1	187	FE	752431	4970509

INQUADRAMENTO GEOLOGICO -STRATIGRAFICO

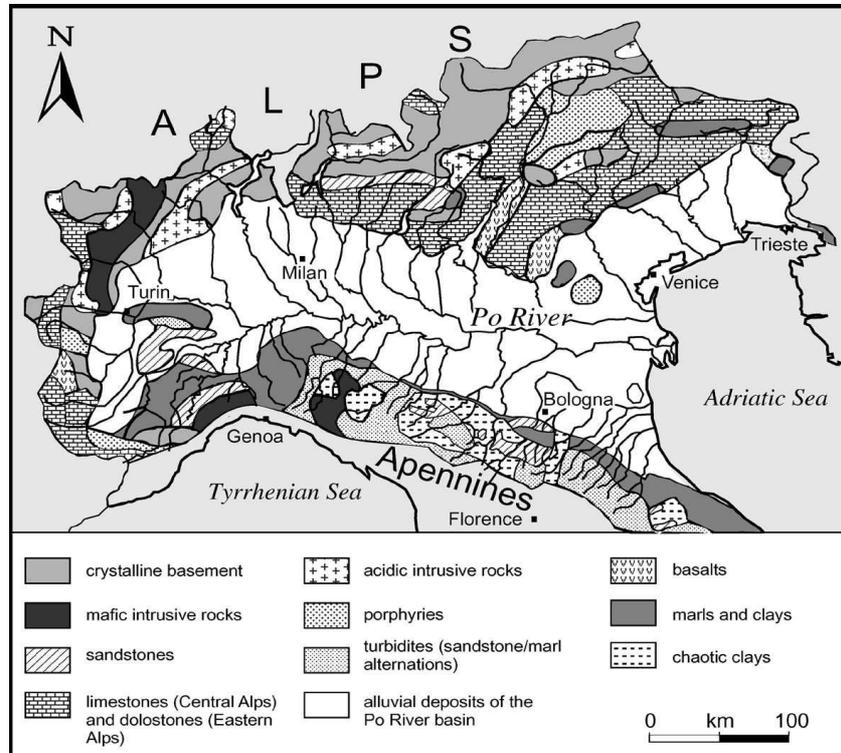


Fig. 4 Mappa schema litologica del bacino di drenaggio del fiume Po

L'area oggetto del mio studio (Fig.G 1) è costituita dalla parte terminale della grande pianura alluvionale del territorio italiano ed è drenata dal fiume Po, il drenaggio del bacino del Po si estende su un'area di circa 75.000 km², il fiume riceve affluenti che drenano entrambe le Alpi a nord e gli Appennini a sud. Diversi corsi d'acqua minori oggi sfociano direttamente nel Mare Adriatico provenienti dagli Appennini, ma durante il Pleistocene il livello del mare ha subito fasi di low-stand; essi erano affluenti di un sistema fluviale importante che scorreva verso sud nella zona centrale dell' Adriatico (Cantelli, 2004). Recenti indagini geologiche associate a una campagna di perforazione estesa promossa dal Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna come parte del progetto di cartografia geologica d'Italia, hanno fornito dati per una migliore

caratterizzazione dell'area dei depositi tardo quaternari. (Amorosi et al. 1999b, 1999c, 2003, 2004) hanno descritto in dettaglio l'architettura e l'evoluzione dei depositi del tardo Pleistocene- olocenici (meno di 125 k.y.). I depositi sono caratterizzati da un alternarsi ciclico di depositi alluvionali di età risalenti al Pleistocene sovrastato da un ciclo trasgressivo-regressivo che è costituito da depositi litorali a bassa-marine di età Olocenica.

Questa evoluzione ciclica di ambienti sedimentari interessa la parte centrale pianura padana (sondaggi 187-S1, 205S-10), mentre nei sondaggi più vicini alla catena appenninica la sedimentazione è caratterizzata esclusivamente da depositi alluvionali di pianura.

Provenienza

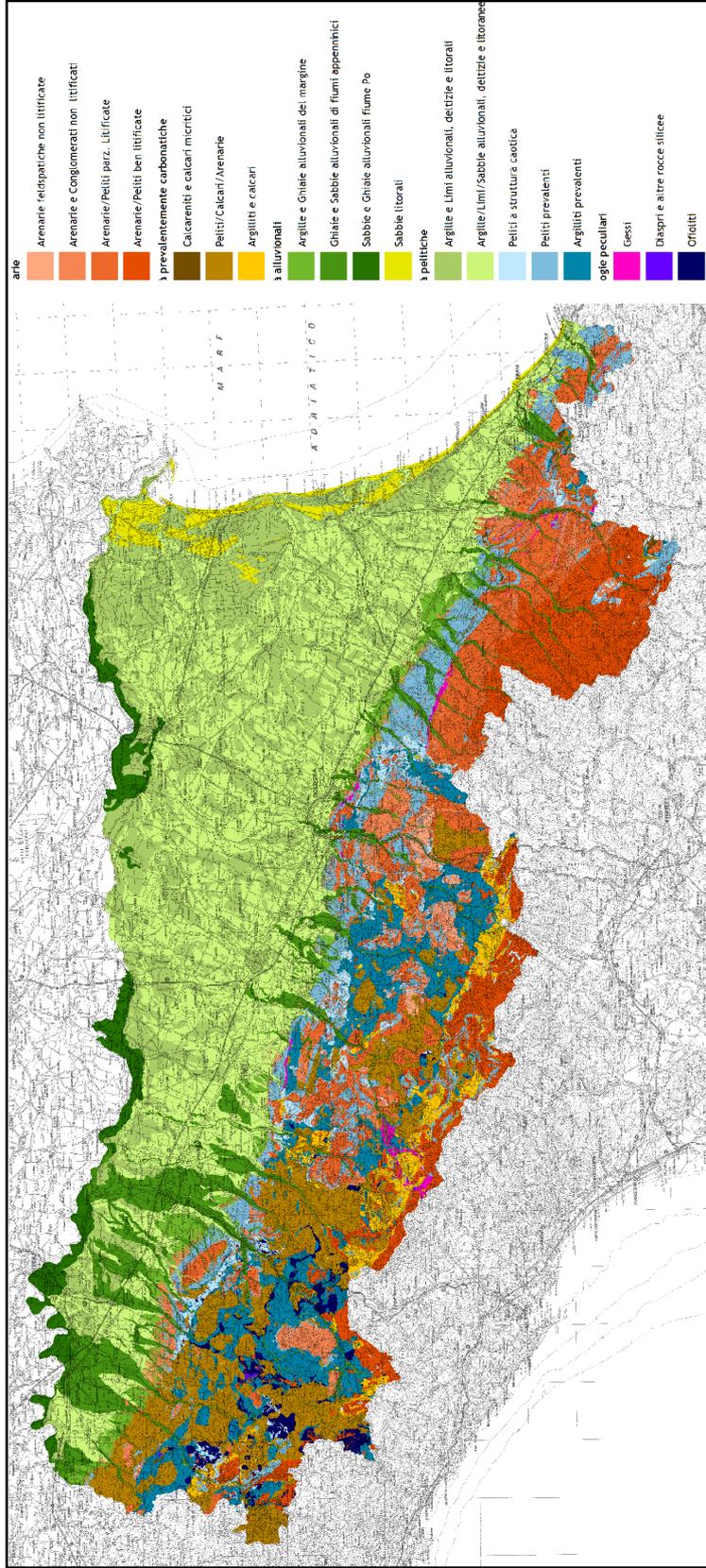
Calcari, rocce felsiche, intrusive, ed arenarie formano le unità principali degli affioramenti delle Alpi occidentali e centrale. Al contrario, dolomie sono particolarmente abbondanti nelle Alpi orientali. Alpi nord-occidentali sono costituite da rocce metamorfiche e complessi ofiolitici.(Amorosi, Dinelli, et al. 2002)

Una percentuale notevole di detriti mafici-ultramafici sono dovuti al sistema di drenaggio del fiume Po , che costituiscono una unica fonte per la Pianura Padana.

La geologia della regione appenninica è costituita prevalentemente da rocce sedimentarie riconducibili al periodo Pliocene. Nell' Appennino Emiliano a ovest del fiume Sillaro, i bacini di drenaggio sono dominati da rocce argillose caotiche delle unità liguridi che inglobano blocchi di varie dimensioni, anche chilometriche, di rocce diverse (calcari, arenaie, alternanze arenarie-argille. Un ulteriore, anche se volumetricamente ridotta, componente litologica significativa è costituita da rocce mafiche-intrusive nel bacino del fiume Po

è presente nella sezione ligure-emiliano della catena settentrionale appenninica.

Negliappennini romagnoli, a est del fiume Sillaro, il maggior contributo è data dalla formazione del Miocene marnoso-arenacea, un corpo di torpiditi di spessore plurichilometrico costituito da un alternarsi di arenarie e marne.



I depositi Plio-Pleistocenici della pianura ravennate sono caratterizzati da un assetto strutturale che si può desumere da lavori realizzati su scala regionale, da Pieri e Groppi (1981) e dal CNR (1990).

Tali lavori mostrano che la struttura del sottosuolo è costituita da una serie di pieghe e thrust ad andamento parallelo con orientazione NO-SE, le cosiddette *pieghe romagnole*.

Tale assetto crea inevitabilmente la presenza di una fascia di anticlinali e fronti di sovrascorrimento che si allineano fra Cesena e Cotignola e che rappresentano un imponente alto strutturale che innalza la base del Pliocene, portandola a quota inferiori ai 1000-1500 m.

Tra Forlì e Faenza è invece presente un'area di basso strutturale, dove la base del Pliocene è posizionata al di sopra dei 5000 m di profondità; essa, però trova il suo punto massimo di profondità, ossia superiore ai 9000 m, verso NE, tra la foce del Fiume Savio e l'area tra Ravenna e Russi, dove è presente un depocentro. Ovviamente i depositi quaternari della Pianura Padana hanno un assetto strutturale che riflette in parte l'andamento della base del Pliocene appena descritta.

Esso è desumibile e illustrato nei lavori (sezioni geologiche) realizzati da Regione Emilia-Romagna e Eni-Agip (1998) da cui risulta evidente il controllo strutturale sulle geometrie dei depositi quaternari, i cui spessori oscillano fra 0-600 m circa; queste ricerche evidenziano anche una notevole espansione stratigrafica dei depositi del Pleistocene medio/superiore da S-O verso N-E, ossia dal margine appenninico alla piana costiera.

Inoltre il bacino è suddiviso in due aree, la prima è situata a S-O fra il margine appenninico e l'alto strutturale di Forlì, mentre la seconda si trova a N-O tra gli alti strutturali di Forlì e Ravenna.

Stratigrafia del sottosuolo della pianura padana

I depositi che costituiscono l'ossatura della pianura padana costituiscono il riempimento del bacino di avana fossa di età plio-quadernaria, compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord. I caratteri strutturali di tale bacino sono stati ampiamente documentati attraverso studi dall'AGIP. Tali studi hanno evidenziato che lo spessore complessivo delle unità quadernarie è di 1000-1500 metri. L'evoluzione sedimentaria plio-quadernaria del bacino padano registra una generale tendenza "regressiva", identificata al margine appenninico da Ricci Lucchi et alii,(1982) da depositi marini di ambiente meno profondo fino a depositi continentali.

Questa chiara superficie di inconformità ha permesso di identificare due tipi di cicli sedimentari principali, uno marino (Qm) e uno continentale (Qc).(Fig.G3)

Recentemente la superficie di discontinuità che separa i cicli Qm e Qc è stata identificata da Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP (1998) nel sottosuolo della Pianura Padana, in corrispondenza del limite tra Supersistema del Quadernario marino (Qm) e il sovrastante Supersistema Emiliano-Romagnolo (Qc).

Il sottosuolo della piana costiera romagnola è caratterizzato dall'organizzazione ciclica di depositi marini e continentali in successioni di vario ordine per un centinaio di metri di spessore. Recenti studi basati sull'interpretazione di profili sismici integrati da dati profondi di pozzo, forniscono un quadro stratigrafico generale dei depositi quadernari nell'area ravennate, mostrando come il Supersintema Emiliano-Romagnolo presenti in questo settore di pianura uno spessore complessivo di circa 600-700 m e possa essere suddiviso in due sintemi (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore), con spessore in tutte e due i casi di circa 300 m.

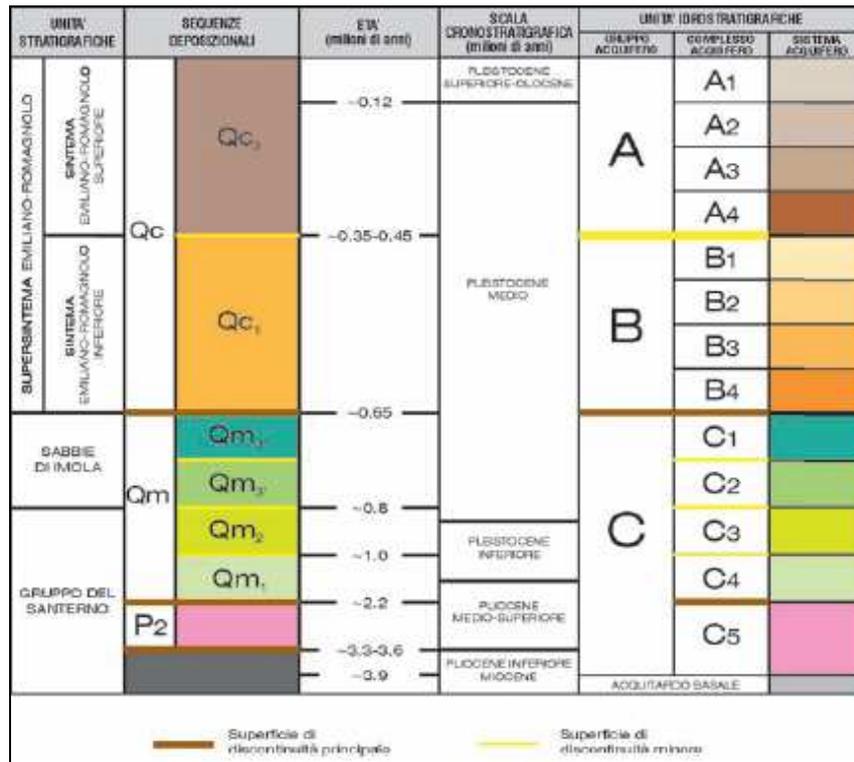


Fig. 5 Schema stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-pleistocenici del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche (Regione Emilia Romagna e ENI-AGIP, 1998 e Amorosi et alii, 1999a).

Il Supersistema emiliano romagnolo

Il Supersistema Emiliano Romagnolo comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico e i sedimenti ad essi correlati che si sviluppano nel sottosuolo della pianura (Amorosi et alii, 2002).

Al margine appenninico affiorano solamente depositi di tipo alluvionale che presentano un limite inferiore inconforme (Ricci Lucchi et alii, 1982), evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali (Sabbie di Imola) e marini (Gruppo del Santerno) del Supersistema Quaternario Marino (Qm).

Nel sottosuolo della pianura invece il Supersintema è costituito da depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini che, disponendosi in successioni cicliche di vario ordine gerarchico, poggiano in discordanza angolare su depositi correlabili alle Sabbie di Imola .

Dallo schema stratigrafico-sequenziale si può notare come il ciclo continentale **Qc**, denominato Supersintema Emiliano Romagnolo, sia diviso al suo interno in due unità stratigrafiche di rango minore definiti Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore e Sintema Emiliano Romagnolo Superiore che sono stati prima definiti al margine appenninico e poi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (Amorosi & Farina, 1995; Regione Emilia Romagna e ENI-AGIP, 1998) mediante il riconoscimento di una unconformity di origine tettonica (fase di sollevamento della catena appenninica) datata Pleistocene medio (350000-450000 anni fa).

Una sezione geologica della pianura emiliano romagnola relativa alla zona di Forlì (Fig.G4) mostra come ciascuno di questi due Sintemi sia a sua volta suddiviso in quattro unità di rango inferiore (Subsintemi) testimonianze di una ciclicità glacio-eustatica del quarto ordine, ovvero di un'alternanza di depositi marini e continentali dovuta al cambiamento ciclico del livello del mare.

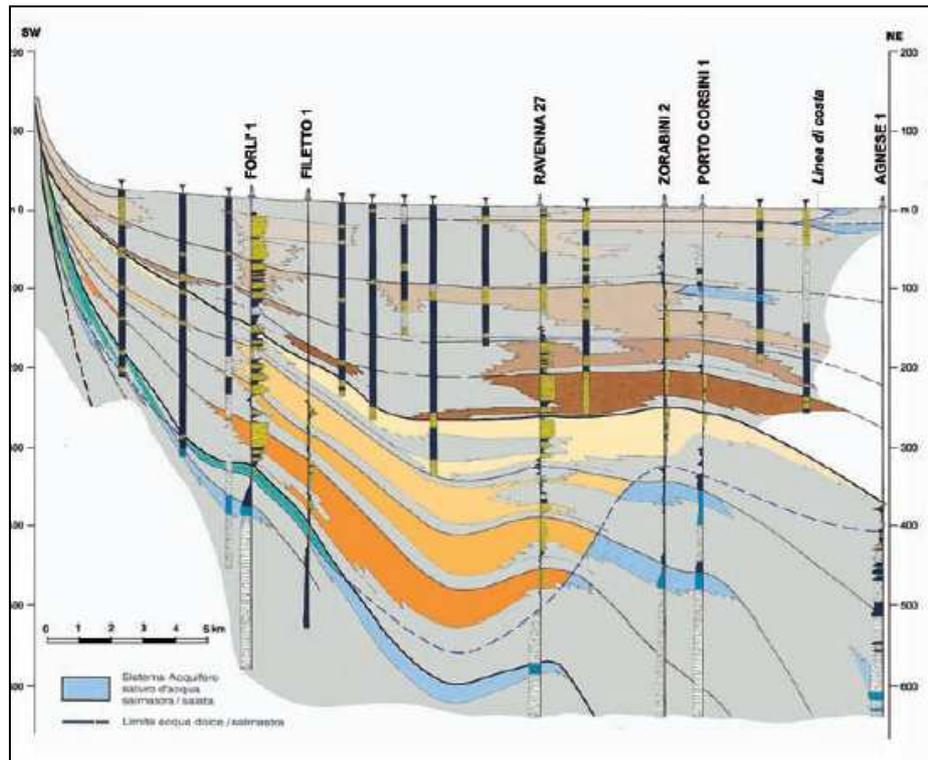


Fig. 6 Sezione geologica del sottosuolo della pianura romagnola con correlazioni stratigrafiche all'interno del Supersistema Emiliano-Romagnolo (Regione Emilia Romagna e ENI-AGIP, 1998)

Il Sintema emiliano romagnolo superiore

Il Sintema Emiliano Romagnolo Superiore rappresenta come già detto la parte sommitale del Supersistema Emiliano Romagnolo ricoprendo temporalmente gli ultimi 350000-450000 anni (Pleistocene medio-Olocene) e nell'area ravennate ha spessore compreso tra 250-290 metri. Al margine appenninico, questo Sintema comprende prevalentemente sedimenti grossolani di conoide alluvionale e terrazzo fluviale che poggiano in lieve discordanza angolare su depositi fini di piana alluvionale, appartenenti al Qc1 (Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore), o in forte discordanza su unità più antiche (Amorosi et alii, 2002). Nel sottosuolo del bacino padano invece i depositi continentali, deltizi, litorali e marini che

organizzati in quattro cicli deposizionali (Amorosi e Farina, 1995;) costituiscono il Sintema Emiliano Romagnolo Superiore poggiano localmente in discontinuità stratigrafica sul Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (Regione Emilia Romagna e ENI-AGIP, 1998).

Integrando i dati derivanti dall'esecuzione di pozzi per acqua con l'analisi di sondaggi a carotaggio continuo (Amorosi et alii, 1999b; Amorosi et alii, 2004) è stato possibile ricostruire la stratigrafia dei 120 metri più superficiali del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore.

Oltre ai depositi legati all'ultimo episodio trasgressivo (Olocene), gli altri depositi litorali e marini all'interno del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore costituiscono a circa 100-120 metri di profondità un corpo sedimentario tabulare che spostandosi verso l'entroterra tende a chiudersi definendo un cuneo di sedimentazione contenente al suo interno sabbie litorali in prevalenza su argille di pro-delta e di transizione alla piattaforma (Amorosi et alii, 2002).

Al di sopra del cuneo "marino" si sviluppano alcune decine di metri di sedimenti per lo più argillosi di piana deltizia con orizzonti torbosi riconoscibili lungo tutta pianura emiliana romagnola (Amorosi et alii, 2002). A 50-70 metri di profondità si estende invece una fascia (channel belt) di corpi sabbiosi nastriformi di notevole spessore (fino a 20 metri) che segna il passaggio ad un ambiente di piana alluvionale testimonianza di una fase glaciale e di una conseguente caduta del livello del mare (Amorosi et alii, 2004). Questo intervallo stratigrafico è costituito soprattutto da argille e limi di piana inondabile con orizzonti pedogenizzati segnalati dalla presenza di concrezioni carbonatiche (calcinelli) e superfici di scorrimento e pressione. Uno di questi risulta essere particolarmente sovra-consolidato e viene considerato come la base dei depositi olocenici che costituiscono l'ultimo ciclo trasgressivo regressivo (Subsintema di Ravenna) alla sommità del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore. Questo orizzonte viene identificato come un paleo-suolo che rappresenta uno iato deposizionale di circa 15000 anni dal momento che i depositi

sotto di esso hanno un'età di 25000 anni, mentre quelli sopra di esso sono stati datati come risalenti a 8790 anni fa (Amorosi et alii, 2002).

Nell'area ravennate studi condotti da (Amorosi et alii 2004) su sondaggi a carotaggio continuo hanno evidenziato come la disposizione ciclica di facies all'interno del Sistema Emiliano Romagnolo Superiore abbia una relazione con le associazioni polliniche all'interno dei sedimenti; quindi si è dimostrato come l'impilamento stratigrafico e l'evoluzione climatica siano strettamente correlati tra loro e come siano stati entrambi controllati da fluttuazioni glacio-eustatiche. I depositi marino-marginali "trasgressivi", costituiti dai due cunei sabbiosi situati tra 125 e 105 metri e tra i 27 e i 4 metri, testimoniano difatti condizioni climatiche di tipo interglaciale registrando valori piuttosto alti di concentrazione pollinica con particolare predominanza di elementi arborei tra cui spiccano specie termofile come *Quercus*. D'altro canto invece gli intervalli "regressivi" che si interpongono fra i due cunei e che sono occupati da depositi alluvionali registrano basse concentrazioni polliniche con predominanza di *Pinus* e specie non arboree (NAP) confermando quindi un clima di tipo glaciale.

CODICE	LITOFACIES	ASSOCIAZIONE DI FACIES (UNITÀ CARTOGRAFICA)	ELEMENTO DEPOSIZIONALE	SISTEMA DEPOSIZ.
A1	argille di piana inondabile	piana inondabile	piana alluvionale	sistema alluvionale
A2	limi e sabbie di argine	canale, argine e rotta fluviale		
A3	sabbie di canale fluviale			
A4	sabbie di ventaglio di rotta			
D	sabbie e limi di canale distributore	canale distributore, argine e rotta	piana deltizia	sistema deltizio - litorale
P1	argille di palude salmastra	area interdistributrice, retrocordone	piana deltizia piana di sabbia	
P2	torbe di palude salmastra			
L1	argille lagunari			
L2	sabbie e argille lagunari			
S1	sabbie di spiaggia sommersa inferiore	cordone litorale	fronte deltizia piana di sabbia	
S2	sabbie di spiaggia sommersa superiore/spiaggia intertidale			
S3	sabbie e limi di spiaggia emersa			
M1	argille e sabbie di transizione spiagge-piattaforma	prodelta e transizione alla piattaforma	prodelta e transizione alla piattaforma	
M2	argille e sabbie di prodelta			
B1	limi e argille di laguna/baia	retrobarriera (non affiorante)	complesso barriera/laguna	
B2	argille e torbe di laguna/baia			
B3	argille di palude di acqua dolce			
T1	lag conchigliare	barriera trasgressiva (non affiorante)		
T2	sabbie limose marine fossilifere			

Fig. 7 Schema delle unità stratigrafico-deposizionali all'interno del Subsistema di Ravenna e loro relazione stratigrafica nel sottosuolo della pianura ravennate (Amorosi et alii, 2002).

INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

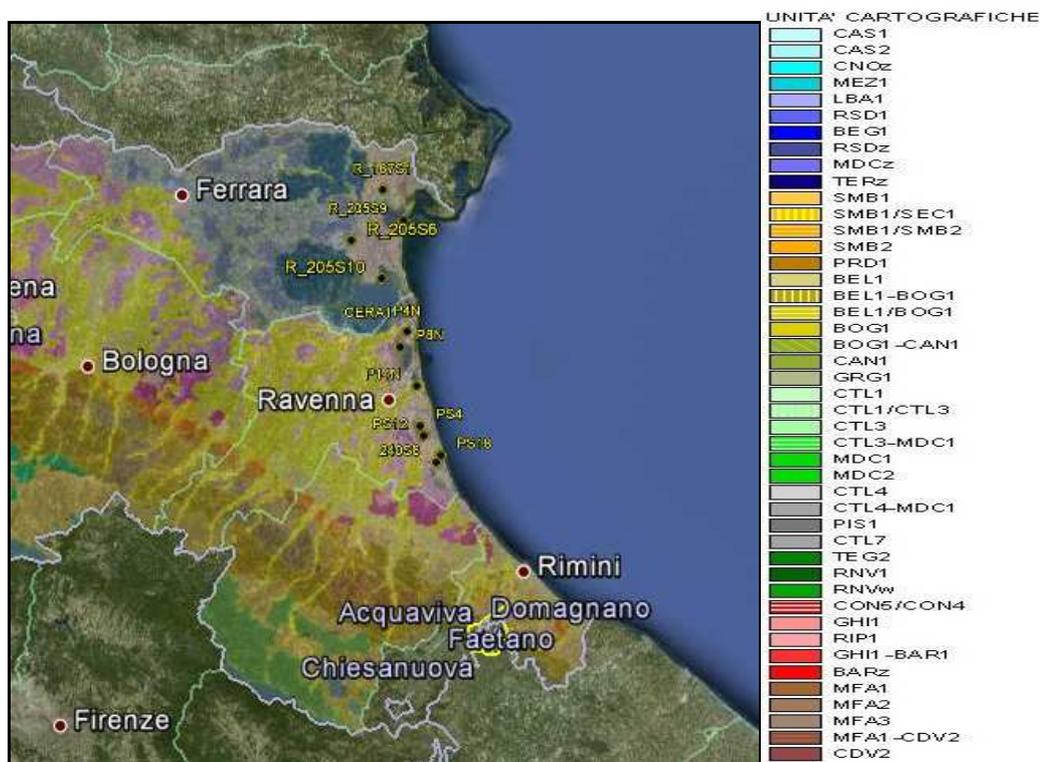


Fig. 7 Carta pedologica Pianura Romagnola, tratta da Carta dei suoli dell'Emilia-Romagna (Scala 1:250.000), Servizio Geologico, Sismico e dei suoli (Regione Emilia-Romagna)

L'area presa in oggetto dal mio studio è caratterizzata da diverse unità cartografiche; ognuna di esse è identificata con un numero seguito da una lettera.

EVOLUZIONE DELLA COSTA

La composizione litologica e i processi stratigrafici sono stati condizionati molto da avvenimenti che hanno modificato l'evoluzione della costa Nord-occidentale dell'Adriatico; in particolare processi naturali e antropici di diversa provenienza possono causare processi come intrusione salina, e subsidenza.

Diversi studi effettuati hanno fornito un quadro generale, relativo all'evoluzione della Pianura Padana , relativa Tardo Quaternario, della struttura stratigrafica che risale l'ultimo Post-Glacial Maximum (LGM).

Durante LGM (24,0-14,5 ka BP), il livello del mare è sceso 120 m sotto il livello attuale del mar Adriatico settentrionale (Curzi, Dinelli, Ricci Lucchi,2006) causando un prolungamento meridionale della Pianura Padana, portando alla formazione di una pianura alluvionale di circa 300 km². In questo periodo il clima ha esercitato un importante controllo sulla fornitura di sedimenti innescando una fase di aggradazione, corpi di sabbia amalgamata fino a 20 m di spessore sono la caratteristica dominante di sedimentazione lowstand nella zona del delta del Po.

I depositi lowstand in Romagna sono costituiti da alternanze di sabbia-argilla e sabbie di fluvio-canale (Amorosi, Fontana et Ali. 2008)

Al di sopra dei depositi alluvionali del LGM, la pianura costiera della zona di Ravenna e Comacchio, così come il sottosuolo del moderno delta del Po mostra un quadro stratigrafico molto omogeneo: che comprende un trasgressivo-regressivo ciclo deposizionale di età olocenica di circa 30 m di spessore, composto da retro-gradazionale e retro-barriera, depositi di transizione, , sedimenti di delta, e di pianura alluvionale.

L'analisi dettagliata delle facies ha permesso di individuare la massima ingressione marina durante il periodo post LGM.

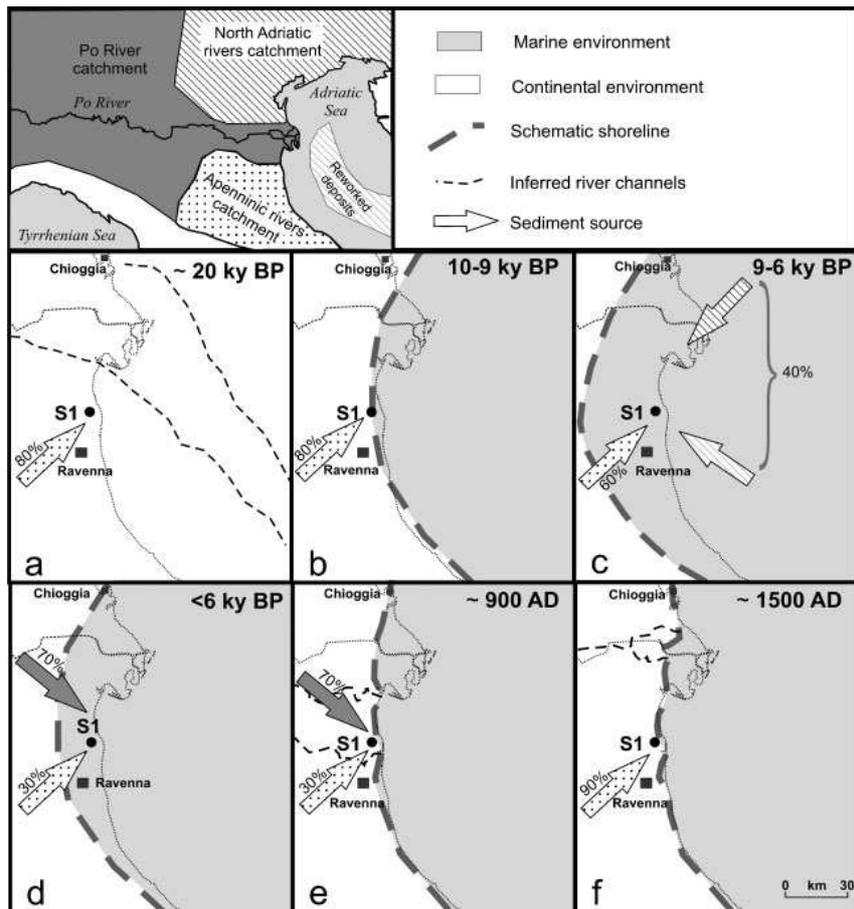


FIG.8 Evoluzione paleo ambientale relazionata alla provenienza della composizione e provenienza dei sedimenti nell'area a sud del delta del Po durante ultimo 20 Ky. Il modello indicato fa riferimento all'area di provenienza indicata nella mappa; evidenza la provienza: Appenninica ; linea continua evidenza: provenienza Nord adriatica; la parte chiara: provenienza nord adriatica ultimo Pleistocene; parte grigia evidenziata: provenienza fiume Po.

Nella pianura Padana a sud di Chioggia (vedi Fig.7) la trasgressione Olocenica ha portato alla migrazione verso terra della costa adriatica fino a 20 km a ovest della sua attuale posizione (Amorosi, Fontana et Ali. 2008). Circa 5-6 ka BP il limite terrestre dell' ambiente salmastro (laguna, estuari, palude salmastra) era di 35 km a ovest della linea di costa attuale. Durante il successivo innalzamento del livello del mare la progradazione del delta del fiume Po fu di circa 50 km.



Fig.n. 9 Massima migrazione verso terra della nearshore e ambiente salmastro durante l'Olocene nella piana costiera nord- adriatico, basato sui dati mostrati : fig.a) depositi post LGM ; b) depositi LGM e pre-LGM; c) montagne e colline; d) isobara; e) massima migrazione di ambienti salmastri; f) massima posizione verso terra del litorale; (Amorosi, Fontana et Ali. 2008)- Post LGM sedimentation and Holocene shoreline evolution in the NW Adriatic Coastal area.

Sequenze trasgressivo-regressivo sono state riconosciute in tutto il bacino Da alcuni esami effettuati su pollini, hanno confermato che la trasgressione della costa adriatica si è avuta in coincidenza del periodo interglaciale (Amorosi et al, 1999b.;2004; Amorosi e Colalongo, 2005).

CAP. II

METODI E MATERIALI

I sondaggi presi in considerazione per il mio lavoro di tesi sono stati campionati ed esaminati dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna, per i sondaggi (187S1, 205S9, 205S10, 205S6, CERA1, e 240S8), recuperati con carotaggi continui e un buon recupero.(Fig. Y1) Mentre per i sondaggi (P4N, P8N, P14N, PS4, PS18 e il PS12) sono stati campionati ed elaborati dall' I.G.R.G. (Intergrated Geoscience Research Group) di Ravenna e dalla Facoltà di Geologia dell' Università di Bologna.



Fig. 10 Esempio di carota da cui sono stati prelevati alcuni campioni per le analisi da (ISPRA- Note illustrative)

L'obiettivo del mio lavoro di tesi è stato principalmente la rielaborazione e la reinterpretazione di dati chimici ottenuti tramite l'analisi di composizione chimica totale.

L'analisi chimica dei campioni prelevati è stata effettuata su porzioni di matrice (pellet), precedentemente essiccati, descritto in Amorosi et alii

(2002), e successivamente sottoposti ad analisi mediante la Spettrometria per Fluorescenza di Raggi X (**XRF**) al fine di eseguire analisi quantitative di una vasta gamma di elementi.

L'analisi è stata effettuata attraverso l'utilizzo dello spettrometro *Philips PW 1480* con tubo ad anticatodo di rodio, utilizzando i coefficienti di *Franzini et al.* (1972; 1975), *Leoni e Saitta* (1976) e *Leoni et al.* (1982), che ha permesso di effettuare analisi di alcuni elementi principali (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn e Fe) e in traccia (Nb, Zr, Y, Sr, Rb, Ce, Ba, La, Ni, Cr, Co, S, Th, Cu, Zn,, Pb, As, Mo, V, Sc, Br e Cl).

La spettrofotometria XRF (*X-ray fluorescence spectroscopy* o *X-ray fluorescence*) è una tecnica di analisi non distruttiva che permette di conoscere la composizione elementare totale di un campione attraverso lo studio della radiazione di fluorescenza X. Tale radiazione è emessa dagli atomi del campione in seguito a eccitazione, che si ottiene tipicamente irraggiando il campione con raggi X ad alta energia.

L'accuratezza nella determinazione degli elementi in traccia è del 5%, ad eccezione degli elementi con concentrazioni minori di 10 ppm, per i quali l'accuratezza è del 10%.

STUDIO DELLE FACIES DEPOSIZIONALI E DELLA LITOLOGIA

Lo studio della litologia e delle facies dei sondaggi esaminati per la l'elaborazione del profilo parallelo alla costa, sono stati effettuati esaminando i carotaggi effettuati per la redazione della cartografia regionale del Servizio Geologico emilia-Romagna, nello specifico all'interno del progetto CARG.

In prossimità del bacino del fiume Po l'architettura stratigrafica è costituita da fanghi e ghiaia di origine alluvionale; mentre la stratigrafia della pianura romagnola e dell'attuale delta del Po è dominato da un alternarsi ciclico caratteristico delle zone costiere e da depositi alluvionali

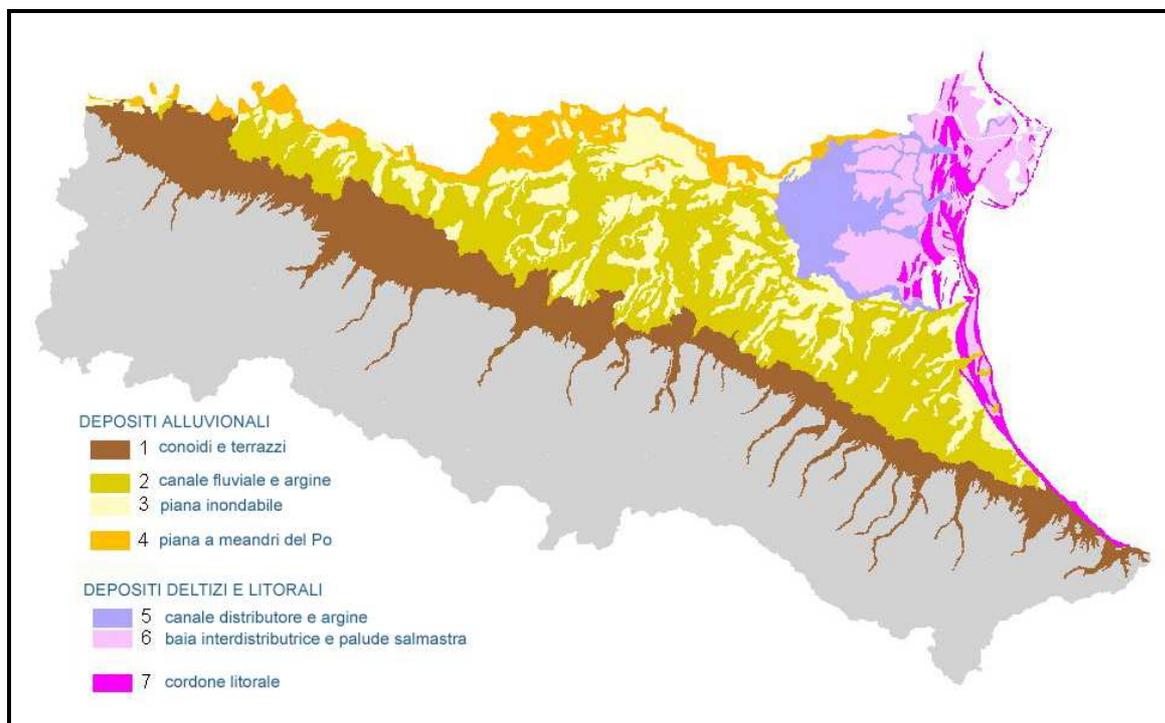


FIG. 11 Mapa deposizionale Emilia Romagna (ISPRA- Servizio Geologico E-R.)

L'attuale pianura emiliano-romagnola deve la sua formazione a processi e ambienti sedimentari diversi di origine (vedi fig. L1) diversa che hanno portato alla differenziazione della pianura in tre sistemi deposizionali diversi dal punto di vista genetico vedi:

- Il sistema della Pianura alluvionale dominato da processi alluvionali di provenienza alpina (Fiume Po) e appenninica (fiumi o torrenti appenninici);
- I sistemi della Pianura deltizia e della Pianura costiera dominati dall'interazione e dall'alternarsi di processi alluvionali e marini con ambienti sedimentari tipicamente di transizione del tipo deltizio e interdeltizio o litorale

Pianura alluvionale

Il sistema della pianura alluvionale si estende dal margine appenninico in direzione nord fino al fiume Po che costituisce il limite fisico e amministrativo della regione.

È costituita da depositi continentali di origine fluviale e comprende sedimenti di provenienza appenninica, per quanto riguarda gli ambienti della piana pedemontana e della piana alluvionale a crescita verticale e sedimenti di provenienza padana che costituiscono l'ambiente della piana a meandri del fiume Po.

Pianura deltizia

Questo ambiente è situato nel settore nord-orientale della pianura della regione e costituisce l'antico apparato deltizio del fiume Po.

È costituita da depositi estremamente variabili, si va dalle sabbie limose di argine e crevasse, alle sabbie ben classificate dei cordoni litorali sepolti o semi-affioranti, fino alle argille limose di decantazione; presenze di livelli torbosi e gusci di molluschi di ambiente salmastro.

Pianura costiera

Questo ambiente di pianura si sviluppa parallelamente all'attuale linea di costa e comprende gli ambiente deposizionali costieri interdeltizi.

Il limite verso mare è definito dall'azione delle onde e delle correnti marine, verso terra fa transizione con le aree più depresse della piana alluvionale a crescita verticale e della pianura deltizia a nord, mentre a est viene a contatto con l'ambiente della piana alluvionale.

Costituita da corpi essenzialmente sabbiosi rilevanti, e a sviluppo longitudinale formatisi per sovrapposizione di cordoni litorali, separati fra loro da superfici erosive, da dune eoliche e dalla spiaggia attuale.

Più internamente si possono riconoscere ambienti costituiti da corpi limosi-argillosi con cospicui spessori di torba, mentre in corrispondenza dei cordoni litorali si rinvengono sabbie e tritume di gusci.

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E FACIES DEPOSIZIONALI:

Per un adeguato studio e successiva classificazione degli ambienti è stato necessario individuare le diverse facies che caratterizzano un ambiente deposizionale.

- **AP (alluvional plain) piana alluvionale**
- **BB (back barrier) retro-barriera**
- **CP (costal plain) piana costiera**
- **DF (delta front) fronte deltizio**
- **LP (lagoon...) laguna, palude**
- **PD (prodelta) ambiente di prodelta**
- **TB (trasgressive barrier) barriera trasgressiva**
- **UP (upper pro-delta)**

AP – Alluvional plain (Piana alluvionale)

La piana alluvionale è costituita da materiali più fini, silt e argilla di decantazione, con rare intercalazioni più sabbiose e trattive, con alternanza di lamine di argilla e argilla siltosa. I corpi sabbiosi e ghiaiosi alluvionali sono importanti

BB – Back barrier (retro barriera)

Costituita da materiale misto di sabbie e torba bioturbata da gusci e da materiale marino.

CP – Coastal plain (Piana costiera)

La piana costiera è costituita da una varietà di ambienti deposizionali, dalle sabbie, argille, limo alla torba, caratterizzato da una piana con un basso gradiente in prossimità del mare.

Caratterizzati quindi da depositi di bacino, depositi di canale, e depositi di canale distributore.

DF- Fronte deltizia

I depositi di fronte deltizio costituiscono o cosiddetti strati di tetto (topset); i corpi di fronte hanno margini netti verso terra (contatto con le facies fini e organiche della piana), gradazionali verso mare.

Predominio delle peliti sulla sabbia, o equilibrio secondo l'alimentazione e il rimaneggiamento marino. La sabbia è concentrata nei canali e nelle barre di foce, mentre negli altri ambienti dominano silt e argille.(prodelta)

LP- Palude laguna

I depositi di palude-lacuna sono costituiti da argille e limi arricchiti in sostanza organica indecomposta, alternati da argille, limi e raramente limi sabbiosi; intercalazioni di livelli di sabbie finissime e sabbie limose in strati sottili e medi associati a tritume conchigliare.

PD - (Prodelta)

I depositi di prodelta sono costituiti essenzialmente da argille con una massiva stratificazione e una sottilissima laminazione siltosa o sabbiosa bioturbata da resti di molluschi.

TB -Trasgressive barrier (Barriera trasgressiva)

I depositi di questo ambiente sono costituiti da sabbie trasgressive con granulometria da fine a molto fine, presenza anche di sabbia siltosa che segnano il passaggio da un ambiente

UP – Upper delta plain (depositi superiori di piana deltizia)

Costituiti da depositi di origine marina, sabbie con un'alta percentuale di matrice torbida.

Caratteristiche sondaggi

Ora andiamo a individuare e caratterizzare ogni sondaggio, per i dati che fanno riferimento alla litologia e stratigrafia (vedi all.I).

Per i profili dei singoli sondaggi analizzati si rimanda la visione all. Profili

Sondaggio 187-S1 (prof. 42m)

Il sondaggio 187-S1 è localizzato a sud del fiume Po. Interpretazione stratigrafica di questo sondaggio è fornita in (Bondesan et al. 2006). Analogamente a quanto è stata osservata in diversi sondaggi profondi del sud-est della pianura del Po (Amorosi et al., 2004), le superfici trasgressive, che segnano i confini tra la pianura alluvionale (fluvio-canale e alluvionale) e depositi sovrastanti di retro-barriera, sedimenti costieri-marini poco profondi, costituiscono superfici in successione più facilmente identificabili

Due superfici trasgressive coincidono con il ciclo trasgressivo-regressivo caratterizzati in superficie da depositi trasgressivi e di zona offshore.

Sondaggio 205S9 (prof. 36 m)

Questo sondaggio è situato a pochi metri dalla spiaggia a est, è dominato nei primi 15 metri da sabbie alternate da argille di palude.

Le sabbie trasgressive e un'alternarsi di sabbie-limose e argilla-siltosa (22-24m) rappresentano il prodotto dell'erosione dovuta al moto ondoso durante la trasgressione della costa.

Al di sotto ritroviamo pochi metri di spessore caratterizzato da depositi riconducibili alla piana costiera, con presenza di sabbia con porzione di torba e sabbia argillosa (25-30m) che risalgono a 9500 ± 80 B.P.

Al di sotto troviamo depositi di pianura alluvionale costituiti da alternanze di sabbie-limose.

Sondaggio 205S6 (prof. 38,65m)

Caratterizzato nei primi metri da depositi di matrice torbosa e di argilla, che sovrastano depositi di fronte deltizia (sabbie).

Andando in profondità si riscontra un ambiente alternato da argilla-sabbia e sabbia fine caratteristico di un ambiente paludoso che sovrastano sabbie siltose e alternarsi di sabbie ricche di matrice organica che distingue la piana costiera.

La piana alluvionale sottostante presente dal trentesimo metro di profondità indica il passaggio dall'Età del periodo Olocenico al periodo Pleistocenico, caratterizzato da un alternarsi di argilla e limo con piccole lingue di sabbia.

Sondaggio 205S10 (prof. 48m)

Caratterizzato per i primi 15 metri da depositi di laguna e sabbie di fronte deltizia, mentre nei successivi 10 m presenze di limi e argille di prodelta che sovrastano sabbie di barriera trasgressiva, le quali contraddistinguono il passaggio da un ambiente costiero ad un ambiente di piana alluvionale (23m)

Sondaggio CERA 1 (prof. 40 m)

Alluvional plain (AP) 49,50 - 30,20m

Questa facies costituisce la parte inferiore della successione sedimentaria e comprende due litofacies; litofacies A1 è definita da argille limose con intercalazioni di sabbia fine e limo, litofacies A2 è rappresentata da una regolare alternanza di sabbie e argille con abbondanti residui vegetali.

In particolare, litofacies A1 rappresenta i depositi alluvionali, mentre A2 litofacies viene interpretato come depositi di argine. La composizione chimica è piuttosto costante ed omogenea essendo caratterizzati da elementi associati a sia a grana fine come i silico-clastiche come Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , V, Rb e minerali carbonatici, Un picco di CaO e Sr nella parte superiore dei depositi è relativa alla presenza di frammenti di conchiglie bivalvi e salmastre (*Cerastoderma glaucum*) che delinea una bioturbazione intensa tra il confine di pianura alluvionale e confine di back-barrier.

Back-barrier (BB) 30,2 m-28,8 m

Questa facies è costituita da due litofacies: litofacies B1 è caratterizzata da argilla limosa con locali accumuli di torba mentre la litofacies B2 è costituita da argille limose grigio con sparse conchiglie sparse di molluschi (Principalmente *C. glaucum*) e strati di sabbia.

Dalle caratteristiche riscontrate nelle due litofacies suggeriscono che questo associazione è compresa tra un ambiente di palude e laguna.

Il contenuto notevole di materia organica è indicato da alti valori di LOI (30-60% in peso) ed elevate concentrazioni di S e Br. In particolare, lo zolfo forma solfuri di ferro in condizioni riducenti da accumulo di sostanza

organica, e bromo è comunemente assorbito dalla materia organica (ten Haven et al. 1988; Lucchini et al. 2003).

Trasgressive barrier (TB) 28,8m – 24,6m

Questo ambiente è rappresentato da due litofacies principali. Litofacies T1 è costituito da sabbia fine ad alto contenuto di mica e abbondanti frammenti di conchiglie. Litofacies T2 include sabbia fine grigia a grana fine e sabbia limosa e massiccia, argille locali bioturbate con abbondanti frammenti di conchiglie, bivalvi e gasteropodi.

La composizione chimica della sabbia fine della litofacies L1 (27,90 m) è caratterizzata da un picco elevato di CaO e MgO, mentre gli elementi associati alle argille (ad esempio Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Rb, V, Ni) sono bassi.

Prodelta (PD) 24,6m - 13m

Questa associazione comprende due litofacies: litofacies M1 è caratterizzato da argille grigie e sabbie limose e strati di sabbia con microfossili, frammenti di conchiglie e detriti vegetali. La litofacies M2 è costituita da argille con lenti di sabbia con abbondanti detriti vegetali.

I sedimenti della litofacies M1 mostrano una composizione chimica di transizione tra gli ambienti marini e fluviali con valori più bassi di elementi di carbonato rispetto alle sabbie trasgressive e un parallelo aumento progressivo di elementi associati a sedimenti di tipo fine, principalmente Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, V, Ni, Cr, Rb e Y.

Delta front (DF) 13m – 1,50 m

Questa associazione comprende tre litofacies principali e rappresenta la parte superiore della successione sedimentaria, gradualmente sovrastanti i depositi prodelta. Litofacies S1 è rappresentato da un'alternanza di sabbie 1-10 cm di spessore con basi erosivi o taglienti, e argille limose con alcuni frammenti di conchiglie sparse. Litofacies S2 è caratterizzata da sabbia fine o sabbie limose con abbondante materiale Shelly e intercalazioni di lenti argillose. Litofacies S3 costituita mediamente da sabbie con frammenti di conchiglie e detriti vegetali.

Questa unità dovrebbe rappresentare il prodotto di depositi delta-frontale rielaborati da moto ondoso e da correnti longshore come confermato da microfossili trasportati. In particolare, litofacies S1 rappresenta la transizione del prodelta alla parte distale del fronte delta, la sabbia fine o sabbie limose di litofacies S2 sono considerati i depositi inferiori della spiaggia sottomarina, mentre le sabbie medio di S3 litofacies corrispondono ai depositi di spiaggia sottomarina superiore.

Diversi picchi di TiO₂, P₂O₅, Zr e profili di Y possono essere correlati ad arricchimenti localizzati di minerali pesanti come granato, titanite, zircone e monazite, che si trovano comunemente nei sedimenti di spiaggia (Gazzi et al. 1973; Gandolfi et al. 1982; Marchesini et al. 2000), e indicano un ambiente ad alta energia.

Sondaggio P4N (prof. 31,5m)

Questo sondaggio fino ai 30 m è caratterizzato da un alternarsi di ambienti di fronte deltizia e di prodelta (sabbie-argilla), che sovrastano un

sottile livello di sabbie trasgressive (29-31m) che distinguono il passaggio alla piana alluvionale (31m).

Sondaggio P8N (prof. 28m)

Il sondaggio presenta nei primi 28 m una alternanza di ambiente di fronte deltizia e ambiente di prodelta con presenza di sabbia media a molto fine che sovrastano un ambiente di pianura alluvionale.

Sondaggio P14N (prof. 27m)

Caratterizzato da alternanze di sabbie e argille di ambiente deltizio e di prodelta nei primi 26 metri con presenze di matrice organica e piccoli fossili marini sovrapposti da pochissimi metri di argilla di upper-delta plain.

La presenza di argilla (27m) di piana alluvionale segna il passaggio al Periodo Pleistocenico.

Sondaggio P4S (prof. 25m)

L'ambiente di fronte deltizia predomina nei primi 28 metri con una sottilissima intrusione di sabbie trasgressive di 1,5 metri che vanno dalle media alle finissime con intrusione di conchiglie e torba; per poi essere dominate dalle argille di piana alluvionale (30m).

Sondaggio P12S (prof. 22,5m)

Questo sondaggio è dominato da depositi riconducibili ad un ambiente di fronte deltizia, caratterizzato da sabbie fini a molto fini.

Sondaggio P18S (prof. 25m)

Il sondaggio è dominato da una serie di alternanze di sabbie e argilla-limosa che denotano un ambiente di fronte deltizia prima, e un ambiente di piana alluvionale dopo riscontrabile dall'undicesimo metro di profondità.

Sondaggio 240S8 (prof. 30m)

Questa associazione è costituita da due diverse facies; Al di sopra dei depositi trasgressivi costituite da depositi di torba e argilla si riscontrano un alternarsi di depositi di pianura costiera e alluvionale

Costituito da depositi di fronte deltizio e di barriera trasgressiva e lagunare per i primi 20 metri associati al periodo olocenico.

Negli strati in profondità troviamo un alternarsi di depositi associati all'ambiente di fronte deltizio e piana costiera.

CAPITOLO III

ELABORAZIONE DATI

In seguito allo studio e analisi della stratigrafia e litologia di ogni sondaggio, ho utilizzato i dati per realizzare un database che mi ha permesso di ricostruire una sezione stratigrafica che interessa i sondaggi in oggetto parallela alla costa.

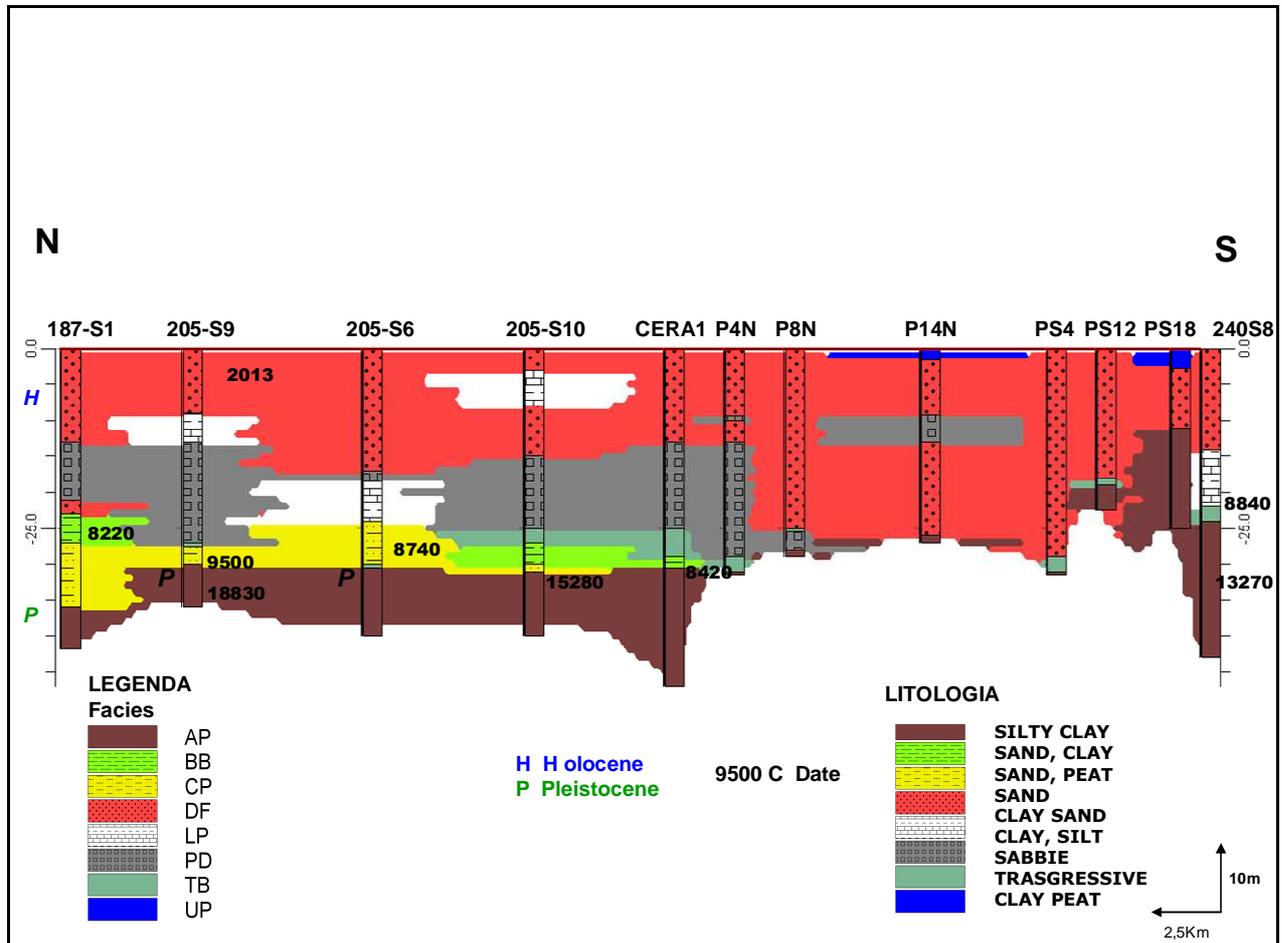
In particolare, per la realizzazione del mio database per i sondaggi (187S1, 205S9, 205S6, 205S10, CERA1, 240S8) ho analizzato la bibliografia esistente (articoli scientifici redatti da Amorosi e alii); mentre per i sondaggi (P4N, P8N, P14N, PS4, PS12, PS18) sondaggi e dati eseguiti dall'IGRC *Intergrated Geoscience Research Group*) di Ravenna.

Successivamente ho elaborato i dati attraverso il Software RockWorks 15 che mi ha permesso di realizzare il modello stratigrafico parallelo alla costa, attraverso una restituzione grafica.

Rockworks è un software utilizzato per la costruzione di modelli geochimici 3D.

Il transetto ha una lunghezza complessiva di 62 km, e il modello stratigrafico ha permesso di sintetizzare ambienti deposizionali e mettere in correlazione sondaggi anche distanti tra di loro.

Modello stratigrafico



I depositi di piana alluvionale del Pleistocene sono riconducibili ad una fase di abbassamento del livello del mare successiva all'ultimo Glaciale Massimo (LGM), con formazione di argille; mentre i depositi di piana costiera (sabbie con presenza di molluschi) che li sovrastano indicano una trasgressione che si manifestò tra il 10,500 and 9400 yr BP.

Nella fase di highstand ci fu una progradazione di blocchi di sedimenti di origine paludare con alternanze di argille e sabbie riscontrabili nei depositi di fronte deltizia.

La successiva fase trasgressiva (18-5.5 ka) fu caratterizzata da una rapida migrazione delle terre emerse di origine lagunare.

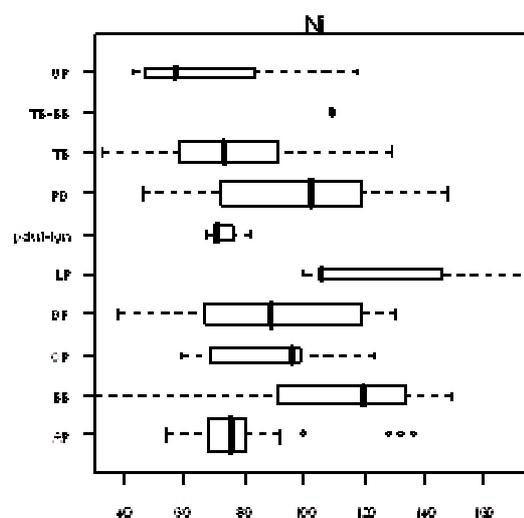
I depositi di prodelta sono riconducibili alla progradazione della linea di costa e del delta del Po (circa 5.5 ka) durante l'Olocene.

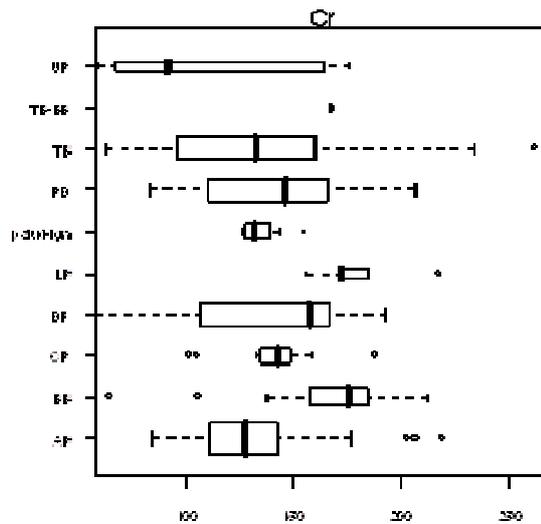
ANALISI DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI

Per meglio comprendere le caratteristiche e in seguito l'origine delle singole facies analizzerò la distribuzione di alcuni elementi chimici maggiori presenti, evidenziandoli con rappresentazione box-plot.

Per l'analisi della distribuzione degli elementi nelle facies stratigrafiche ho utilizzato il programma GCDKit 2.3, software utilizzato per l'analisi statistica e rappresentazione grafica dei dati.

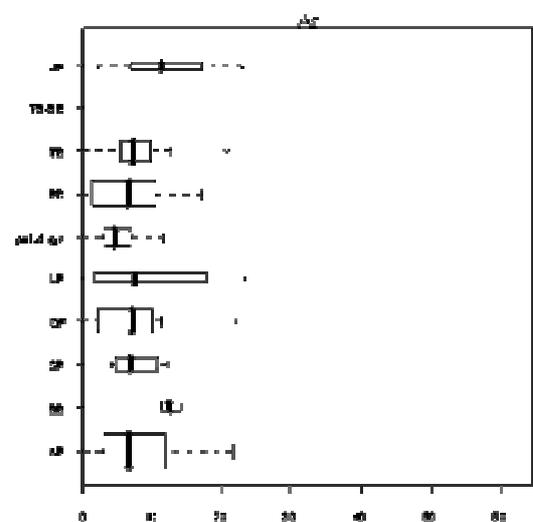
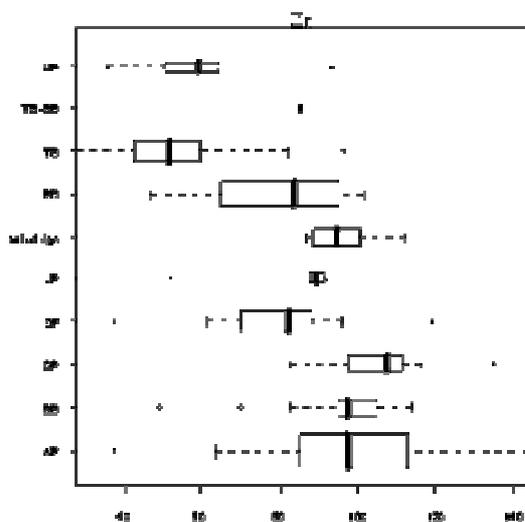
Distribuzione del Ni e Cr

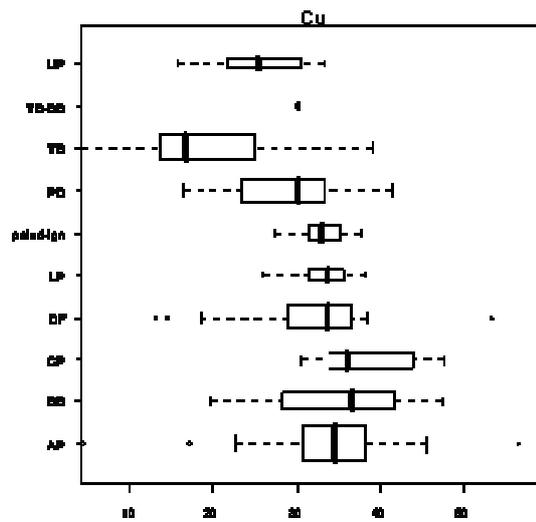




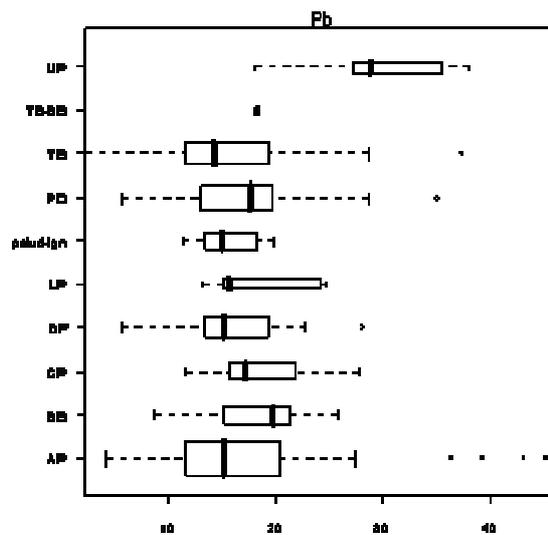
I valori più bassi riscontrati sia di Cr che Ni sono osservabile nella facies UP con valori di concentrazione di circa 60 mg mentre il valore più alto è presente nella facies BB, LP e di PD. La presenza di Cr e Ni è associata a sedimenti ultramafici, abbondanti in suoli di rotta fluviale e di argine. Valori alti di questi due elementi è riconducibile alla provenienza di origine Appenninica.

Distribuzione di alcuni metalli pesanti: Zn, As, Cu, Pb



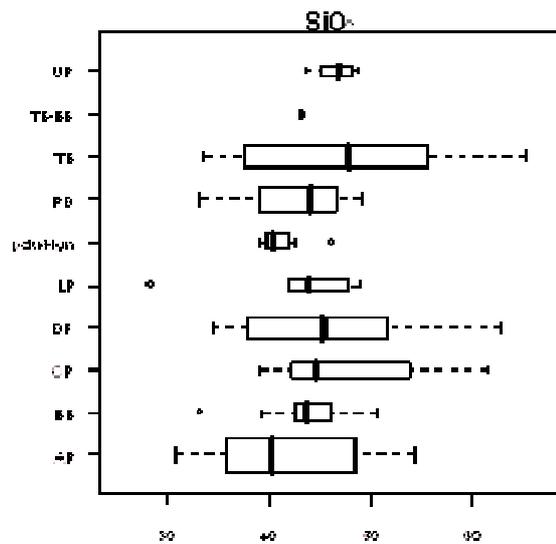


Il rame presenta valori piuttosto costanti nelle varie facies, valori più alti nelle argille alluvionali e sabbie di piana costiera.

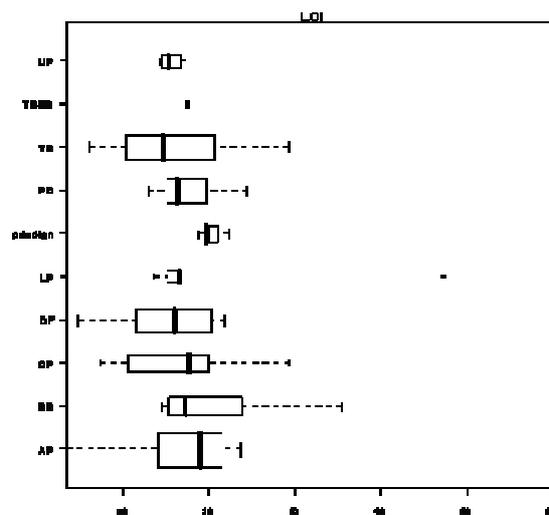


La distribuzione degli elementi risulta abbastanza disomogenea.

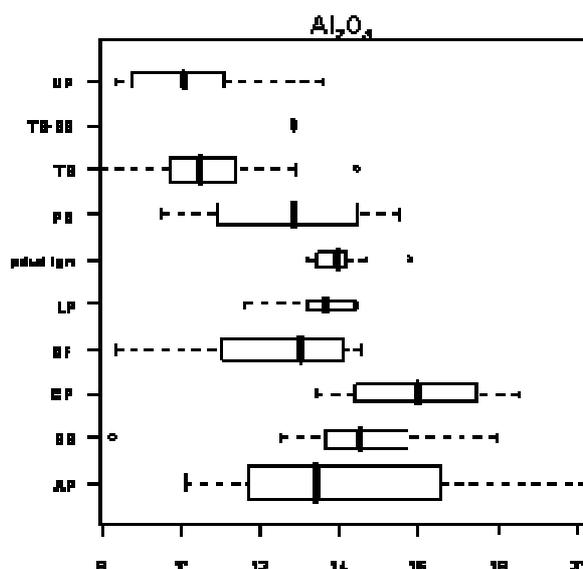
Valori piuttosto alti di Pb e As sono evidenti nella facies UP, mentre per lo Zn il valore più alto è presente nei sedimenti di CP.



La presenza Di SiO₂ è legata generalmente alla presenza di sabbie, infatti si può osservare che i valori più alti sono osservabili nelle facies legate alla presenza delle stesse, come TB, DF, CP, BB e UP.



I valori più alti di LOI sono indicatore di presenza di materia organica presenti in alcune facies come TB, LP, CP.



Valori piuttosto alti si possono osservare in CP, BB, quindi in ambienti ossidanti.

Distribuzione elementi

La presenza di valori alti Cr e Ni nei sedimenti può essere considerato come un importante indicatore di provenienza.

Infatti la presenza di Cr e Ni è legata alla presenza di ricche ofiolitiche che ultramafiche provenienti da affluenti del Po, mentre valori piuttosto bassi sono riconducibili a sedimenti di origine appenninica in particolare nord orientali dell'Appennino Romagnolo costituiti da rocce del Terziario di origine torbidityca. (Dinelli e ali. 1999)

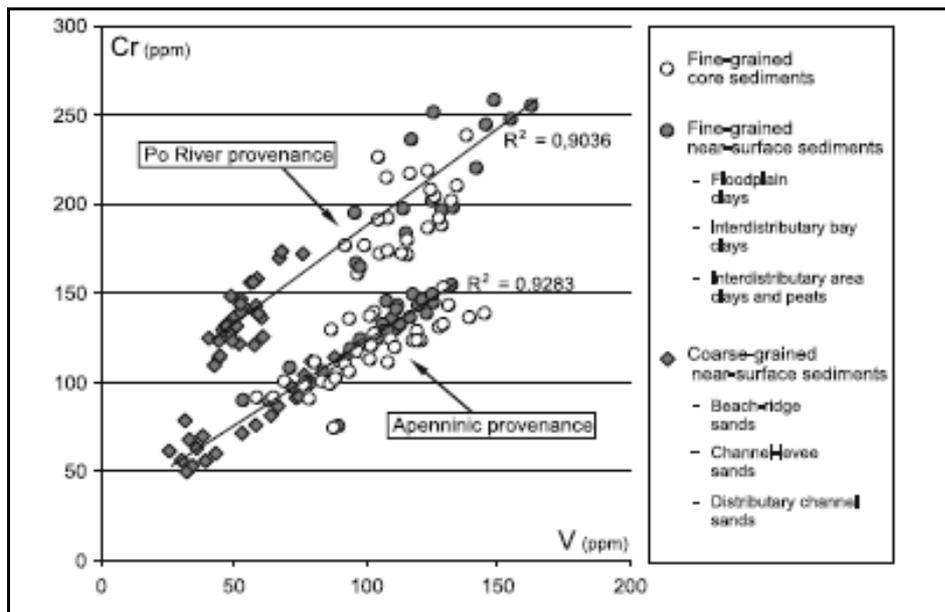


FIG. 12 Distribuzione e provenienza degli elementi Cr e V nei sedimenti: bassa concentrazione di Cr è caratteristica dell'area Apenninica, alte concentrazioni caratteristiche del bacino del Po. (Amorosi e ali. 2002)

Infatti la provenienza dei sedimenti influisce molto sui livelli di presenza di alcuni elementi. Da recenti studi effettuati (da Amorosi e ali) sulla provenienza e distribuzione del Cr e V (vedi fig. C1), nella piana costiera del Po, delinea come i valori alti di Cr siano presenti nelle zone interessate dal fiume Po in sedimenti di grana fine in prossimità della superficie con argille e torba.

Mentre basse concentrazioni di Cr sono caratteristici dell'area appenninica in sedimenti sempre di grana fine di superficie e basse concentrazioni in sedimenti di fronte deltizia e canali distributori.

Provenance	Facies association	Cr/Al ₂ O ₃	Ni/Al ₂ O ₃	CaO (%)	Sr (ppm)
Po River	Beach ridge	13.7 ± 2.2	7.9 ± 1.6	8.6 ± 2.2	248 ± 33
	Distributary channel-levee	14.2 ± 1.4	9.1 ± 1.0	9.6 ± 2.6	265 ± 38
	Interdistributary bay	13.4 ± 1.1	8.1 ± 1.6	6.4 ± 4.2	227 ± 74
	Interdistributary area	15.1 ± 1.4	9.4 ± 2.1	3.4 ± 3.8	161 ± 95
Apennines	Beach ridge	8.6 ± 2.1	4.8 ± 0.6	17.9 ± 5.3	375 ± 85
	Fluvial channel-levee	8.4 ± 1.1	5.3 ± 0.6	15.8 ± 1.9	337 ± 50
	Floodplain	10.4 ± 1.0	6.4 ± 0.6	14.7 ± 2.0	379 ± 37

FIG. C2 Presenza e distribuzione di elementi in superficie della piana costiera del PO ed elementi presenti in superficie di provenienza Appenninica e loro distribuzione nelle facies.

La distribuzione di alcuni elementi nelle facies, e loro provenienza è evidenziata nella figura C2 (da Amorosi, Sammarino; 2007), come già discusso per il Cr, si possono denotare valori non troppo diversi tra loro per quanto concerne il Ni/Al₂O₃.

Osservazioni e conclusioni

Osservando la distribuzione di alcuni elementi nella varie facies si denota come, alcuni valori possono essere riconducibili a provenienza di tipo strutturale-geologico, mentre altri presentano valori e distribuzione anomale.

In particolare per lo Zn, Ni, e Cr presentano valori alti nelle facies di prodelta, piana costiera e retro-barriera che denotano una provenienza di tipo strutturale (piana del Po, rocce ofiolitiche).

Mentre per il Pb sono presenti valori anomali nelle facies superiore, la cui origine può essere riconducibile ad una forma di inquinamento antropogenico.(vedi Sammarino I. 2004)

ALLEGATI

BIBLIOGRAFIA

AMOROSI A., COLALONGO M.L., DINELLI E., LUCCHINI F., VAIANI S.C., (2007)- *Cyclic variations in sediment provenance from late Pleistocene deposits of the eastern Po Plain, Italy.*

AMOROSI, A. FONTANA, F. ANTONIOLI, S. PRIMON, A. BONDESAN; (2008)- *Post LGM sedimentation and Holocene shoreline evolution in the NW Adriatic Coastal area.*

AMOROSI, E. DINELI, M.G. CENTINEO, F. LUCCHINI, F. TATEO (2002)- *Geochemical and mineralogical variations as indicators of provenance changes in Late Quaternary deposits of SE Po Plain.*

AMOROSI A., SAMMARINO I. (2007) - *Influence of sediment provenance on background values of potentially toxic metals from near-surface sediments of Po coastal plain (Italy).*

AMOROSI, CENTINEO, COLALONGO, PASINI, SARTI, VAIANI - (2003)

Facies Architecture and Latest Pleistocene–Holocene Depositional History of the Po Delta (Comacchio Area), Italy

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.*

AMOROSI A., CENTINEO M.C., DINELLI E., LUCCHINI F., TATEO F. (2002) – *Geochemical and mineralogical variations as indicators of provenance changes in Late Quaternary deposits of SE Po Plain.*

AMOROSI A., DINELLI E., ROSSI V., VAIANI, SACCHETTO - (2008)
*Late Quaternary palaeoenvironmental evolution of the Adriatic coastal plain
and the onset of Po River Delta*

AMOROSI A., COLALONGO M.L., PASINI G. & PRETI D. (1999) –
Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy).

BLACKWELL SCIENZE – *Sedimentary Environments: process, facies and stratigraphy*

CURZI P.V., DINELLI E., RICCI LUCCHI M. & VAIANI S.C. (2006) –
Palaeoenvironmental control on sediment composition and provenance in the late Quaternary deltaic successions: a case study from the Po delta area (Northern Italy). Geological Journal.

COLANTONI P., GALLIGNANI P. & LENAZ R. (1979) – *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic continental shelf. Marine Geology,*

APAT-DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO-SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA-

Note illustrative delle carte geologiche d'Italia, Forlì-Cesena

PIETRO VITTORIO CURZI, ENRICO DINELLI, M. RICCI LUCCHI, S.C.VAIANI (2006)- *Palaeoenvironmental control on sediment composition and provenance in the Quaternary deltaic succession: a case study from the Po delta area (Northern Italy)*

FRANCO RICCI LUCCHI – CLUEB EDITORE - *Sedimentologia, Parte III, Ambienti sedimentari e facies*

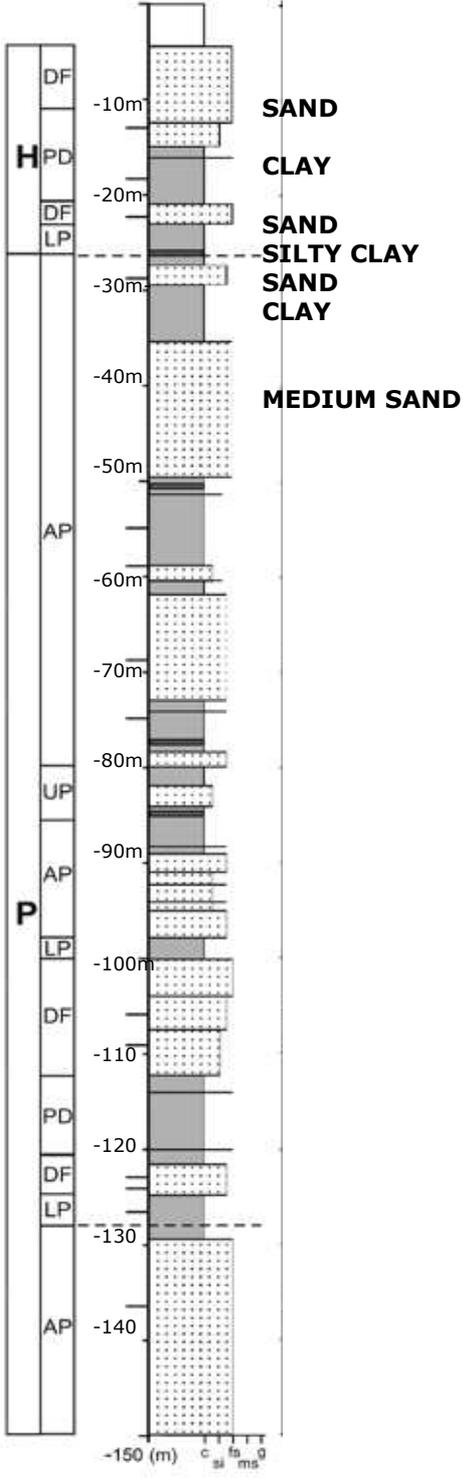
LEONI L. & SAITTA M. (1976) - *X-ray fluorescence analysis of 29 trace elements in rock and mineral standard.*

MARCHESINI L., AMOROSI A., CIBIN U., ZUFFA G.G., SPADAFORA E., PRETI D. (2000) – *Sand composition and sedimentary evolution of a Late Quaternary depositional sequence, northwestern Adriatic Coast, Italy.*

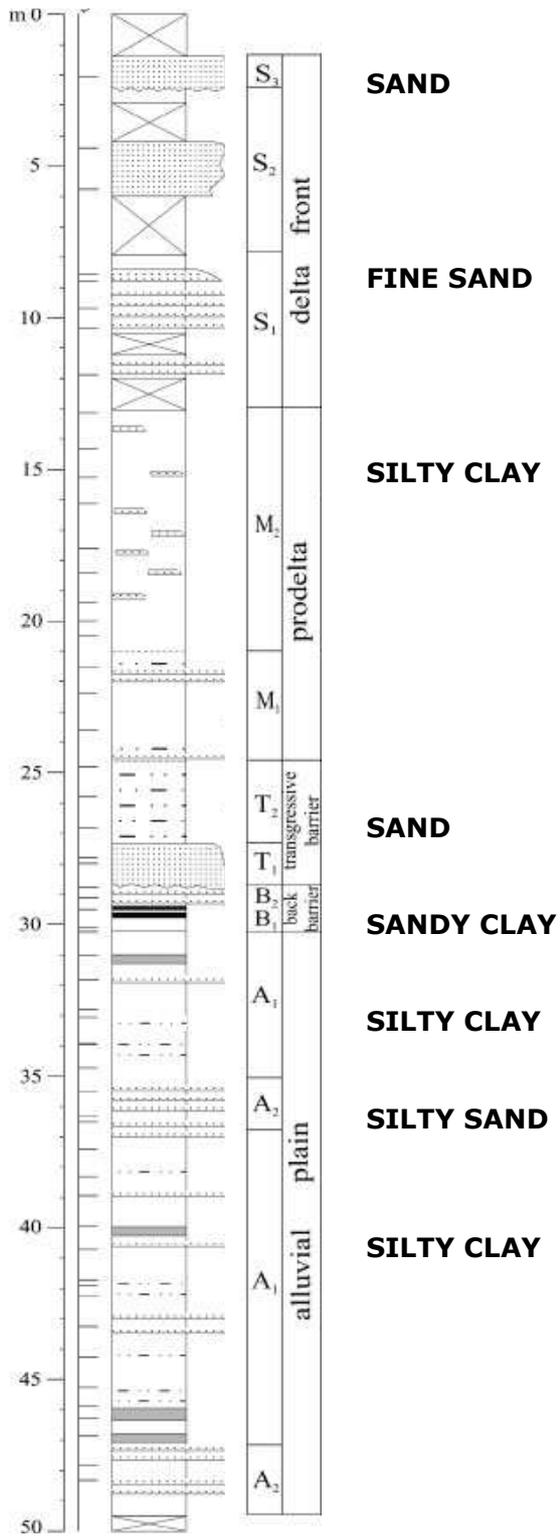
NOTE ILLUSTRATIVE- *Carta pedogeochemica della Pianura Emiliana*

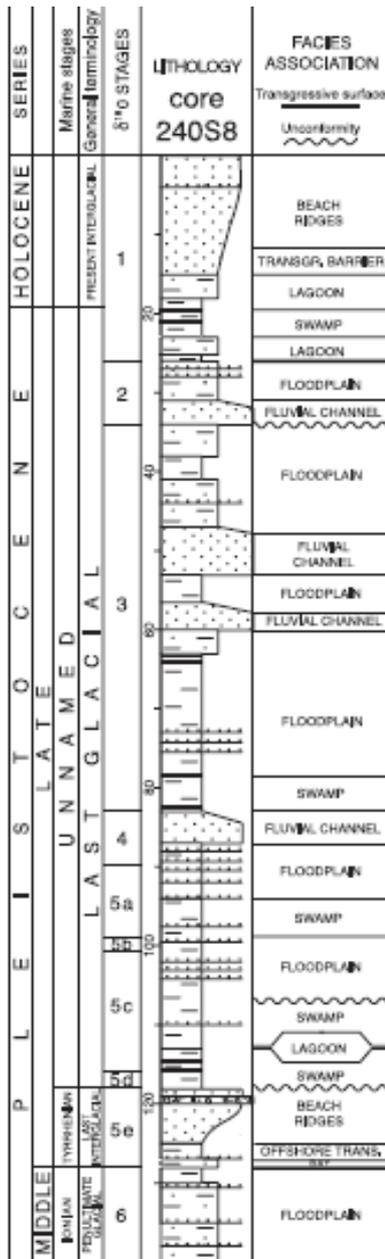
OFFPRINT- *Geochemistry of a Earth's surface*

187-S1



CERA 1





FINE SAND

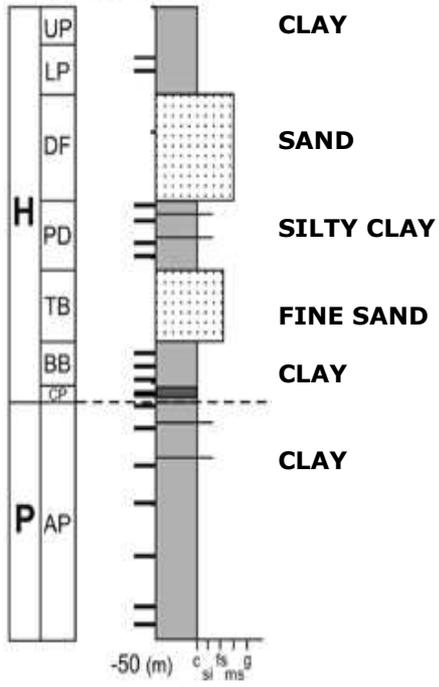
CLAY

SILT

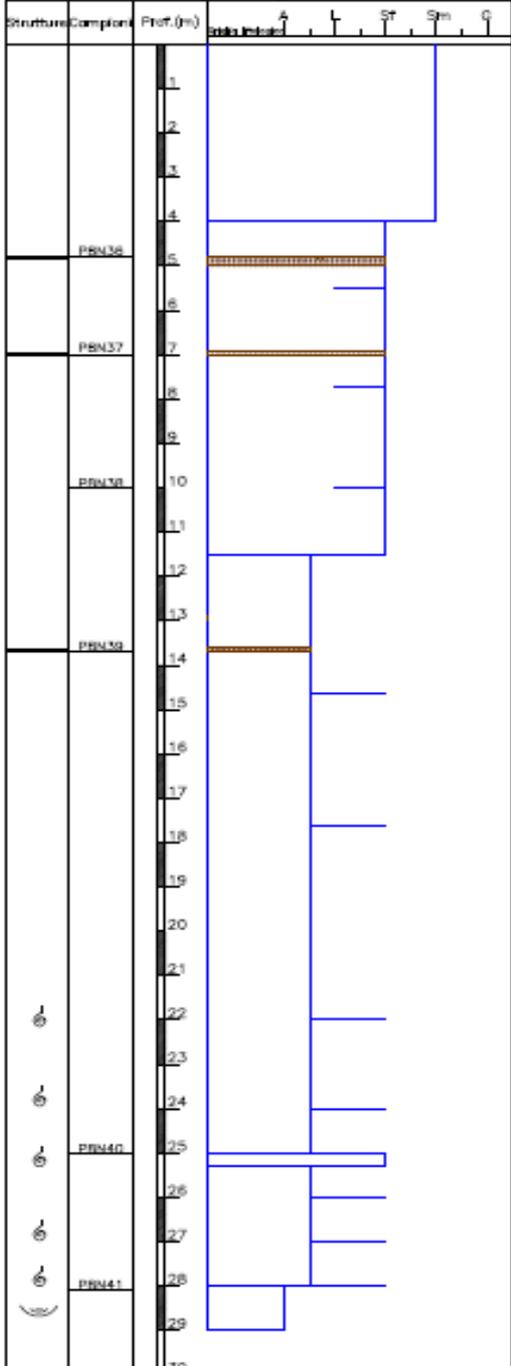
FINE SAND

SILT

205-S10



LEGENDA		SONDAGGIO P8N	
	Materia organica	Prof. raggiunta=29m	
	Orizz. organici	Quota s.l.m.=1.12m	
	Fossili	Scala	
	Radici		
	Frustoli vegetali		
	Ossidazione		



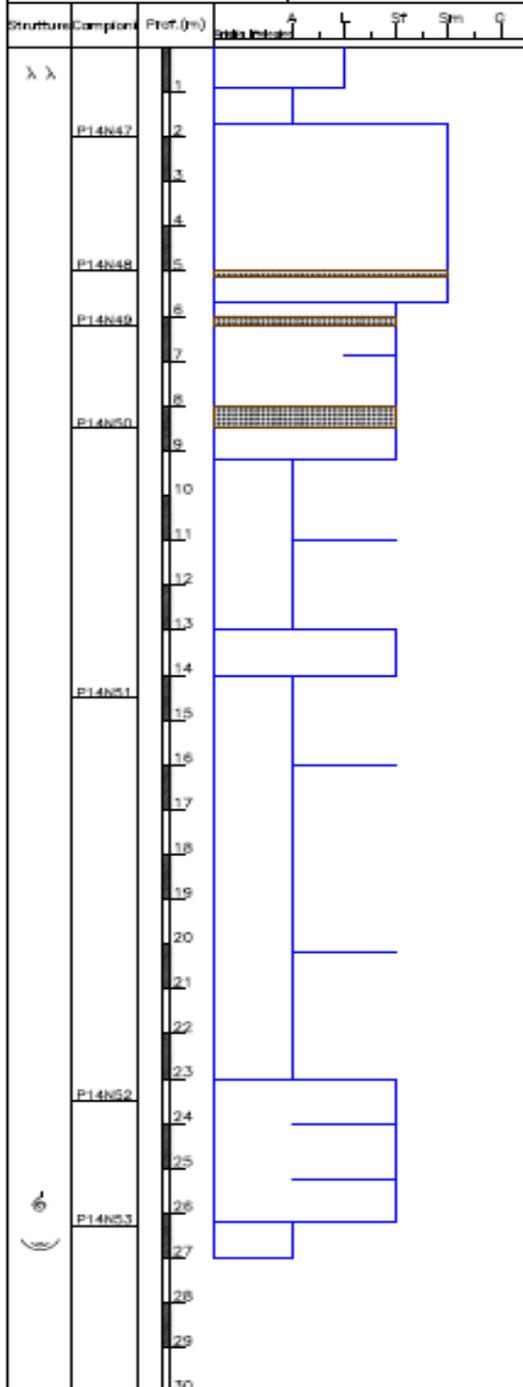
MEDIUM SAND

FINE SAND

CLAY

SILT

LEGENDA		SONDAGGIO P14N	
	Materia organica	Prof. raggiunta=27m	
	Orizz. organici	Quota s.l.m.=0.55m	
	Fossili	Scala	
	Radici		
	Frustoli vegetali		
	Ossidazione		



SILT

MEDIUM SAND

FINE SAND

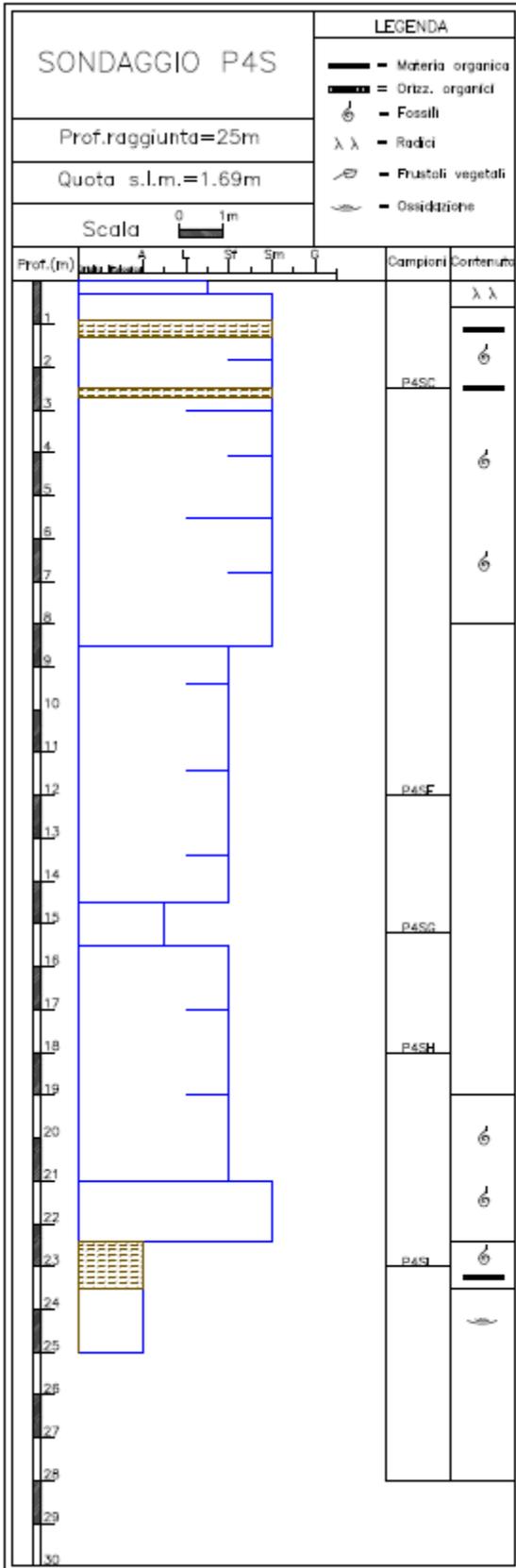
CLAY

FINE SAND

CLAY

FINE SAND

CLAY



MEDIUM SAND

FINE SAND

SILT

FINE SAND

MEDIUM SAND

CLAY

SONDAGGIO P12S

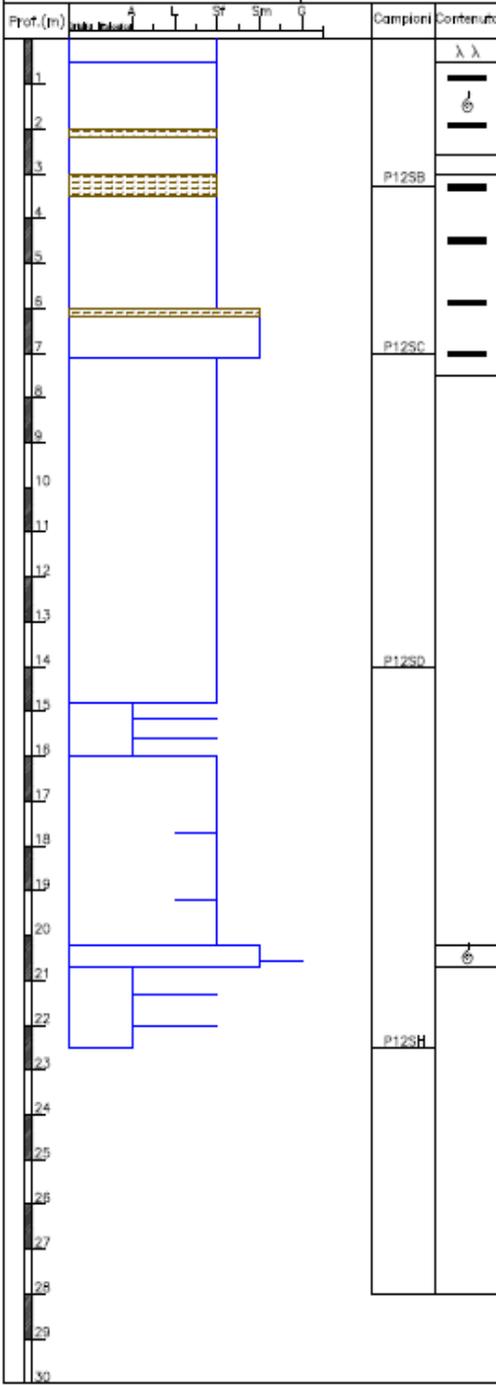
Prof.raggiunta=22.5m

Quota s.l.m.=1.91m

Scala 

LEGENDA

-  - Materia organica
-  - Orizz. organici
-  - Fossili
-  - Radici
-  - Frustoli vegetali
-  - Ossidazione



FINE SAND

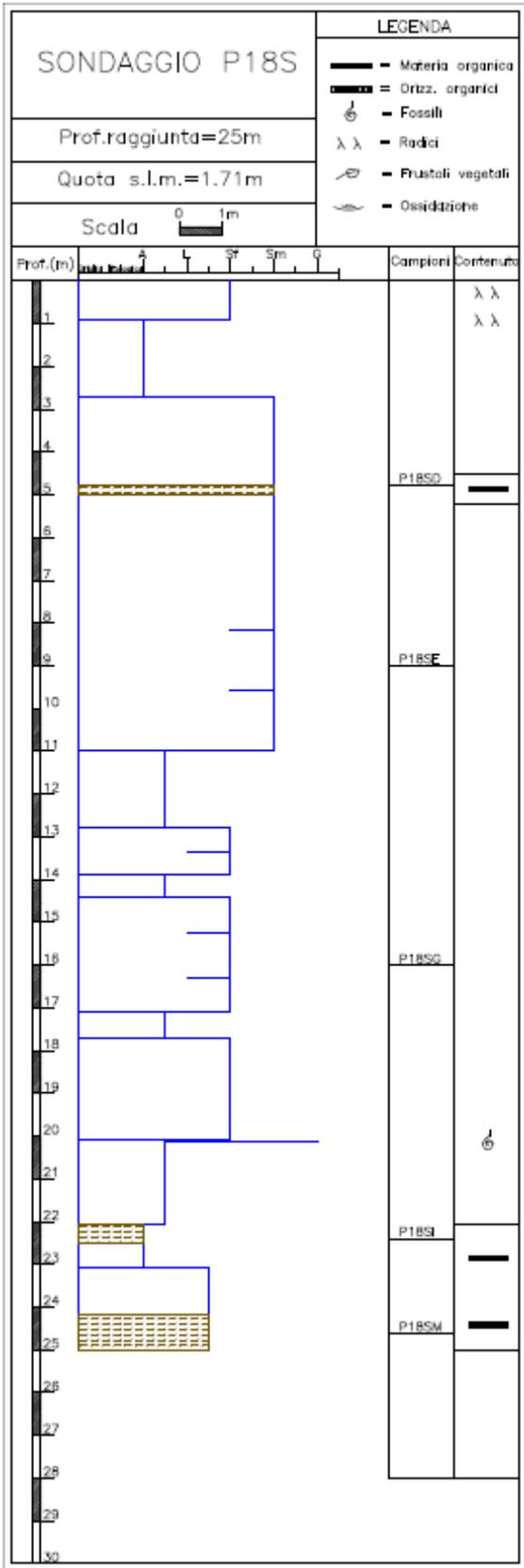
MEDIUM SAND

FINE SAND

CLAY

FINE SAND

CLAY



FINE SAND

CLAY

MEDIUM SAND

SILTY CLAY

CLAY

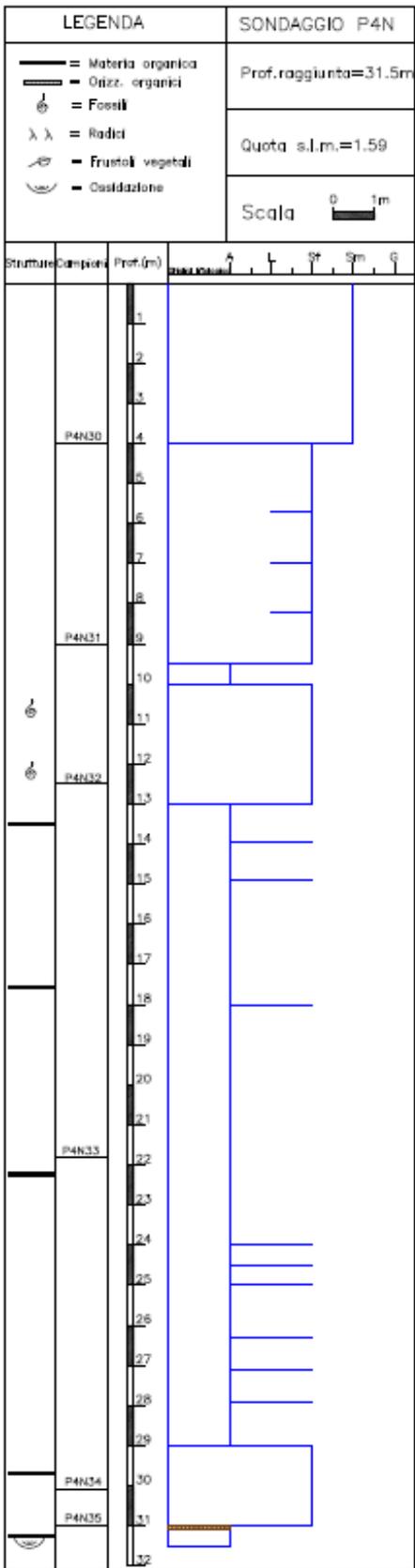
CLAY

SILT

SILTY CLAY

SILTY SAND

SILT



SONDAGGI	PROFONDITÀ m	STRATIGRAFIA	PERIODO	PROFONDITÀ m	LITOLOGIA
187S1					
187S1	0	13 DF	H	0	13 FINE SAND
187S1	13	21 PD	H	13	20 SILT
187S1	21	23 DF	H	20	21 CLAY
187S1	23	27 BB	H	21	23 MEDIUM SAND
187S1	27	36 CP	H	23	25,5 CLAY
187S1	36	41,85 AP	P	25,5	29,5 MEDIUM SAND
				29,5	35,5 SILT
				35,5	41.85 MEDIUM SAND
205S6					
205S6	0	17 DF	H	0	6 SILT
205S6	17	18,5 PD	H	6	17 FINE SAND
205S6	18,5	24 LP	H	17	18 CLAY
205S6	24	30 CP	H	18	23 FINE SAND
205S6	30	30,5 TB	H	23	29 CLAY
205S6	30,5	40 AP	P	29	40 SILT
205S9					
205S9	0	9 DF	H	0	7 FINE SAND
205S9	9	13 LP	H	7	9 FINE SAND
205S9	13	27 PD	H	9	10 CLAY
205S9	27	27,5 TB	H	10	13 FINE SAND
205S9	27,5	30 CP	H	13	22 MEDIUM SAND
205S9	30	36 AP	P	22	25 SANDY PEAT
				25	30 SANDY CLAY
				30	36 SILT
205S10					
205S10	0	3 DF	H	0	3 FINE SAND
205S10	3	8 LP	H	3	9 CLAY
205S10	8	15 DF	H	9	16 FINE SAND
205S10	15	25 PD	H	16	27 SILT
205S10	25	27 TB	H	27	30 FINE SAND
205S10	27	30 BB	H	30	40 CLAY
205S10	30	31 CP	H		
205S10	31	40 AP	P		
240S8					
240S8	0	14 DF	H	0	12 FINE SAND
240S8	14	22 LP	H	12	15 CLAY
240S8	22	24 TB	H	15	22 CLAY
240S8	24	43 AP	P	22	28 SILT
				28	30 FINE SAND
				30	40 SILT
CERA1					
CERA1	0	13 DF	H	0	8 FINE SAND
CERA1	13	25 PD	H	8	13 FINE SAND
CERA1	25	29 TB	H	13	27 silt
CERA1	29	30,5 BB	H	27	29 MEDIUM SAND
CERA1	30,5	47 AP	P	29	30 FINE SAND
				30	40 SILT
P4N					
P4N	0	4 DF	H	0	4 MEDIUM SAND
P4N	4	9,4 DF	H	4	9,4 FINE SAND
P4N	9,4	10 PD	H	9,4	10 CLAY
P4N	10	13 DF	H	10	13 FINE SAND
P4N	13	29 PD	H	13	29 CLAY

P4N	29	31 TB	H	29	31 FINE SAND
P4N	31	31,5 AP	P	31	31,5 CLAY
P8N					
P8N	0	25 DF	H	0	3 MEDIUM SAND
P8N	25	25,4 TB	H	3	11,5 FINE SAND
P8N	25,4	28 PD	H	11,5	28 CLAY
P8N	28	29 AP	P		
P14N					
P14N	0	1,6 UP	H	0	1,6 CLAY
P14N	1,6	9,2 DF	H	1,6	5,8 MEDIUM SAND
P14N	9,2	13 PD	H	5,8	6,3 MEDIUM SAND
P14N	13	26 DF	H	6,3	8 FINE SAND
P14N	26	27 AP	P	8	8,4 FINE SAND
				8,4	9,2 CLAY
				9,2	13 clay
				13	14 FINE SAND
				14	23 CLAY
				23	26 FINE SAND
				26	27 CLAY
PS4					
PS4	0	29 DF	H	0	4 MEDIUM SAND
PS4	29	31 TB	H	4	9,5 FINE SAND
PS4	31	31,5 AP	P	9,5	10 CLAY
				10	13 FINE SAND
				13	29 CLAY
				29	31 FINE SAND
				31	31,5 CLAY
PS12					
PS12	0	18 DF	H	0	14.05 FINE SAND
PS12	18	19 TB	H	14,5	15,5 CLAY
PS12	19	22,5 AP	P	15,5	20,5 FINE SAND
				20,5	22,5 CLAY
PS18					
PS18	0	2,8 UP	H	0	0,9 FINE SAND
PS18	2,8	11 DF	H	0,9	2,7 CLAY
PS18	11	25 AP	H	2,7	11 MEDIUM SAND
				11	12,8 SILTY CLAY
				12,8	13,9 CLAY
				14,8	15,4 CLAY
				15,4	17 SILTY CLAY
				17	17,8 SILTY CLAY
				17,8	20 SILT
				20	22 SILTY CLAY
				22	23 SILTY SAND
				23	25 silt