



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
DIPARTIMENTO PER I SERVIZI TECNICI NAZIONALI
SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

NOTE ILLUSTRATIVE della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000

foglio 223

RAVENNA

A cura di
A. Amorosi ⁽¹⁾

Con contributi di:

P. Severi ⁽²⁾, **M. Roveri** ⁽³⁾, **A. Correggiari** ⁽³⁾, **M. Preti** ⁽⁴⁾,
C. Tomassetti ⁽²⁾, **P. Tarocco** ⁽⁵⁾, **M.L. Colalongo** ⁽⁶⁾, **G. Pasini** ⁽³⁾,
S.C. Vaiani ⁽⁶⁾, **F. Fusco** ⁽⁶⁾, **L. Marchesini** ⁽⁶⁾, **E. Spadafora** ⁽⁶⁾,
U. Cibin ⁽²⁾, **G.G. Zuffa** ⁽⁶⁾, **E. Dinelli** ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna (1995/1997) - Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna (1998/1999)

⁽²⁾ Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

⁽³⁾ Istituto di Geologia Marina, CNR di Bologna

⁽⁴⁾ ARPA Emilia-Romagna

⁽⁵⁾ Ufficio Pedologico, Regione Emilia-Romagna

⁽⁶⁾ Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna

Ente realizzatore

 **Regione Emilia-Romagna**
SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI

DIRETTORE VICARIO DEL SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA
N. ACCARDI

Responsabile del Progetto CARG per il Servizio Geologico d'Italia
F. GALLUZZO

Responsabile del Progetto CARG per la Regione Emilia-Romagna
R. PIGNONE

Comitato Geologico Nazionale (D.P.C.M. 23-3-1999 e 9-12-1999)
N. Accardi (presidente), **G. Arnone**, **A. Boscherini**, **S. Cocco**, **V. Coccolo**,
U. Crescenti, **L. Del Sordo**, **M. Grasso**, **P. Manetti**, **G. Mariotti**, **G. Pasquarè**,
R. Pignone, **R. Polino**, **A. Praturlon**, **M. Santantonio**, **F. Trincardi**

Si ringraziano i componenti del precedente Comitato Geologico Nazionale per il loro contributo scientifico.

PER IL SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Revisione scientifica

C. D'Ambrogi, **M. D'Orefice**, **N. A. Pantaleone**, **M. Rossi**
S. D'Angelo, **G. Ventura** (parte a mare)

Coordinamento cartografico:

D. Tacchia (coordinatore), **S. Grossi**

Revisione informatizzazione dei dati geologici:

R. Ventura, **F. Visicchio**

Coordinamento editoriale e allestimento per la stampa:

S. Falcetti, **S. Grossi**

PER LA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Coordinamento editoriale e allestimento cartografico

A. Angelelli (direzione lavori), **S. Forni**, **S. Scappini** (collaudo)

Coordinamento informatizzazione dei dati geologici

G.P. Artioli (responsabile), **M.L. Garberi** (direzione lavori),
M. Grandi (collaudo)

Informatizzazione e allestimento cartografico per la stampa dalla Banca Dati

Laboratorio di Cartografia digitale e G.I.S. (Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Siena)

Stampa

SystemCart s.r.l. - Roma

Gestione tecnico-amministrativa del Progetto CARG

M.T. Lettieri (Servizio Geologico d'Italia)

G. Falanga, **S. Stagni** (Regione Emilia-Romagna)

un ricordo di Antonio Veggiani

Il sapere degli uomini scopre il suolo, anzi lo scava, entra nella terra, dona così lo stupore delle scoperte: la meraviglia è ancor più emotiva quando chi scruta la terra è particolarmente nutrito della conoscenza delle storie degli uomini che quel suolo calpestano, quella terra dominano, in quel contesto crescono la loro esistenza.

Così era Antonio Veggiani: attento ad ascoltare chi riferiva di tempi passati dopo avere perlustrato gli archivi, interpretando le antiche scritture proprio come egli sapeva leggere i paesaggi.

Di ogni episodio o prodotto dello spirito, Veggiani cercava d'intendere le situazioni nel tempo storico: di ogni muratura indagava lo stile e la fabbrica, di ogni carta il significato, di ogni immagine il simbolo. Un nome di luogo era per lui - come per ogni studioso autentico - uno scrigno di sentimenti e di significati, ed altrettanto gli accadeva giudicando un attrezzo di tempi passati, o un gergo: non v'era - anche sul suo insegnamento possiamo asserire: non v'è - luogo interessante per le scienze della natura che non palesasse, che non palesi qualche significato per la storia degli uomini. Se una fonte sgorgava dal suolo, a Veggiani non interessava solo di intenderne la situazione geologica ma anche di indagare se si ravvisavano le tracce di cammini percorsi da uomini e animali in antico per giungere ad abbeverarsi, se qualcuno aveva pregato accanto a quella sorgente e vi aveva lasciato un ricordo votivo - una preghiera che diventa immagine - in una vicina stipe, se qualcuno tra i frequentatori e gli abitanti della contrada non usano tuttora un toponimo che evoca il tempo passato.

Quando Antonio Veggiani, scienziato della terra, si apprestava ad interpretare una contrada o un territorio sapeva distinguere tanto i sommovimenti degli strati e le variazioni dei percorsi fluviali quanto il condizionamento che la natura aveva apportato, nel tempo andato e tuttora, agli insediamenti ed ai bisogni degli uomini, ed altrettanto gli interventi degli uomini sul paesaggio.

Perché una via battuta da millenni subisce una svolta pur nel suo cammino diritto? E perché una maglia centuriale s'interrompe là dove parrebbe che il terreno fosse tutto uguale? E perché un'antica sepoltura, anzi un vero e proprio monumento, si trova sì sottoterra ma ricoperta da una grossa coltre di fango? Raccordare le vicende del suolo alle rivoluzioni ed ai grandi cicli dei climi: tanto semplice da enunciare, ma difficile da ricordare in ogni momento della ricerca. Veggiani lo ha rammentato ed insegnato a tutti, con la medesima umanità - nello stile umano, nello sguardo, nel sorriso - con cui praticava l'amicizia. Tutti abbiamo appreso dalla sua parola e dal suo gesto: proprio tutti, non solo nelle università - come a Bologna, dove ha impartito cicli di lezioni indimenticabili, come a Luanda, nella lontana Angola, e altrove in orizzonti vicini e lontani - ma negli apparati gestionali dove ha impiegato il suo ingegno (nell'AGIP, ad esempio), nelle istituzioni civiche e culturali ove ha professato il suo impegno a promuovere, a consigliare, a contribuire al meglio dell'interesse comune. Antonio Veggiani amava gli uomini e la terra: tanto del suo ingegno ha dedicato alla sua terra e alla sua gente, di un tempo e di ieri. Anzi di oggi e di poi, perché della sua operosità raccogliamo i frutti, impegnati al suo paradigma intellettuale e morale.

Giancarlo Susini

INDICE

I	- INTRODUZIONE.	Pag. 7
II	- METODI DI INDAGINE	» 9
1.	- METODI DI STUDIO DELLE AREE A TERRA	» 9
1.1.	- CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE	» 9
1.2.	- CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO	» 11
2.	- METODI DI STUDIO DELLE AREE A MARE	» 13
III	- INQUADRAMENTO GEOLOGICO E CENNI STORICI... »	19
1.	- INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED EVOLUZIONE SEDIMENTARIA TARDO-OLOCENICA... »	24
1.1	- SISTEMA DELTIZIO-LITORALE	» 24
1.2	- SISTEMA ALLUVIONALE	» 32
IV	- STRATIGRAFIA	» 37
1.	- SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	» 39
1.1.	- SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	» 40
1.1.1.	- <i>Subsintema di Ravenna</i>	» 49
2.	- SISTEMI DEPOSIZIONALI DEL SUBSINTEMA DI RAVENNA »	51
2.1.	- DEPOSITI DI RETROBARRIERA	» 54
2.2.	- DEPOSITI DI BARRIERA TRASGRESSIVA	» 55
2.3.	- DEPOSITI DI PRODELTA E TRANSIZIONE ALLA PIATTAFORMA	» 59
2.4.	- DEPOSITI DI CORDONE LITORALE	» 62
2.5.	- DEPOSITI DI LAGUNA	» 63
2.6.	- DEPOSITI DI PALUDE SALMASTRA	» 63
2.7.	- DEPOSITI DI CANALE DISTRIBUTORE	» 64
2.8.	- DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE	» 65
3.	- EVOLUZIONE PALEOGEOGRAFICA	» 65
4.	- STRATIGRAFIA SEQUENZIALE	» 72

V	- CARTOGRAFIA	»	77
1.	- CARTOGRAFIA GEOLOGICA DEL FOGLIO 223 - RAVENNA ..	»	77
1.1.	- CARTA GEOLOGICA	»	78
1.2.	- FOGLIO ALLEGATO ALLA CARTA GEOLOGICA		
	GEOLOGIA DI SOTTOSUOLO	»	81
1.2.1.	- <i>Base del Subsistema di Ravenna</i>	»	82
1.2.2.	- <i>Tetto delle sabbie litorali del Subsistema di Ravenna</i>	»	83
VI	- ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA ED APPLICATA. ..	»	87
1.	- EROSIONE DELLE SPIAGGE.....	»	87
2.	- SUBSIDENZA DELLA FASCIA COSTIERA.....	»	93
APPENDICE 1			
BANCHE DATI			» 97
APPENDICE 2			
MICROPALAEONTOLOGIA			» 115
APPENDICE 3			
PALINOLOGIA ED EVOLUZIONE DELLA FLORA, DELLA			
VEGETAZIONE E DEL CLIMA NEL SONDAGGIO S17			» 125
APPENDICE 4			
PETROGRAFIA DELLE UNITÀ SABBIOSE			» 129
APPENDICE 5			
CARATTERISTICHE GEOCHIMICHE DEI SEDIMENTI			» 133
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.			» 137

Ringraziamenti

L'Autore desidera ringraziare i geologi dell'Ufficio Geologico della Regione Emilia-Romagna, G. Di Dio, D. Preti e P. Severi, per i frequenti scambi di opinioni sulla geologia di superficie e sulla stratigrafia del sottosuolo padano. I consulenti dello stesso Ufficio, M. C. Centineo, F. Ghiselli e G. Sarti, per aver messo a disposizione dati relativi ad aree adiacenti a quelle del Foglio Ravenna; N. Marchi per la discussione di dati relativi a prove penetrometriche; G. Caputo per l'assistenza in cantiere; S. Forni per la realizzazione di parte dei disegni. L'Ufficio Pedologico della Regione Emilia-Romagna per aver fornito dati quantitativi sulla composizione dei suoli. Un ringraziamento inoltre a M.L. Colalongo, E. Dinelli, F. Fiorini, F. Fusco, L. Marchesini, S.C. Vaiani e G.G. Zuffa del Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali dell'Università di Bologna, G. Pasini dell'Istituto di Geologia Marina del C.N.R. di Bologna e U. Cibin, consulente dell'Ufficio Geologico della Regione Emilia-Romagna, per la discussione dei dati micropaleontologici, petrografici e geochimici (v. Appendici 2-5). Si ringraziano infine M. Roveri e F. Trincardi dell'Istituto di Geologia Marina del C.N.R. di Bologna per locali contributi al testo e F. Ricci Lucchi per la lettura critica del manoscritto.

I - INTRODUZIONE

Il Foglio 223 - Ravenna della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 è stato realizzato nell'ambito del Progetto CARG, tramite convenzione tra Servizio Geologico Nazionale e Regione Emilia-Romagna.

L'area del Foglio Ravenna (Fig. 1) ricade nella parte sud-orientale della Pianura Padana (bassa pianura romagnola) ed è compresa prevalentemente nella Provincia di Ravenna. Alcuni settori degli elementi CTR 223010, 223020 e 223030 ricadono entro la provincia di Ferrara. L'area del Foglio Ravenna si estende a sud fino alla città di Ravenna, ad ovest fino ad Alfonsine, mentre a nord comprende la parte meridionale delle Valli di Comacchio. Nei quadranti orientali il foglio include una parte di Mare Adriatico, fino all'isobata - 11 s.l.m.

La morfologia del territorio del Foglio Ravenna è regolare, con una generale inclinazione del suolo da sud-ovest (con quote massime di circa 10 m s.l.m. nell'area di Traversara) verso est (Mare Adriatico) e verso nord (fino a -1,9 m s.l.m. nell'area della Bonifica del Mantello, tra Longastrino e le Valli di Comacchio). Ad eccezione degli argini artificiali, che si elevano anche di alcuni metri al di sopra del piano campagna, il dislivello tra elementi morfologico-deposizionali contigui è raramente superiore ai 2 metri. Tra le aree depresse permanentemente sommerse si segnalano la parte meridionale delle Valli di Comacchio, all'estremità settentrionale del Foglio, e il sistema di pialasse nella zona del porto di Ravenna.

La rete idrografica del Foglio comprende la parte terminale del Fiume Reno, parzialmente coincidente con un antico percorso del Po di Primaro, e la terminazione

di uno dei suoi affluenti di destra, il F. Senio. Più a sud è presente il F. Lamone. Tra gli elementi idrografici artificiali si segnalano il Canale di Bonifica in destra del F. Reno e il Canale Candiano, nell'area del porto di Ravenna.

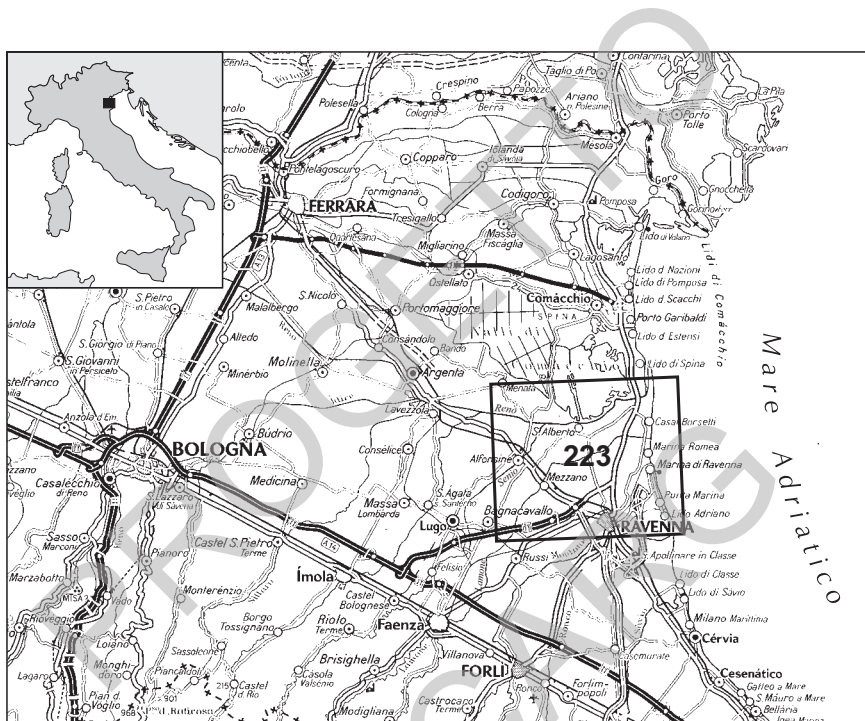


Fig. 1 - Ubicazione del Foglio 223 - Ravenna.

II - METODI DI INDAGINE

La progettazione dei rilievi per la realizzazione della carta geologica in scala 1:50.000 relativa al Foglio Ravenna è stata eseguita nel rispetto delle linee guida per il rilevamento e la cartografia delle aree di pianura, stabilite dal Comitato Geologico della Pianura Padana (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1999).

Le unità riconoscibili nel sottosuolo delle aree a terra proseguono a mare, rendendo così indispensabile l'integrazione dei dati e delle metodologie di indagine.

1. - METODI DI STUDIO DELLE AREE A TERRA (a cura di P. Severi)

Il quadro geologico risultante nella cartografia di superficie e di sottosuolo qui proposta, deriva dall'utilizzo integrato di diverse metodologie di studio, quali l'analisi delle foto aeree, lo studio delle facies dei carotaggi di sottosuolo, la biostratigrafia, l'analisi pedologica, la ricostruzione dell'andamento dei corpi sedimentari nel sottosuolo, la palinologia, ecc.

1.1. - CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE

Lo studio della porzione superficiale si è effettuato preliminarmente attraverso l'analisi di foto aeree a colori e bianco e nero, alle scale 1:13.000 (volo RER, 1976) e 1:75.000 circa (volo Italia, 1994).

Questo studio, anche grazie al concorso dell'analisi morfologica dedotta dall'altimetria, ha permesso l'individuazione preliminare di unità geomorfologiche quali, canali e argini naturali, ventagli di rotta, piane inondabili, ecc. L'analisi del colore e dei toni delle foto ha inoltre consentito di valutare, in via preliminare, la litologia dei sedimenti nonché il grado di alterazione degli stessi.

Le informazioni geomorfologiche, litologiche e pedologiche dedotte dall'analisi delle foto aeree sono poi state controllate e completate attraverso il rilievo geologico e pedologico in campagna. I rilievi geologici sono stati condotti sui rari affioramenti disponibili (cave, scavi per fondazioni) e soprattutto attraverso la realizzazione di numerose trivellate manuali spinte sino alla profondità di 1.5 metri dal piano

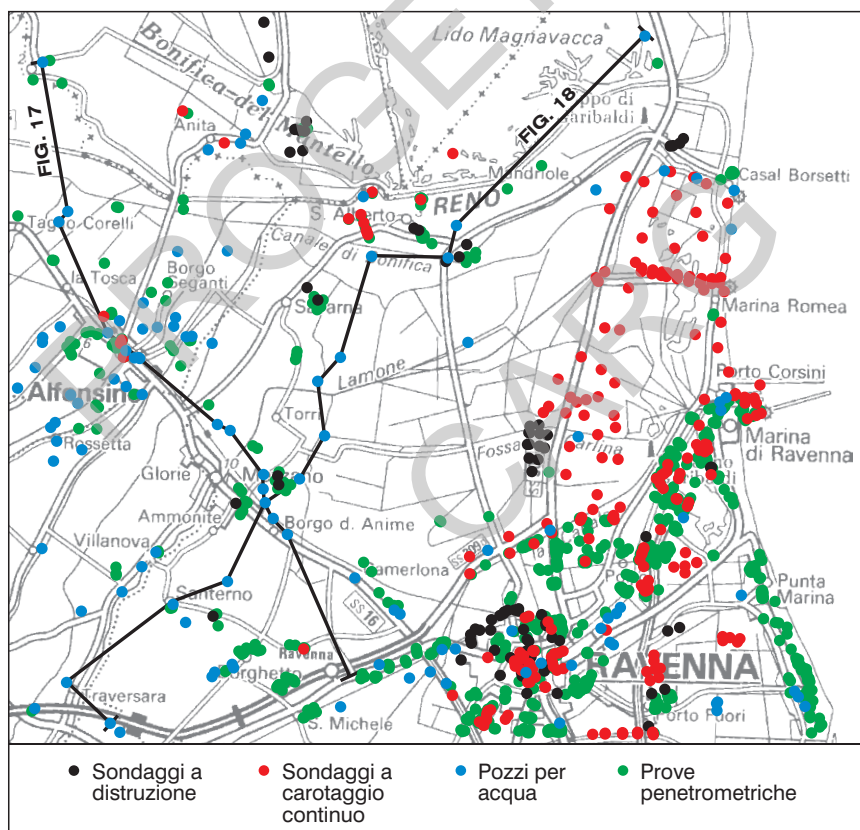


Fig. 2 - Banca dati utilizzata per lo studio geologico delle aree a terra del Foglio Ravenna, suddivisa per tipo di dato, con indicazione delle tracce di sezione di Figg. 17 e 18.

campagna. Le informazioni pedologiche (tessitura e grado di alterazione dei suoli affioranti) sono state tratte dalla Banca Dati dei Suoli, realizzata dall'Ufficio Pedologico della Regione Emilia-Romagna (vedi Appendice 1).

Per la datazione dei terreni affioranti sono stati di fondamentale importanza le informazioni contenute nella Banca Dati Archeologici (vedi Appendice 1).

1.2. - CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO

Lo studio del sottosuolo si è articolato in più fasi di lavoro, comprendenti la realizzazione di una banca dati geognostici, l'elaborazione di uno schema geologico preliminare e l'esecuzione di nuove indagini appositamente predisposte.

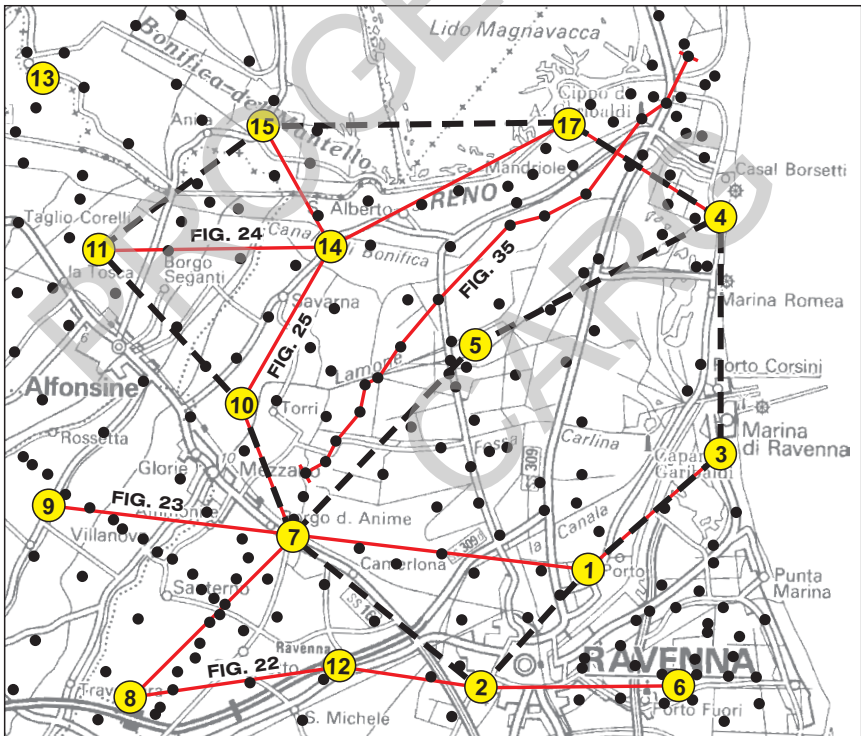


Fig. 3 - Ubicazione dei sondaggi a carotaggio continuo (numeri su sfondo giallo) e delle prove penetrometriche con piezocono (pallino nero), eseguite dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito del Progetto CARG nelle aree a terra del Foglio Ravenna, con indicazione (in rosso) delle tracce di sezione di FIG. 22-25 e 35 e del diagramma a steccato a tratteggiato di FIG. 28.

Realizzazione della Banca Dati Geognostici

Eseguita in collaborazione con la Provincia di Ravenna, la banca dati geognostici del Foglio 223 conta di 1285 indagini geognostiche. La disponibilità di tali dati, la cui distribuzione territoriale è indicata in fig. 2, è risultata indispensabile per la realizzazione di tutte le cartografie qui prodotte. La Banca Dati Geognostici è descritta in modo esteso nell'Appendice 1.

Elaborazione di uno schema geologico preliminare

L'elaborazione di uno schema geologico preliminare del sottosuolo si è basato sullo studio di una rete di sezioni geologiche costruite con tutti i dati geognostici disponibili, con particolare attenzione per i più profondi e/o dettagliati. Le correlazioni sono state effettuate sulla base di criteri geometrici, guidati dall'individuazione di orizzonti guida, quali ad esempio livelli di sabbie fossilifere, o orizzonti di torba e di argilla ricchi in sostanza organica. Ciò ha permesso di individuare i corpi litologici più significativi e le principali unità di sottosuolo in cui questi sono contenuti. Questa fase di lavoro pertanto ha consentito la ricostruzione tridimensionale preliminare della geometria dei depositi sepolti di principale interesse.

Esecuzione di nuove indagini di sottosuolo

In questo foglio sono stati realizzati 16 sondaggi a carotaggio continuo. Tra questi, 14 sono serviti per analizzare i depositi costieri ed alluvionali che sono specificamente oggetto della cartografia di sottosuolo ed hanno una profondità attorno ai 50 metri. Due sondaggi sono stati eseguiti per analizzare un intervallo più ampio della successione stratigrafica ed hanno raggiunto entrambi una profondità superiore ai 170 metri.

I sondaggi rappresentano l'unico strumento di osservazione diretta delle unità di sottosuolo e sono quindi di fondamentale importanza per la loro caratterizzazione. Essi inoltre permettono il campionamento dei terreni per analisi stratigrafiche specifiche (datazioni ^{14}C , analisi palinologiche e micropaleontologiche) le quali sono strumenti indispensabili per la verifica delle correlazioni stratigrafiche proposte.

Fra le nuove indagini sono state inoltre realizzate più di 200 prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono, che hanno raggiunto una profondità

media di circa 35 metri. Dato il costo decisamente inferiore a quello dei carotaggi continui, le penetrometrie sono state ampiamente utilizzate per aumentare la densità delle informazioni geognostiche nelle zone più povere di dati. Le prove penetrometriche sono state utilizzate per definire le litologie dei terreni attraversati, con l'ausilio di alcune tarature fatte con sondaggi a carotaggio continuo ad esse adiacenti. Un così alto numero di prove penetrometriche ha reso possibile il dettaglio proposto nelle carte di sottosuolo.

La figura 3 mostra la localizzazione dei sondaggi e delle prove penetrometriche eseguite appositamente per la realizzazione del presente foglio.

2. - METODI DI STUDIO DELLE AREE A MARE (a cura di M. Roveri e A. Correggiari)

Per il rilievo della porzione marina del foglio il lavoro si è svolto in due fasi: la prima di raccolta e analisi dei dati esistenti, la seconda di acquisizione di nuovi dati.

Nella prima fase si sono raccolti tutti i dati disponibili e di buona qualità riguardanti un'area più ampia di quella di pertinenza del foglio, in particolare più estesa verso mare (Fig. 4). Questo essenzialmente per due motivi: 1) la peculiarità delle metodologie di indagine (sismica a riflessione e carotaggi) in relazione alla tipologia delle unità stratigrafico-deposizionali da indagare; nel caso in esame la grande uniformità morfologica e deposizionale della unità più superficiale e le diffuse impregnazioni di gas lungo la fascia più a ridosso della linea di riva impongono l'estensione verso mare dei rilievi in modo da poter ricavare elementi utili alla realizzazione dello studio; 2) la grande disponibilità di dati di ottima qualità nelle zone più al largo, grazie ai quali è stato possibile ricavare l'ossatura stratigrafica generale dell'area di studio.

A questo proposito vi è da dire che la maggior parte dei dati preesistenti utilizzati sono stati raccolti in varie campagne tra il 1991 ed il 1995 dall'Istituto di Geologia Marina di Bologna nell'ambito del progetto Cartografia Geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000 per la realizzazione del Foglio prototipo Ravenna, che copre tutto il tratto di Mare Adriatico compreso tra Punta della Maestra e Cattolica dalla linea di riva fino al limite delle acque territoriali italiane. Si tratta nel complesso di 2900 miglia nautiche di profili ecografici e sismici ad altissima risoluzione (UNIBOOM e SUBBOTTOM 3.5 kHz) e di 111 carotaggi superficiali di vario tipo (gravità, pistone, vibrocarotaggio, acqua-sedimento), tutti posizionati mediante GPS. Sono stati inoltre utilizzati i dati di sondaggi geognostici leggeri (30-60 metri) messi a disposizione da AGIP, risultati molto utili per l'indagine di livelli altrimenti non raggiungibili con i normali carotieri, e i dati di alcuni sondaggi effettuati con vibrocarotiere nell'ambito di una collaborazione IGM-IDROSER.

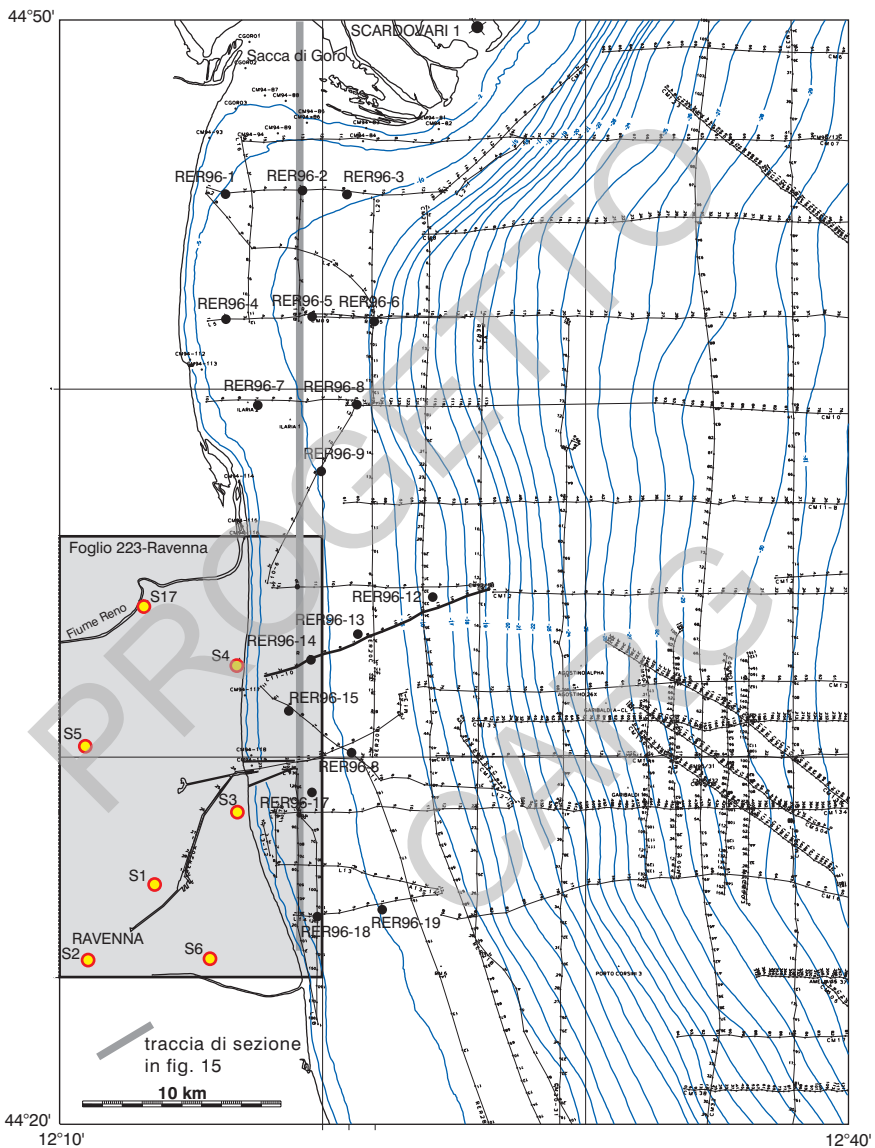


Fig. 4 - Distribuzione dei profili sismici e dei carotaggi utilizzati per lo studio della porzione marina del Foglio Ravenna (modificato da ROVERI et alii, 1997).

L'esame di questi dati ha evidenziato la necessità di una loro integrazione con nuove acquisizioni (sia di profili sismici che di carotaggi) riguardanti essenzialmente la parte più vicina a costa (< -10 m), scarsamente coperta dai precedenti rilievi a causa dei limiti operativi imposti dai mezzi navali utilizzati.

L'analisi dei dati esistenti e le conoscenze generali sull'area di studio hanno consentito di progettare una campagna di nuovi rilievi ecografici lungo tracciati mirati e seguendo un criterio di massima economicità; i rilievi sono stati eseguiti utilizzando un ecoscandaglio 3.5 kHz accoppiato a Side Scan Sonar a tecnologia

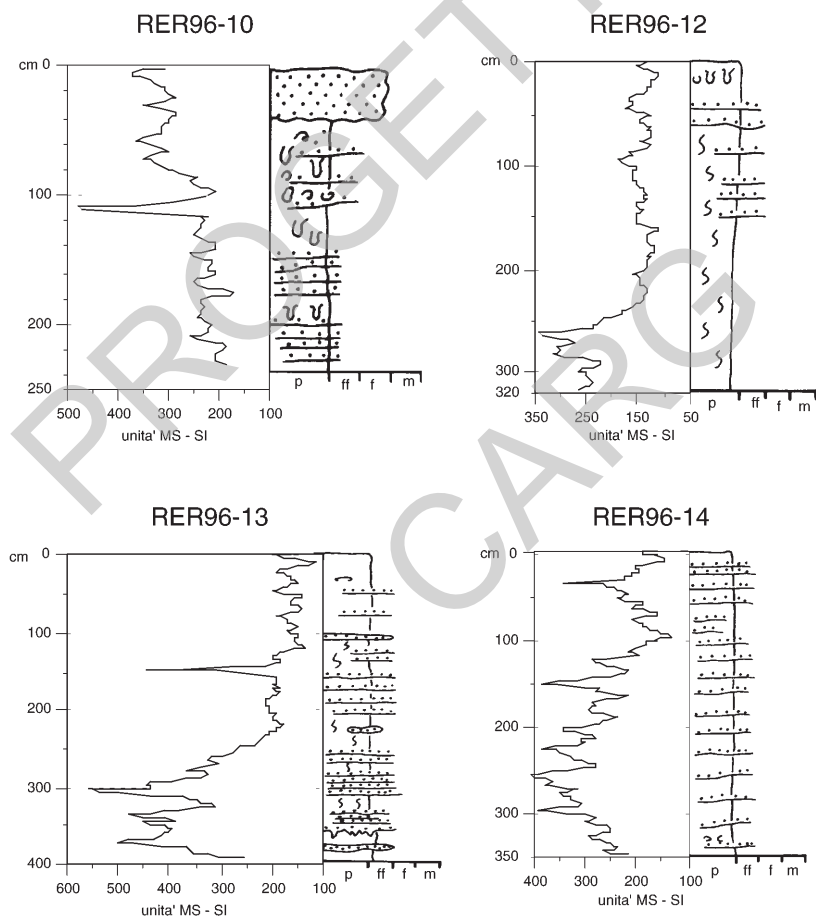


Fig. 5 - Esempio di correlazione fra curve di suscettività magnetica e log sedimentologici delle carote.

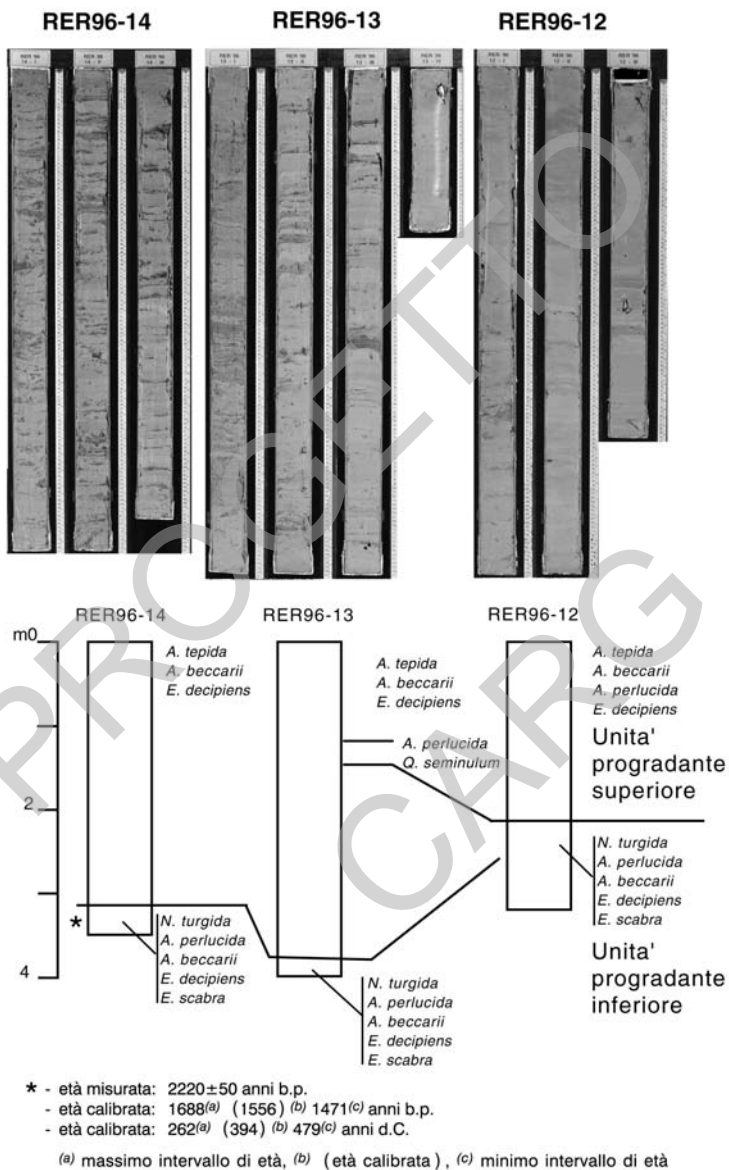


Fig. 6 – Esempio di unità definite sulla base delle associazioni microfaunistiche e delle facies sedimentarie, queste unità, calibrate con datazioni AMS ^{14}C (STUIVER & REIMER, 1993) sono poi correlate con i profili sismici (vedi Fig. 13; modificato da ROVERI et alii, 1997).

CHIRP che consente l'acquisizione su supporto digitale di profili ecografici ad altissima risoluzione. Sono stati acquisiti profili paralleli e perpendicolari alla linea di riva fino a profondità di -2 m, limite operativo delle strumentazioni utilizzate. Sulla base di questo rilievo è stata poi impostata una campagna di carotaggi mediante vibrocarotiere da 6 m svoltasi successivamente, in collaborazione con ARPA; sono stati effettuati nell'area del foglio cinque carotaggi su obiettivi mirati scelti sulla base dei rilievi sismici precedentemente acquisiti. Profili ecografici e carotaggi sono stati posizionati mediante GPS.

Tutte le carote utilizzate (quelle facenti parte del data base preesistente e quelle acquisite *ad hoc* per questo studio) sono state aperte, fotografate, descritte e campionate per analisi fisiche, geochimiche e micropaleontologiche; su tutte le carote di nuova acquisizione sono state eseguite misure di suscettività magnetica, parametro le cui variazioni definiscono delle curve ad alta risoluzione che hanno una ottima corrispondenza con i trend granulometrici e composizionali e sono quindi utilizzabili per definire e correlare unità deposizionali all'interno di successioni fini apparentemente omogenee (Fig. 5). Datazioni mediante AMS ^{14}C sono state effettuate su campioni di Foraminiferi provenienti da livelli correlati con particolari riflettori sismici (Fig. 6).

PROGETTO
CARG

III - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E CENNI STORICI

I depositi che formano l'ossatura della Pianura Padana costituiscono il riempimento del bacino di avanfossa 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 nel passato recente attraverso gli studi di sismica a riflessione condotti dall'AGIP (PIERI & GROPPI, 1981; DONDI *et alii*, 1982; DONDI & D'ANDREA, 1986; DALLA *et alii*, 1992; ORI, 1993). 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 via via meno profondo fino a depositi continentali. Il riconoscimento di una chiara superficie di inconformità di significato regionale da parte di questi autori ha consentito il primo inquadramento stratigrafico di tipo sequenziale della successione quadernaria affiorante al margine appenninico, portando alla identificazione di due cicli sedimentari principali (Fig. 7), uno marino (Qm) e uno continentale (Qc).

Recentemente, la superficie di discontinuità che separa i cicli Qm e Qc è stata identificata da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) anche nel sottosuolo della Pianura Padana, in corrispondenza del limite tra il Supersistema del Quaternario Marino (corrispondente al ciclo Qm di RICCI LUCCHI *et alii*, 1982) e il sovrastante Supersistema Emiliano-Romagnolo (equivalente al ciclo Qc). Discontinuità minori all'interno di queste due unità sono state segnalate da MARABINI *et alii* (1987,1995), FARABEGOLI & ONOREVOLI (1991), DI DIO *et alii* (1997), FARABEGOLI *et alii* (1997)

e AMOROSI *et alii* (1998a,b) al margine appenninico emiliano-romagnolo e da AMOROSI & FARINA (1995) e REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) nel sottosuolo della Pianura Padana, portando alla distinzione di sequenze deposizionali di rango inferiore all'interno dei due cicli sedimentari Qm e Qc (Fig. 7).

Il sottosuolo della piana costiera romagnola è caratterizzato dall'organizzazione ciclica di depositi marini e continentali in successioni di vario ordine gerarchico, per uno spessore di alcune centinaia di metri. Il recente studio di REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998), basato sull'interpretazione di profili sismici integrati da dati profondi di pozzo, fornisce un quadro stratigrafico generale dei depositi quaternari nell'area ravennate (Fig 8), mostrando come il Supersintema Emiliano-Romagnolo presenti in questo settore di pianura uno spessore complessivo

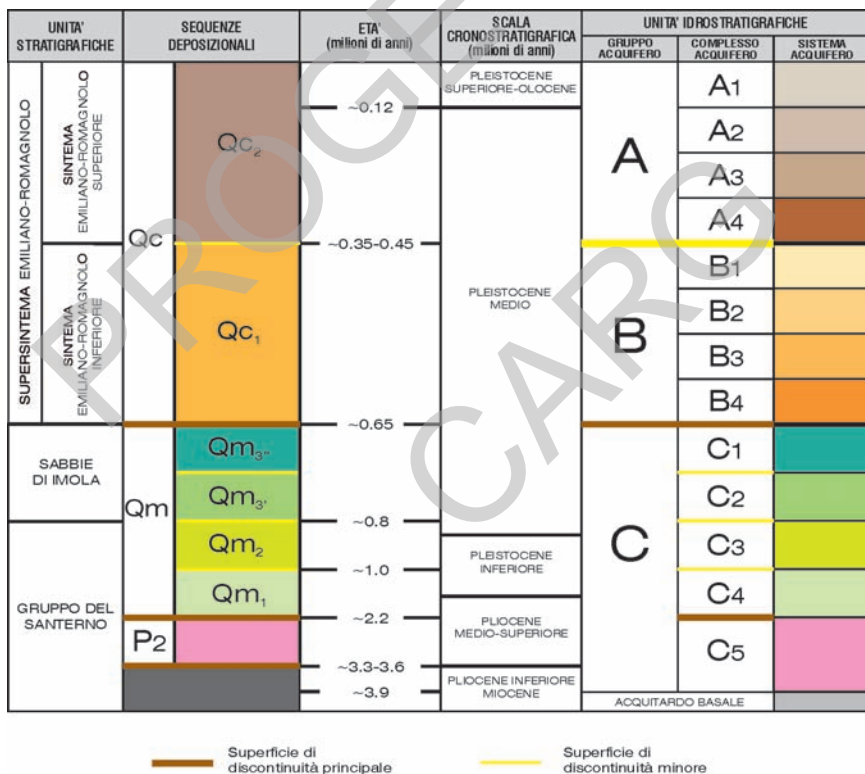


Fig. 7 - Schema stratigrafico (cfr. con Cap. IV, § 1) e suddivisione stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quaternari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche di Fig. 8 (modificato da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998 e AMOROSI *et alii*, 1999a).

di circa 6-700 m e possa essere suddiviso in due sintemi (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore), il cui spessore si aggira in entrambi i casi intorno ai 300 m.

Se si eccettuano lavori recentissimi, realizzati nell'ambito del progetto di cartografia di cui il Foglio Ravenna fa parte, non esiste una vasta documentazione in letteratura relativa al sottosuolo dell'area ravennate. In particolare le difficoltà, specie in termini di risorse finanziarie, nell'affrontare studi dettagliati di sottosuolo, spiegano la scarsità di studi stratigrafici nell'area in esame, contrapposta all'abbondanza di lavori a carattere prevalentemente geomorfologico (CIABATTI, 1966, 1990; NELSON, 1970; VEGGI & RONCUZZI, 1973; VEGGIANI, 1974; BONDESAN, 1986; CASTIGLIONI *et alii*, 1990).

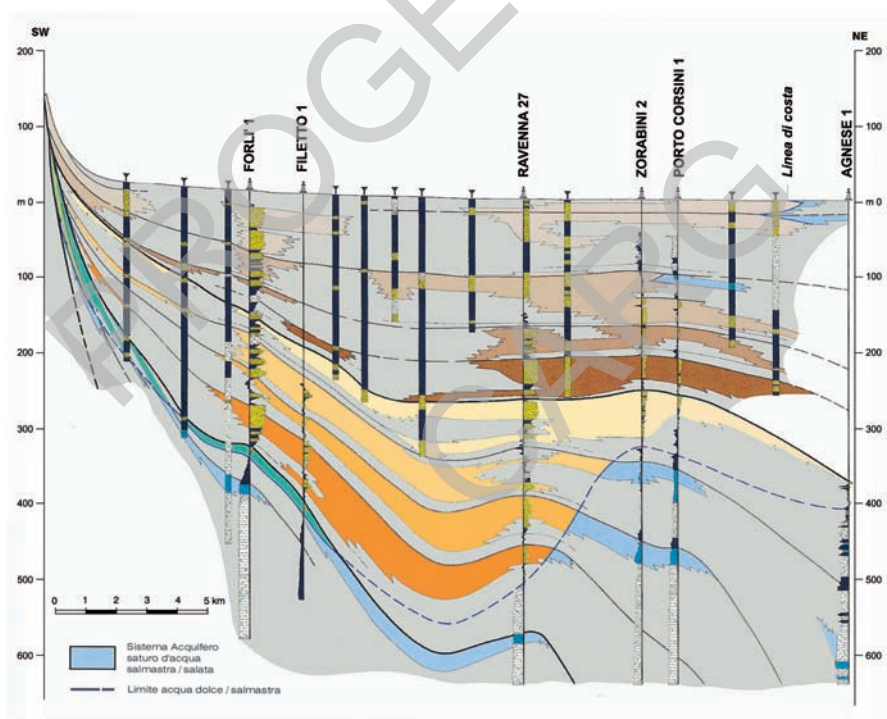


Fig. 8 - Sezione geologica nel sottosuolo della pianura romagnola (i colori delle unità si riferiscono alla legenda di Fig. 7) e correlazioni stratigrafiche all'interno del Supersintema Emiliano-Romagnolo (modificato da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Le aree grigie che separano le unità idrostratigrafiche (in colore) corrispondono alle principali barriere di permeabilità.

Nella maggior parte dei casi, i lavori che si sono occupati degli aspetti stratigrafici del sottosuolo romagnolo nell'area del Foglio Ravenna si sono limitati alla semplice descrizione di sondaggi (VEGGI & RONCUZZI, 1973) o a una loro preliminare interpretazione (VEGGIANI, 1973; VALPREDA *et alii*, 1990; LENZI, 1993). Lavori di maggior dettaglio sono stati invece limitati a carote di lunghezza generalmente inferiore a 5 m (BRUNETTI *et alii*, 1998). Studi stratigrafici su depositi tardoquaternari nelle aree adiacenti al Foglio Ravenna sono stati condotti da RIZZINI (1974) nella piana costiera a sud di Ravenna e da BONDESAN *et alii* (1995) nel Ferrarese. Questi studi mettono in evidenza la presenza nel sottosuolo di depositi riferibili a un ciclo trasgressivo-regressivo di età olocenica, di circa 20-30 metri di spessore, sovrastante depositi continentali pleistocenici (Fig. 9).

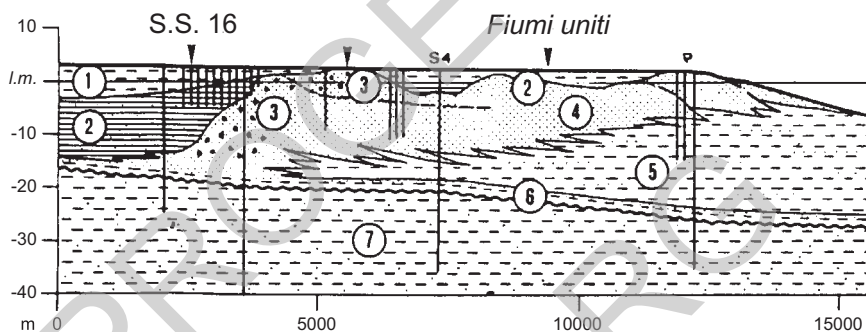


Fig. 9 - Stratigrafia della pianura romagnola a sud di Ravenna (da RIZZINI, 1974). 1: argille continentali, 2: fanghi lagunari, 3: sabbie e ghiaie di spiaggia, 4: sabbie di spiaggia recenti, 5: fanghi di piattaforma, 6: sabbie e silt trasgressivi, 7: sabbie e argille continentali pleistoceniche.

I principali studi sui depositi tardoquaternari dell'area nord-adriatica sono quelli di TRINCARDI *et alii* (1994) e CORREGGIARI *et alii* (1996a;b), oltre al Foglio Sperimentale Ravenna della Carta Geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000 (FABBRI *et alii*, in prep.). A questi lavori si deve l'inquadramento stratigrafico-sequenziale dei sedimenti quaternari nelle aree a mare (Fig. 10) e, in particolare, la dettagliata descrizione delle superfici di discontinuità entro la sequenza deposizionale tardoquaternaria e dell'architettura deposizionale del sistema trasgressivo nell'area adriatica. Antichi cordoni litorali sommersi in alto Adriatico sono stati segnalati precedentemente anche da BRAMBATI & VENZO (1967) e COLANTONI *et alii* (1979; 1990).

L'impulso fornito dal Progetto di Cartografia Geologica in scala 1:50.000 (Progetto CARG) alla raccolta e alla produzione di dati nel sottosuolo delle aree di pianura, ha recentemente condotto alla pubblicazione di alcuni lavori che

costituiscono la base di partenza scientifica della cartografia geologica del Foglio Ravenna nelle aree a terra (AMOROSI *et alii*, 1999b,c; AMOROSI & MARCHI, 1999) e ai quali si rimanda per un approfondimento delle tematiche trattate nelle sezioni successive.

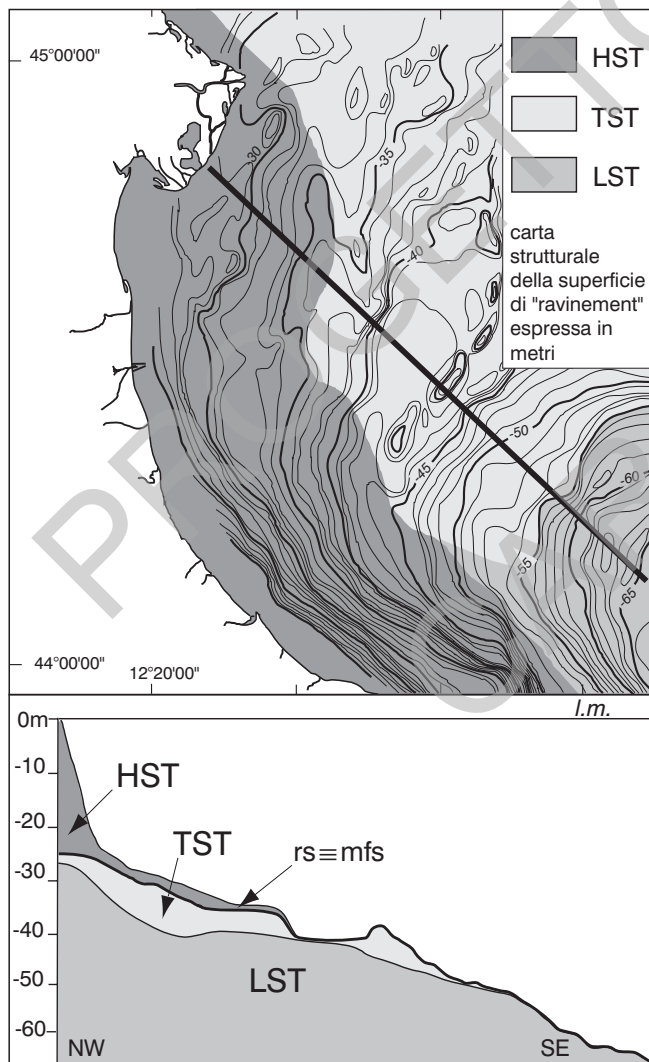


Fig. 10 - Esempio di applicazione dei concetti della stratigrafia sequenziale alla cartografia di aree marine, nell'alto Mare Adriatico (modificato da CORREGGIARI *et alii*, 1996b). LST: sistema di stazionamento basso, TST: sistema trasgressivo, HST: sistema di stazionamento alto, rs: superficie di ravinement, mfs, superficie di massima ingressione marina.

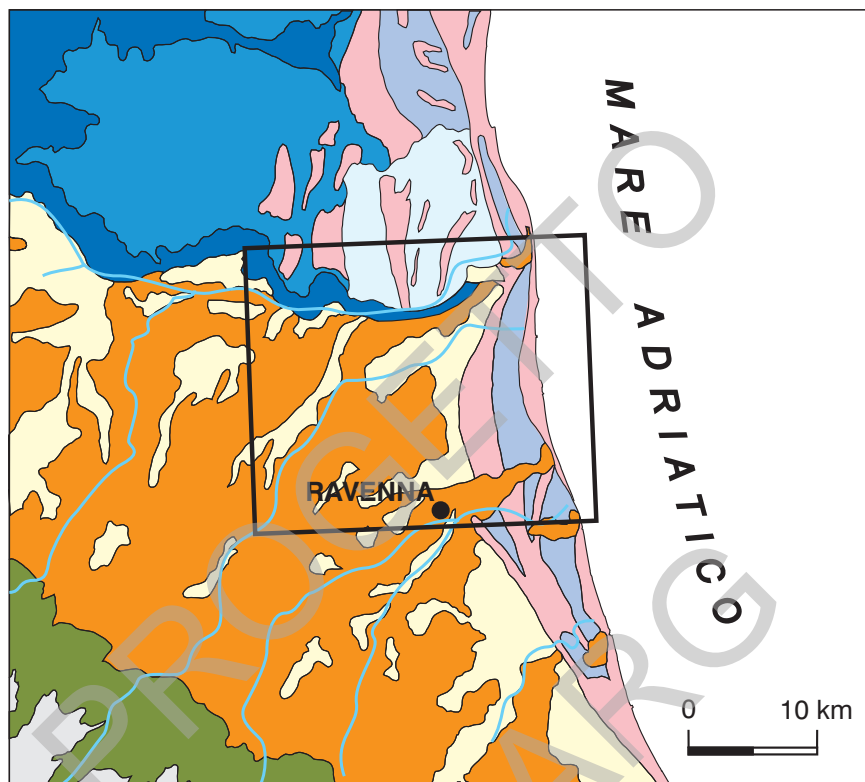
1. - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED EVOLUZIONE SEDIMENTARIA TARDO-OLOCENICA

L'attuale configurazione morfologica dell'area compresa nel Foglio Ravenna è il risultato della complessa interazione di processi fluviali, marini costieri e tidali che hanno caratterizzato la dinamica deposizionale tardo-olocenica. Gran parte dei caratteri morfologici osservabili nella parte settentrionale e orientale del Foglio Ravenna è intimamente legata alle dinamiche evolutive del delta del Fiume Po (Fig. 11) e, in particolare, a quelle del suo canale distributore più meridionale, il Primario (all'incirca coincidente con la parte terminale del Fiume Reno attuale), responsabile della costruzione in età tardo-olocenica nell'area ravennate di un lobo deltizio di notevoli proporzioni. La crescita del delta era accompagnata dalla progradazione di un sistema costiero, attraverso la giustapposizione di cordoni litorali di età via via più recente. A sud del Primario la sedimentazione avveniva invece in ambiente di piana alluvionale. L'intervento umano ha sensibilmente condizionato la sedimentazione, soprattutto nel corso degli ultimi secoli. Per questo motivo, il contributo della ricerca storica è di fondamentale importanza per ricostruire la storia deposizionale tardo-olocenica dell'area in esame. La Carta Geologica del Foglio Ravenna (Cap. V, § 1.1.) mostra la registrazione di gran parte degli eventi di seguito descritti.

1.1. - SISTEMA DELTIZIO-LITORALE

Le variazioni idrografiche del basso corso del Fiume Po sono state descritte ampiamente in letteratura (CIABATTI, 1966; 1990; VEGGI & RONCUZZI, 1970; VEGGIANI, 1974; 1985; BONDESAN, 1995). In epoca pre-etrusca (Fig. 12a), la rete idrografica era dominata da due corsi d'acqua principali, denominati Po di Adria (a nord) e Po di Spina, detto anche Padoa o Eridano (a sud), entrambi situati al di fuori dell'area in studio. Con l'epoca etrusca, si registra un progressivo incremento di portata del Po di Spina, fenomeno che avviene parzialmente alle spese del Po di Adria. In questa fase, il delta del Po di Spina prograda sensibilmente verso mare, formando l'importante sistema di cordoni litorali situati lungo l'asse Valli di Comacchio - S. Alberto - Ravenna.

In epoca Romana (Fig. 12b), il deflusso preferenziale delle acque del Po nei settori meridionali è testimoniato dalla formazione del delta del Po di Volano (detto Olana), un ramo che si stacca dal Po di Spina più o meno in prossimità di Ferrara, proseguendo in direzione di Massa Fiscaglia e Codigoro. In questo periodo il Po è attivo su di un fronte molto vasto, entro il quale sono riconoscibili quattro



DEPOSITI ALLUVIONALI

- Terrazzo e conoide alluvionale
- Canale, argine e rotta fluviale
- Piana inondabile

DEPOSITI DELTIZI E LITORALI

- Canale distributore
- Area interdistributrice
- Cordone litorale
- Retrocordone

Fig. 11 - Schema geologico di superficie della Pianura Padana orientale (tratto dalla Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna). Si osservi lo sviluppo di un antico apparato deltizio del Po che interessa la parte più settentrionale del Foglio Ravenna (riquadrate).

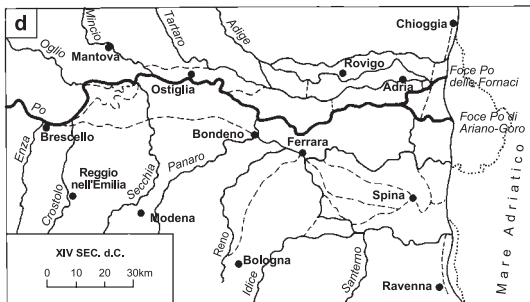
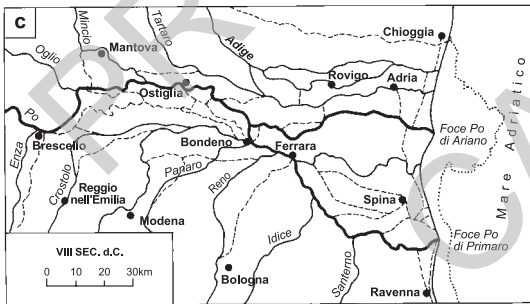
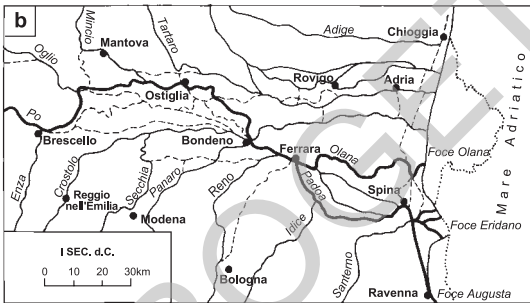
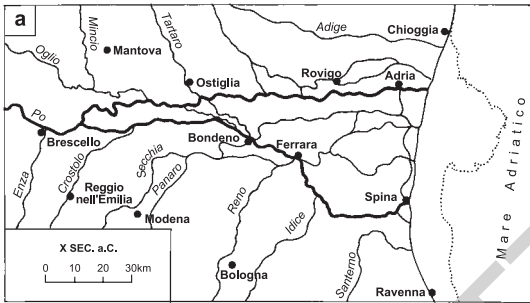


Fig. 12 - Evoluzione idrografica del basso corso del Fiume Po nel corso degli ultimi 3.000 anni (modificato da VEGGIANI, 1974).

distributori, di cui i due più meridionali svolgono la funzione di principali collettori delle acque. In particolare, da nord verso sud sono ricostruibili i paleocorsi del Po di Adria (in corso di estinzione), il Po d'Ariano (un nuovo canale distributore all'incirca orientato in direzione del delta attuale, W-E), il Po di Volano ed il Po di Spina. Quest'ultimo costruisce in questo periodo un delta complesso, caratterizzato da quattro distributori principali, tra cui uno ad andamento meridiano passante per Ravenna.

A partire dal 400 d.C. il reticolo idrografico della bassa pianura romagnola subisce importanti modifiche (CIABATTI, 1990): in seguito ad una fase climatica di grande piovosità (VEGGIANI, 1994) il Po di Spina si innesta su di un paleocorso del Santerno, dopo di che viene disattivato da un'importante rotta fluviale in destra orografica, che determina la comparsa del Po di Primaro (Fig. 12c), a sud delle attuali Valli di Comacchio (VIII sec.) Questo evento determina l'abbandono e l'impaludamento del delta del Po di Spina e la formazione di un nuovo lobo deltizio in rapida progradazione.

L'abbandono del lobo deltizio legato al Po di Primaro (Fig. 12d), verificatosi tra i secoli XII e XIV in seguito alla nota "rotta di Ficarolo" del 1152-1192, rappresenta un altro momento di fondamentale importanza nella storia evolutiva dell'area in esame. In conseguenza di questo evento, l'antica piana deltizia (coincidente geograficamente con l'area situata a nord del Primaro) è soggetta a subsidenza e sommersione, con rimonta delle acque salate verso occidente (BONDESAN, 1986). Parallelamente, i sedimenti di fronte deltizia vengono rielaborati in complessi barriera-laguna. Lo sviluppo e soprattutto l'abbandono del lobo deltizio del Po di Primaro sono ben registrati nella porzione marina del foglio; i carotaggi e la sismica ad altissima risoluzione mettono in evidenza due unità con evidenti geometrie progradazionali separate da un forte riflettore sismico corrispondente a una superficie di annegamento e rielaborazione (Fig. 13). Datazioni AMS ^{14}C effettuate nella parte bassa dell'unità inferiore e alla base di quella superiore hanno fornito età rispettivamente intorno al 400 d.C. e al 1250 d.C., consentendo una buona correlazione con la fase di sviluppo dell'apparato deltizio del Po di Primaro. La superficie di separazione rappresenta un ottimo *marker* stratigrafico ed è ulteriormente evidenziata nelle aree più vicine a costa dalla presenza di gas in livelli porosi confinati al tetto dell'unità inferiore. Il limite superiore netto dei depositi impregnati a gas suggerisce un brusco cambio di facies; le carote che attraversano il limite tra le due unità mostrano infatti argille di prodelta (impermeabili) sovrapporsi ad alternanze argilloso-sabbiose di fronte deltizia. La distribuzione areale delle impregnazioni di gas sotto la superficie mostra chiaramente la forma e l'estensione delle facies deltizie dell'unità inferiore (Figg. 14 e 15) e il legame genetico con il sistema di cordoni litorali attribuiti al Po di Primaro presenti a terra

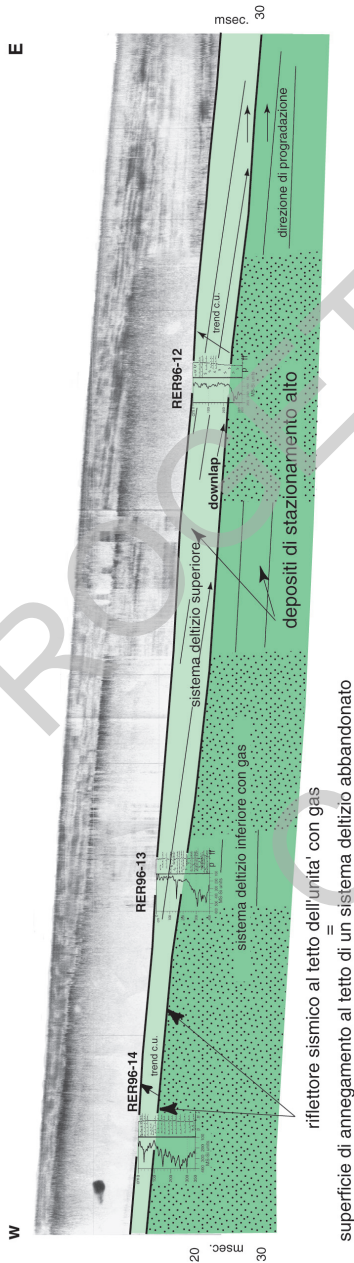


Fig. 13 - Esempio di profilo sismoacustico Chirp Sonar ad altissima risoluzione (vedi ubicazione in Fig. 4; modificato da ROVERI et alii, 1997). In questo caso le geometrie dei riflettori e la distribuzione di livelli con gas consentono di definire due unità sismostratigrafiche corrispondenti ad altrettanti sistemi delizi progredanti; la superficie che separa le due unità marca una fase di abbandono e rielaborazione del sistema inferiore. La correlazione con i dati delle carote di tutta l'area indagata suggerisce che l'unità inferiore corrisponda all'apparato del Po di Primario (vedi Figs. 14 e 15); a sostegno di questa ipotesi, i livelli basali dell'unità progredante superiore hanno fornito un'età AMS ^{14}C calibrata di ca. 750 anni, corrispondenti al 1200 d.C.

(ROVERI *et alii*, 1997; in prep.). L'unità superiore comprende i depositi degli apparati deltizi minori (legati ai fiumi appenninici) sviluppatasi in quest'area dopo il 1200 d.C.; in aree adiacenti al Foglio Ravenna, all'interno di questa unità è differenziabile su base sismica un'unità corrispondente alla fase di sviluppo del Delta del Po moderno (dal 1500 d.C. in poi).

L'abbandono repentino del sistema deltizio meridionale coincide con la creazione di un nuovo ramo (il Po delle Fornaci, equivalente del Po Grande attuale), che pone le premesse per la formazione del delta attuale, in posizione più settentrionale. In conseguenza di tale rotta, il Volano prima e il Primaro poi restano progressivamente tagliati fuori dalla rete idrografica facente capo al Po. In particolare, il Volano viene abbandonato definitivamente. Il Primaro è caratterizzato da un'evoluzione differente rispetto agli altri distributori, a causa della sua posizione meridionale che ne favorisce il ruolo di collettore delle acque dei principali fiumi appenninici quali il Reno, il Santerno, il Senio e il Lamone (v. oltre). Per questo motivo la crescita del delta del Po di Primaro continua anche in tempi successivi alla rotta di Ficarolo, grazie all'apporto sedimentario dei fiumi appenninici (VEGGIANI, 1974; BONDESAN, 1985; CASTIGLIONI *et alii*, 1990).

Le tracce della progradazione degli apparati deltizi del Po sono riconoscibili oggi nei sistemi di cordoni litorali parzialmente sepolti che affiorano nel settore orientale del Foglio (Fig. 16) (CIABATTI, 1966; SGAVETTI & FERRARI, 1988). Questi sono accompagnati da sistemi di dune per lo più spianate ad opera dell'uomo e presentano età progressivamente più giovani da ovest verso est, marcando le fasi successive di costruzione del delta. In tutto, sono stati riconosciuti e cartografati otto sistemi di cordoni litorali, affioranti o subaffioranti, e distinti dieci sistemi deltizi (CIABATTI, 1966). La differenziazione tra spiagge semplici e cordoni litorali di fronte deltizia può essere operata sulla base del *pattern* radiale o rettilineo e dell'orientamento dei corpi sedimentari, rispettivamente subparalleli o inclinati rispetto al *trend* di direzione della paleolinea di costa (COLEMAN & WRIGHT, 1975).

Nell'area compresa entro il Foglio Ravenna, oltre ai sistemi di cordoni litorali che marcano l'attuale linea di costa, sono ben sviluppati cordoni litorali di Età Moderna (sistemi ad andamento meridiano, di età compresa tra X e XVI secolo d.C., che si estendono dal limite orientale delle Valli di Comacchio a Porto Fuori, attraversando interamente il Foglio), riconducibili ai sistemi III, IIIe e VII di CIABATTI (1966). In posizione più occidentale sono localmente affioranti sistemi di cordoni di età etrusco-romana (area della Bonifica del Mantello e delle Valli di Comacchio, a nord di S. Alberto).

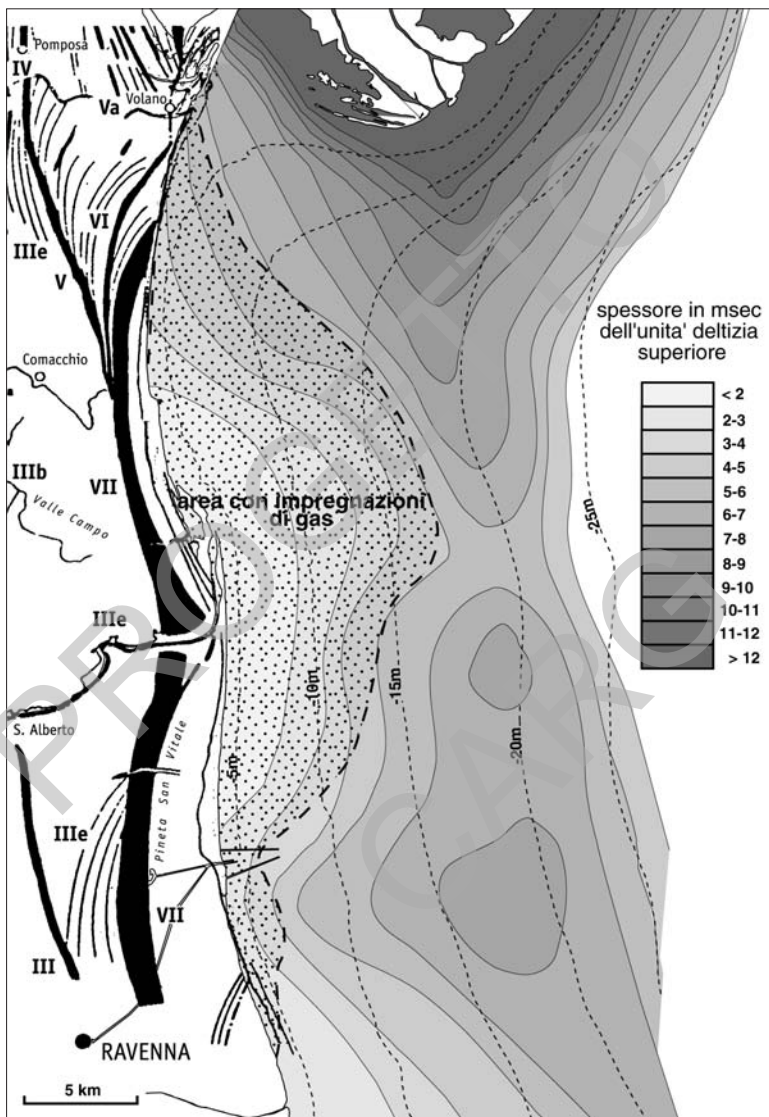


Fig. 14 - Distribuzione areale delle impregnazioni di gas al tetto dell'unità progradante inferiore; si notino la forma a ventaglio, che dimostra la natura deltizia del deposito, e la buona corrispondenza con gli elementi morfologici a terra (da CIABATTI, 1966), che suggerisce uno stretto legame con l'apparato del Po di Primario (modificato da ROVERI et alii, 1997).

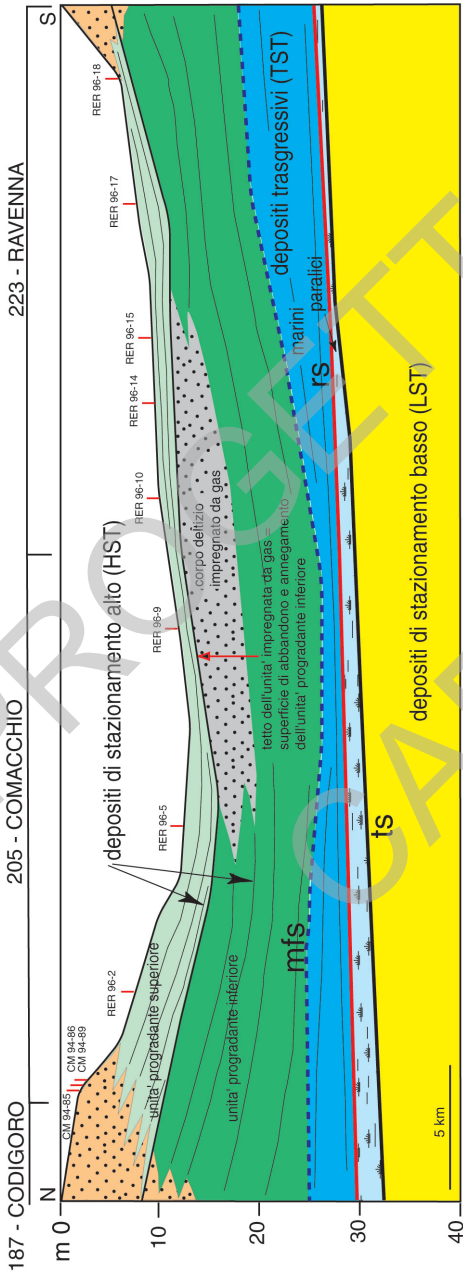


Fig. 15 - Sezione geologica spinta in profondità fino ai depositi continentali dell'ultima fase glaciale: in questa sezione orientata nord-sud (vedi ubicazione in Fig. 4) si nota il corpo leniforme dell'apparato deliziale del Po di Primaro, definito sulla base della distribuzione di facies porose impregnate a gas (modificato da ROVERI et alii, 1997).

1.2. - SISTEMA ALLUVIONALE

La progressiva migrazione verso mare della linea di costa nel tardo Olocene favorì lo sviluppo, a tergo dei sistemi di cordoni litorali, di un'ampia pianura alluvionale dominata da fiumi di provenienza appenninica. Quest'area di grandi dimensioni, situata a sud del Primaro e delimitata ad est e separata dal Mare Adriatico per mezzo di cordoni litorali, era costituita da aree palustri e lagunari (le note "valli") in cui sfociavano i principali fiumi della Romagna centro-occidentale.

La recente evoluzione della rete idrografica romagnola è testimoniata dai depositi alluvionali presenti su larga parte del Foglio (cfr. con Cap. V, § 1.1). Si tratta di corpi nastriformi, allungati prevalentemente in direzione SW-NE, la cui espressione morfologica è data da deboli rilievi di alcuni metri di elevazione e 3-5 km di estensione laterale, separati da strette depressioni, generalmente estese per 1-2,5 km. Da ovest verso est, sono riconoscibili i sistemi canale-argine riconducibili ai paleopercorsi dei fiumi Santerno, Senio, Lamone, Montone e Ronco (CASTIGLIONI *et alii*, 1990).

Tra i più antichi paleoalvei ancora riconoscibili, legati alla crisi climatica avvenuta nel Medio Evo tra il 1150 e il 1350, si segnalano tre sistemi risalenti al XIII sec. d.C., di cui due riferibili al Senio ed uno al Lamone. La maggior parte dei depositi alluvionali affioranti, tuttavia, è riconducibile alle rotte e alle divagazioni avvenute nel corso dell'Età Moderna (1550-1850), detta anche Piccola Età Glaciale. Un importante sistema canale-argine è quello del Fiume Senio, attivo nella zona di Alfonsine fino al XVII sec. Analogamente, si segnalano nella zona di Ravenna i sistemi coalescenti del Montone e del Ronco e, infine, il sistema canale-argine di maggiori dimensioni all'interno del Foglio Ravenna, riferibile al paleo-Lamone.

Come osservato in precedenza, la chiave di lettura dei rapporti tra sistema deltizio-litorale e alluvionale sta nella relazione tra fiumi appenninici e Primaro. In epoca pre-romana il Santerno, il Senio e il Lamone scorrevano verso NNE, in direzione del Primaro, sfociando però in zone paludose in prossimità del canale distributore del Po. Dai Romani furono messi per la prima volta in connessione con il Primaro, attraverso la creazione di un sistema di canali scolmatori. A partire dal 1460 il Santerno viene fatto confluire artificialmente nel Primaro. E' l'inizio di una lunga serie di sistemazioni idrauliche, che condurranno a far confluire nel Primaro anche il Lamone (1504), il Reno (1526) e il Senio (1537). Il progressivo interrimento del Primaro in via di abbandono (le acque del Po cessano definitivamente di fluire nel Primaro nel 1604) induce alla realizzazione di continue modifiche della rete idrografica (il Lamone, ad esempio, viene deviato a sfociare parallelamente al Primaro in Adriatico), fino alla definitiva sistemazione del Reno in un alveo approssimativamente coincidente con quello abbandonato dal Primaro (1782).

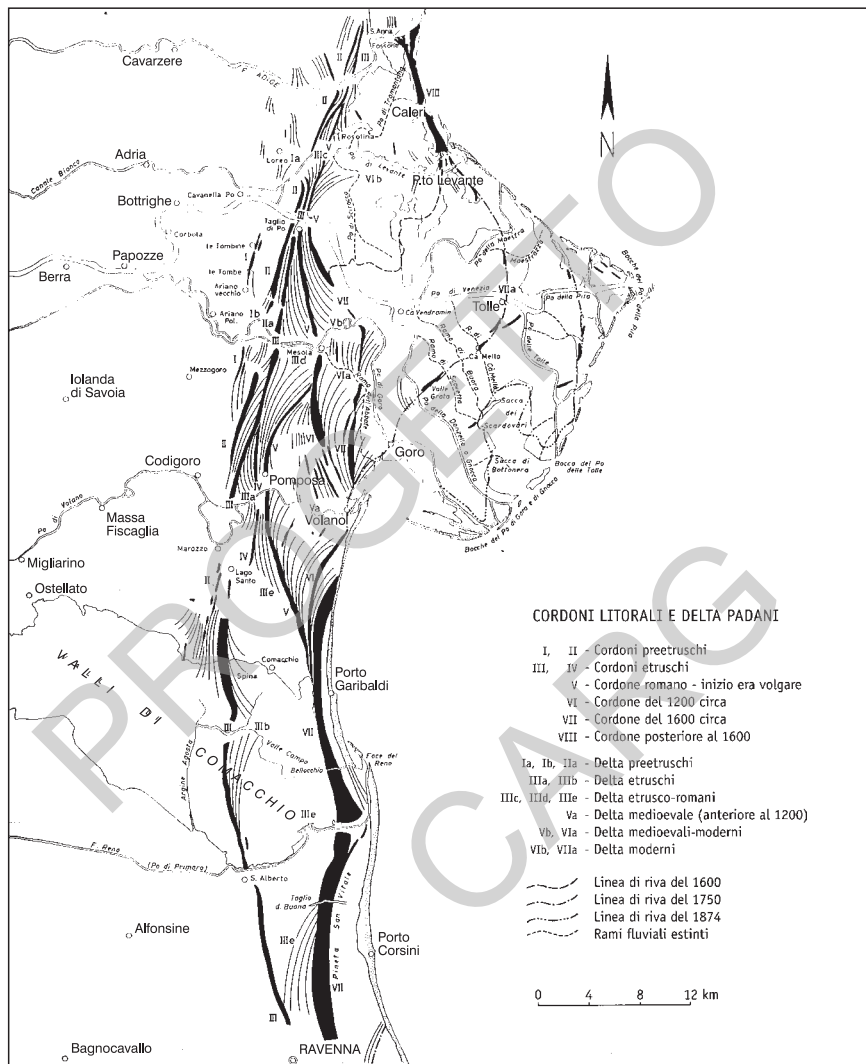


Fig. 16 - Distribuzione dei cordoni litorali e degli apparati deltizi padani nella piana costiera romagnola tra Ravenna e il delta del Po (da CIABATTI, 1966).

Nel XVIII sec. avviene anche la sistemazione dei fiumi Montone e Ronco che, lambendo nel loro corso la città di Ravenna prima di ricongiungersi a valle di essa, ne determinavano frequentemente l'alluvionamento. E' importante sottolineare che in Età Moderna, oltre al Primaro-Reno cui si è sopra accennato, solo il sistema dei fiumi Montone e Ronco sfociava stabilmente in Adriatico, costituendo un apparato deltizio indipendente, i cui resti sono oggi riconoscibili nell'area compresa tra Punta Marina e Lido Adriano. Nel 1739 i due fiumi vengono deviati a sud di Ravenna verso l'antico porto Candiano (formazione dei Fiumi Uniti). Questa operazione determina la disattivazione (con successivo smantellamento) dell'apparato deltizio precedentemente attivo e pone le premesse per la formazione di una nuova serie di cordoni litorali.

Nel corso del XIX sec. ha luogo la bonifica delle ampie zone paludose comprese tra il Po di Primaro, gli argini dei tributari di provenienza appenninica ed i cordoni litorali. La bonifica più rilevante, eseguita tra il 1839 e il 1885, avviene per colmata in due fasi: una prima fase in cui viene sfruttata una storica rotta del Lamone nel 1839 (rotta de Le Ammoniti) per bonificare il settore situato a SE di Mezzano. In un secondo tempo, grazie ad una seconda fase di canalizzazioni, viene bonificata anche l'area a Sud di S. Alberto. Questa operazione di bonifica porta alla formazione della Cassa di colmata del Lamone.

Differente fu invece la bonifica delle aree situate a nord del Primaro, che già a partire dal XV e XVI secolo erano in gran parte sommerse e sede di paludi, in seguito all'abbandono del lobo deltizio. Nei settori più orientali, come quello del Mezzano (al limite settentrionale dell'area in esame), la comunicazione col mare doveva essere anche più accentuata, registrandosi la presenza di vere e proprie lagune (VALPREDA *et alii*, 1990). La risalita delle acque da oriente verso occidente fu condizionata dalla complessa morfologia dell'apparato deltizio abbandonato; in particolare, i tratti dei paleoalvei ad andamento meridiano (N-S) svolsero in tempi successivi una funzione di barriera e di protezione delle aree poste ad occidente. Tra questi si ricorda l'Argine Agosta (paleoalveo del Po di Spina).

Gli interventi di regimazione delle acque e di bonifica, intrapresi dagli Estensi a partire dal 1500, ebbero scarso successo, a causa del forte tasso di subsidenza che favorì nuovamente l'allagamento delle aree bonificate a sole poche decine di anni dal completamento delle opere di bonifica. Tali interventi furono favoriti in seguito dall'invenzione delle idrovore (seconda metà del XIX secolo), che causarono l'ultima importante variazione al panorama della regione in esame, determinando il prosciugamento di alcune migliaia di ettari di terreno precedentemente sede di aree paludose, e favorendo il successivo utilizzo del territorio per attività agricole.

Deve essere segnalato, infine, l'importante controllo morfologico esercitato nel corso degli ultimi secoli dai cordoni litorali sul percorso dei fiumi appenninici.

Costituendo barriere naturali alle divagazioni dei fiumi (BONDESAN, 1985) i cordoni litorali hanno vincolato questi ultimi a seguire percorsi tortuosi e a sfociare in posizioni preferenziali. Esempi di paleopercorsi ad andamento meridiano ed elevata sinuosità sono chiaramente osservabili nell'area compresa tra i due sistemi principali di cordoni litorali, nell'area tra Casal Borsetti e Marina Romea e, più a sud, ad ovest di Punta Marina e Lido Adriano. Un esempio invece di foce fluviale ad elevata sinuosità è quello del paleo-Lamone a Casal Borsetti. Al momento della disattivazione del ramo fluviale le foci, costrette tra due barriere, divenivano sede di bocche di marea; analogamente, le paludi e lagune retrostanti venivano trasformate in piane di marea.

PROGETTO
CARG

IV - STRATIGRAFIA

L'affermarsi dei concetti della stratigrafia fisica nel corso degli ultimi venti anni, ponendo l'accento sull'identificazione di pacchi di strati delimitati da superfici-tempo e sulle relazioni genetiche tra sistemi deposizionali coevi, ha favorito il progressivo utilizzo di unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units* o Sintemi e Unità allostratigrafiche - NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE o NASC, 1983) o comunque legate a cicli di eventi, come le unità stratigrafico-deposizionali (VAIL, 1987; POSAMENTIER *et alii*, 1988). Queste unità presentano un forte connotato operativo (MUTTI *et alii*, 1994) e trovano un impiego naturale nella cartografia geologica dei depositi quaternari.

Le linee guida per il rilevamento e la cartografia dei depositi quaternari nelle aree di pianura e marine (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1999) stabiliscono che gli oggetti rappresentati nella Carta Geologica in scala 1:50.000 debbano essere descritti sotto forma di unità stratigrafiche a limiti inconformi (SALVADOR, 1987), ossia "*corpi stratificati cartografabili di rocce sedimentarie, definiti e identificati sulla base delle discontinuità che li delimitano*" (NASC, 1983; POAG & WARD, 1993).

Nelle aree a terra, l'impiego dei Sintemi trova la sua applicazione ottimale nella rappresentazione cartografica di depositi di terrazzo alluvionale (cfr. BLUM

& VALASTRO, 1994) che, per loro natura, sono compresi tra superfici di discontinuità. Esempi di potenziali Sintemi, al margine appenninico emiliano-romagnolo, sono i raggruppamenti di terrazzi identificati da FARABEGOLI & ONOREVOLI (1989), AMOROSI *et alii* (1996) e BASSETTI & SARTI (1997). Nelle aree a mare, l'impiego di rilievi sismici ad alta e altissima risoluzione, specialmente se calibrati con carotaggi e corredati da un dettagliato schema di datazioni radiometriche, fornisce una solida base per l'identificazione e la mappatura di unità stratigrafico-sequenziali a base inconforme (TRINCARDI *et alii*, 1994; CORREGGIARI *et alii*, 1996b, FABBRI *et alii*, in prep.).

La carenza di linee sismiche ad alta risoluzione e la locale assenza di precisi riferimenti cronologici rendono al contrario più problematica la definizione di linee di correlazione con significato di linee-tempo nei depositi tardoquaternari del sottosuolo della Pianura Padana. A questi problemi si cerca di ovviare mediante un approccio integrato che affianca l'analisi dei dati di pozzo alla scala dell'intero bacino allo studio sedimentologico e micropaleontologico (foraminiferi, ostracodi e pollini) di dettaglio di sondaggi a carotaggio continuo (AMOROSI *et alii*, 1999c).

Questo approccio è alla base della ricostruzione stratigrafica presentata da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) (v. Cap. III, § 1) e adottata sia nel rilevamento del Foglio 223 – Ravenna, che nei Fogli della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 in corso di realizzazione. In particolare, il Supersintema Emiliano-Romagnolo è stato suddiviso in una Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e in un Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (Fig. 7). All'interno di quest'ultimo sono presenti unità di rango inferiore (Subsintemi) che registrano la ciclicità elementare glacioeustatica di quarto ordine (alternanza di depositi marini e continentali) e che per la loro natura ciclica costituiscono le unità cartografiche di riferimento per la Carta Geologica di Pianura. La quasi totale assenza di rilievo nell'area del Foglio Ravenna fa sì che i terreni affioranti, tutti di età olocenica, siano riferibili alla parte sommitale del Subsintema più recente (Subsintema di Ravenna) del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (v. Fig. 7), corrispondente ai sedimenti accumulatisi durante l'episodio trasgressivo post-18 ka B.P. (stadio 1 della curva degli isotopi dell'ossigeno di MARTINSON *et alii*, 1987).

Considerato l'elevato spessore del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore nell'area ravennate e gli eccessivi sforzi finanziari che uno studio dettagliato di sottosuolo dell'intera unità avrebbe richiesto, il Progetto di Cartografia Geologica in scala 1:50.000 relativo al Foglio Ravenna ha privilegiato lo studio stratigrafico dei 120 m superiori dell'unità, di età Tirreniano-Attuale, con particolare attenzione alla stratigrafia dei depositi di età olocenica (Subsintema di Ravenna).

Le unità stratigrafiche cartografate nell'area del Foglio Ravenna e qui di seguito descritte presentano in genere il requisito di base inconforme che ne consente l'attribuzione alla categoria dei Sintemi. Localmente, tuttavia, le superfici di discontinuità che delimitano queste unità possono passare a superfici di continuità stratigrafica. Le unità di fatto cartografate, quindi, corrispondono a pacchi di sedimenti delimitati da superfici-tempo e, per questo, coincidono con unità stratigrafico-deposizionali, di cui le sequenze deposizionali costituiscono il termine estremo.

In termini di stratigrafia sequenziale, le UBSU di vario rango cartografate nel Foglio Ravenna corrispondono dal punto di vista gerarchico a sequenze deposizionali (es. Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore), a porzioni di sequenze deposizionali (*systems tract* o insiemi di *systems tract* - es. Subsintema di Ravenna) oppure a porzioni di *systems tract* (Unità di Modena). La base del Subsintema di Ravenna (v. § 1.1.1), che nel Foglio Ravenna coincide con importanti cambiamenti di litofacies, appare come la superficie di maggior significato cartografico entro la sequenza deposizionale tardoquaternaria.

All'interno dei sintemi, le unità litostratigrafiche costituiscono uno strumento operativo di primaria importanza, consentendo l'identificazione di litosomi corrispondenti a sistemi deposizionali, elementi deposizionali o associazioni di facies. La rappresentazione dei caratteri litologici e di facies dei principali corpi sedimentari riconosciuti attraverso l'impiego dei più comuni criteri litostratigrafici avviene così all'interno di unità inquadrate dal punto di vista cronostratigrafico e con una forte connotazione litostratigrafica.

1. - SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi includono depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. In affioramento, al margine appenninico padano, il Supersintema Emiliano-Romagnolo coincide con il ciclo Qc di RICCI LUCCHI *et alii* (1982) e presenta un limite inferiore inconforme, evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali delle Sabbie di Imola o su quelli marini riferibili al Gruppo del Santerno (Fig. 7). Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, il Supersintema Emiliano-Romagnolo appoggia generalmente in discordanza angolare su depositi correlati alle Sabbie di Imola (ciclo Qm3'' di REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Il limite superiore coincide col piano topografico.

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo comprende due sistemi (Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore) definiti al margine appenninico padano e correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (AMOROSI & FARINA, 1995; REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

Nell'area del Foglio Ravenna il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore non è mai affiorante e il limite basale del Supersistema Emiliano-Romagnolo è situato a profondità generalmente superiori ai 600 m (Fig. 8). L'età del il Supersistema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (~ 700.000 anni B.P. - Attuale).

1.1. - SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE

Il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore costituisce la parte superiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo e comprende depositi continentali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di alcune decine di metri di spessore. In affioramento, al margine appenninico padano, il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (sequenza Qc2 di AMOROSI *et alii*, 1999a) è costituito prevalentemente da depositi grossolani di conoide alluvionale e terrazzo fluviale, in lieve discordanza angolare su sedimenti fini di piana alluvionale (Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore o sequenza Qc1) o fortemente discordanti su unità più antiche. Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore appoggia localmente in discontinuità stratigrafica (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998) sul Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore ed è suddivisibile in quattro cicli deposizionali (AMOROSI & FARINA 1995), correlabili alla scala del bacino padano (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Il limite superiore dell'unità coincide col piano topografico. Nell'area del Foglio Ravenna, il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore ha spessore compreso tra 250 e 290 m (Fig. 8). L'età del sistema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (~ 400.000 anni B.P. - Attuale).

Le caratteristiche stratigrafiche e sedimentologiche della porzione inferiore del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore sono poco conosciute, per via della scarsità di pozzi e sondaggi in grado di attraversare l'intera unità.

Al contrario, la ricostruzione schematica della stratigrafia dei 120 m sommitali del Sistema è resa possibile dall'integrazione dei dati stratigrafici derivati dall'esecuzione di pozzi per acqua con l'analisi di due sondaggi a carotaggio continuo (S12 e S17) eseguiti nell'ambito del Progetto CARG. Le sezioni di Figg. 17 e 18 mostrano che, al di sotto dei sedimenti litorali, localmente affioranti,

di età olocenica, legati all'ultimo episodio trasgressivo quaternario (Subsistema di Ravenna, v. § 1.1.1), i primi depositi litorali e marini (Fig. 19a,b), che si incontrano verso il basso corrispondono a un corpo sedimentario tabulare situato a una profondità di circa -100 m s.l.m., costituito prevalentemente da sabbie litorali e, in misura subordinata, da argille di prodelta e transizione alla piattaforma. Al di sopra di questi sedimenti marino-marginali sono presenti alcune decine di metri di depositi prevalentemente argillosi di piana deltizia, caratterizzati dalla presenza di orizzonti torbosi correlabili su grandi distanze. La comparsa, generalmente in corrispondenza di un livello stratigrafico ben definito (intorno a -50/-70 m s.l.m.), di corpi sabbiosi nastriformi di notevole spessore (fino a 20 m), interpretati come depositi fluviali di valle incisa, segna il passaggio abrupto ai sedimenti alluvionali che costituiscono la porzione del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore immediatamente sottostante il Subsistema di Ravenna. Questo intervallo stratigrafico è dominato da argille e limi di piana inondabile, caratterizzati dalla biofacies M (v. Appendice 2) e localmente pedogenizzati, con subordinate sabbie di canale.

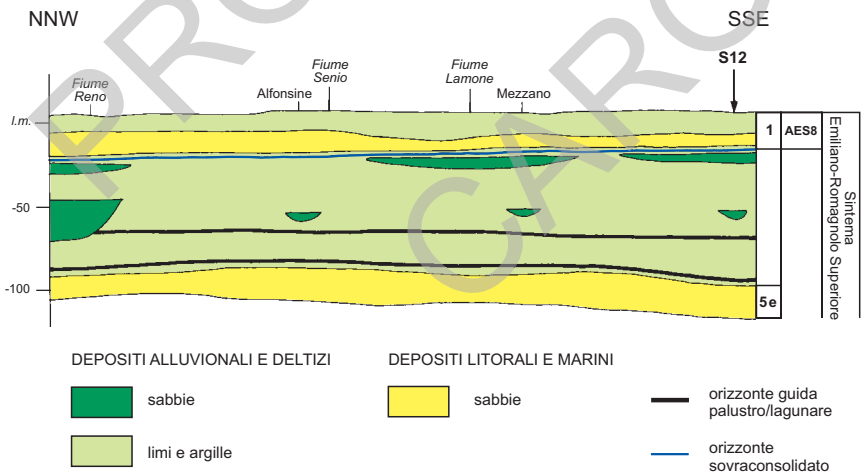


Fig. 17 - Architettura della parte sommitale del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore nell'area del Foglio Ravenna sulla base della correlazione tra il sondaggio S12 e le stratigrafie di pozzi per acqua (sezione all'incirca parallela alla paleolinea di costa - per l'ubicazione della sezione, v. Fig. 2). I numeri si riferiscono agli stadi e sottostadi della curva degli isotopi dell'ossigeno di MARTINSON et alii (1987). AES8 = Subsistema di Ravenna.

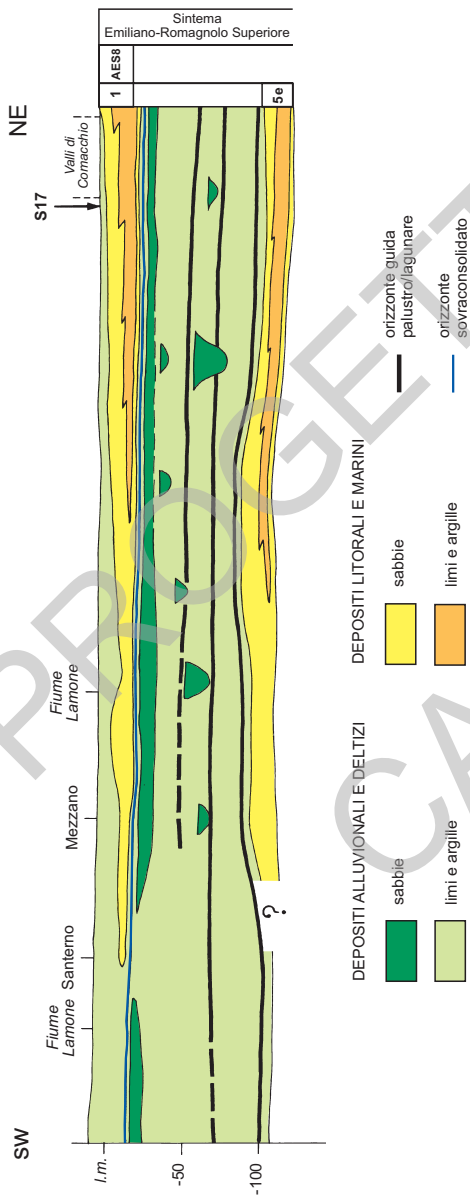


Fig. 18 - Architettura della parte sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore nell'area del Foglio Ravenna sulla base della correlazione tra il sondaggio S17 e le stratigrafie di pozzi per acqua (sezione all'incirca perpendicolare alla paleolinea di costa - per l'ubicazione della sezione v. Fig. 2). Si notino le chiusure a cuneo verso terra dei depositi litorali e marini e la differente geometria dei depositi fluviali attribuiti alla transizione tra gli stadi isotopici 5 e 4 (corpi mastroformi o "ribbon") rispetto a quelli accumulatisi in prossimità dell'ultimo acme glaciale (corpi tabulari o "sheet"). I numeri si riferiscono agli stadi e sottostadi della curva degli isotopi di MARTINSON et alii (1987). AES8 = Subsintema di Ravenna.

I paleosuoli identificati in carota presentano profili A,C (Fig. 19c) e A,Bw,C, con locale presenza di figure pedogenetiche (concrezioni carbonatiche e superfici di scorrimento e pressione - v. sondaggi S7, S10-S12 e S17).

Al tetto dei depositi alluvionali è presente su gran parte dell'area in studio un orizzonte sovraconsolidato (cfr. sondaggi S1, S3, S7-S10 e S15 - Fig. 19d) che costituisce la base del Subsistema di Ravenna. Oltre che per un incremento di resistenza alla punta, questo orizzonte si caratterizza in prove penetrometriche con il piezocono per il brusco incremento di resistenza laterale e per la diminuzione della pressione interstiziale (AMOROSI & MARCHI, 1999 - v. Cap. V, § 1.2.1). Il tetto dell'unità mostra inoltre localmente tracce di pedogenesi, con sviluppo di profili A,Bw,C e Bw,C.

Lo studio sedimentologico e micropaleontologico (foraminiferi, ostracodi e pollini) di dettaglio condotto sui 173 m di carota del sondaggio S17 (AMOROSI *et alii*, 1999c) consente di definire un quadro cronologico per la porzione superiore del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore e di delineare l'evoluzione sedimentaria dell'area ravennate negli ultimi 125 ka (sequenza deposizionale tardo-quadernaria di quart'ordine). Tre pulsazioni trasgressive principali, caratterizzate dalla messa in posto di depositi marino-marginali, sono identificabili in Fig. 20 in corrispondenza degli intervalli stratigrafici 4,60 - 26,60 m, 105,35 - 124,20 m e al di sotto di 169,00 dal piano campagna. Queste migrazioni verso terra delle facies contrastano con i bruschi spostamenti verso mare degli ambienti deposizionali, indicati dal passaggio netto a depositi alluvionali alle quote -75,00 m e - 137,20 m dal p.c.

La stretta relazione tra l'impilamento ciclico delle facies e la distribuzione delle associazioni polliniche (v. Appendice 3) all'interno del sondaggio S17 suggerisce che l'evoluzione sedimentaria dell'area in esame sia stata fortemente controllata da fluttuazioni glacio-eustatiche. Gli intervalli "trasgressivi" registrano infatti valori relativamente medio-alti della concentrazione pollinica e sono caratterizzati da spettri pollinici in cui gli elementi arborei (AP) sono dominanti (Fig. 20), con *Pinus* ed elementi non arborei (NAP) a valori molto bassi. Queste associazioni indicano condizioni climatiche di tipo interglaciale. In particolare, all'inizio dei periodi interglaciali si sviluppa una vegetazione a latifoglie decidue relativamente termofile, dominata da AP1 (di cui *Quercus* rappresenta l'elemento principale), seguita dall'aumento progressivo della vegetazione montana (AP2), legata a climi temperato-freschi ed umidi. Al contrario, gli intervalli "regressivi" registrano concentrazioni polliniche molto basse (ad indicare una significativa riduzione della copertura vegetale) e spettri pollinici caratteristici di condizioni glaciali, con dominanza di *Pinus* e NAP e scarsità o assenza di AP (Fig. 20).

La variazione di AP lungo il sondaggio S17 (Fig. 21) mostra una culminazione



in corrispondenza dei depositi marino-marginali compresi tra 111.55 e 125.88 m, con valori massimi nella parte inferiore dell'intervallo. Questa culminazione, che registra i più alti valori di AP al di sotto della culminazione olocenica, è sormontata da due oscillazioni minori, insieme alle quali forma una sequenza caratteristica riconosciuta in numerose serie polliniche dell'Europa meridionale (Italia, Francia e Grecia). Tale culminazione è tradizionalmente attribuita all'Eemiano (WIJMSTRA, 1969; WIJMSTRA & SMIT 1976; WOILLARD, 1978; FOLLIERI *et alii*, 1988; REILLE & DE BEAULIEU, 1990; DE BEAULIEU & REILLE, 1992; TZEDAKIS, 1993, 1994), ossia al piano Tirreniano, e correlata al sottostadio isotopico 5e (TZEDAKIS *et alii*, 1997). La correlazione di questi depositi marini al sottostadio isotopico 5e, corrispondente al più alto livello marino degli ultimi 260 ka (AHARON & CHAPPELL, 1986; BARD *et alii*, 1990; PIRAZZOLI, 1993), è inoltre coerente con (1) i risultati di datazioni assolute basate sul metodo della racemizzazione degli aminoacidi (G. Belluomini, com. pers. 1998), (2) l'assenza di sedimenti marini nell'intervallo stratigrafico compreso tra questi depositi e i sedimenti marini olocenici, e (3) la presenza all'interno dei depositi tirreniani delle biofacies H e V, oltre che D e R (v. Appendice 2), che indicano una maggiore paleobatimetria rispetto a quella massima ricostruita per i depositi olocenici.

Utilizzando i depositi tirreniani e quelli olocenici come vincoli cronostatigrafici è possibile correlare gli altri intervalli della carota S17 con i picchi della curva degli isotopi dell'ossigeno di MARTINSON *et alii* (1987) (Fig. 21). In particolare, le fasi trasgressive minori registrate nel sondaggio S17 da depositi di palude salmastra (75,00 - 79,25 m) o estuarino-lagunari (97,90 - 100,10 m e 145,00 - 164,50 m) sono probabilmente correlabili a picchi minori di d¹⁸O e per questo attribuibili rispettivamente ai sottostadi 5a, 5c, e 7a. Analogamente, gli intervalli "regressivi" compresi tra 27,90 e 75,00 m e tra 126,70 e 137,20 m e marcati dalla messa in posto di sedimenti di piana alluvionale sono attribuiti rispettivamente agli stadi 3-4 e 6.

Fig. 19 - Caratteri sedimentologici del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (basso stratigrafico in basso a sinistra). a: contatto erosivo, indicato da una freccia gialla, tra sabbie litorali trasgressive tirreniane (sottostadio 5e) e sottostanti depositi bioturbati di retrobarriera (sondaggio S12, profondità 123 m dal piano campagna); b: sabbie fossilifere tirreniane di cordone litorale (sondaggio S12, profondità 116-118 m); c: tipica associazione di facies di piana alluvionale; si noti la presenza di argille organiche (paleosuoli a profilo A,C) al tetto di sequenze positive sabbioso-limose di argine, con passaggio verso l'alto a limi e argille di piana inondabile (sondaggio S6, profondità 41-46 m); d: limite basale (linea tratteggiata bianca) del Subsistema di Ravenna, definito dalla sovrapposizione in discontinuità di argille organiche e torbe di retrobarriera su limi sovraconsolidati di piana alluvionale. La superficie erosiva (linea tratteggiata gialla) che separa la torba dalle sovrastanti sabbie trasgressive di barriera litorale corrisponde alla superficie di ravinement (sondaggio S12, profondità 19-24 m).

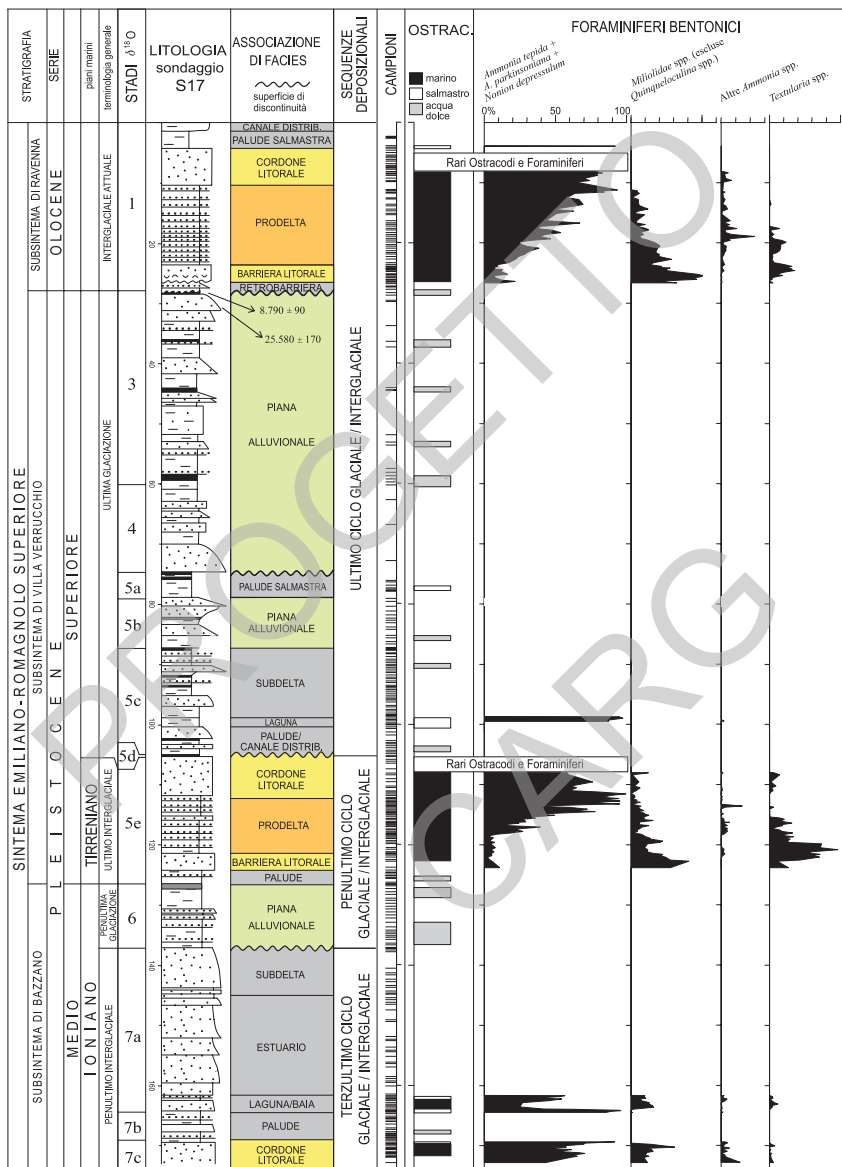
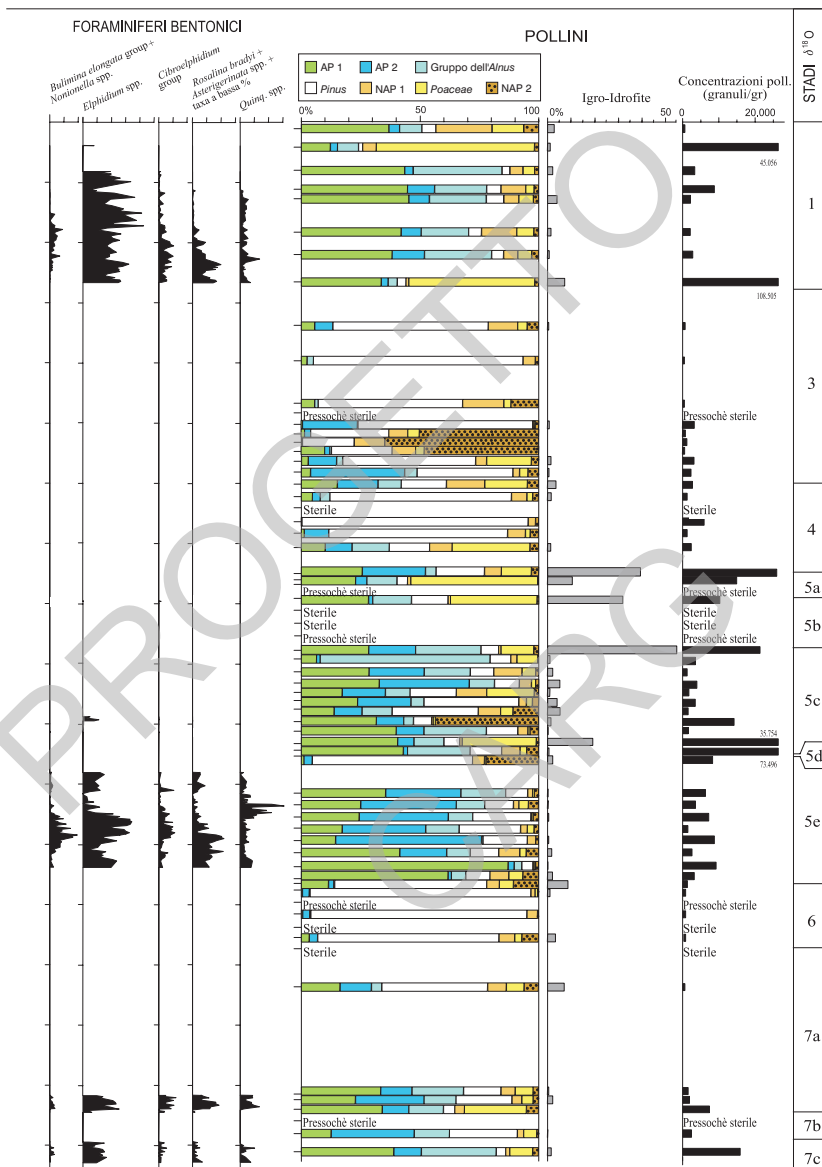


Fig. 20 - Sedimentologia e micropaleontologia (ostracodi, foraminiferi e pollini) del sondaggio a carotaggio continuo S17 (modificato da AMOROSI et alii, 1999c). In figura sono indicati gli stadi della curva degli isotopi dell'ossigeno. Litologia - nero: orizzonti ricchi in materia organica e torbe, grigio - paleosuoli. Diagramma pollinico sintetico - AP1: elementi mesofili (principalmente latifoglie, di cui *Quercus* come componente principale);



AP2: alberi montani (*Fagus*, *Abies* e *Picea*); gruppo di *Alnus* (alberi ripariali): *Alnus*, *Salix* e *Populus*; NAP1: elementi erbacei, ad eccezione di NAP2 e *Poaceae*; NAP2: elementi arbustivi ed erbacei di condizioni aride (*Artemisia*, *Ephedra*, cfr. *Cupressaceae*, *Armeria*, *Chenopodiaceae*, *Hippophae*); Igro-idrofite: tipo *Sparganium*, *Typha*, *Potamogeton*, *Nymphaea*, *Myriophyllum*, *Alisma*, e *Cyperaceae*.

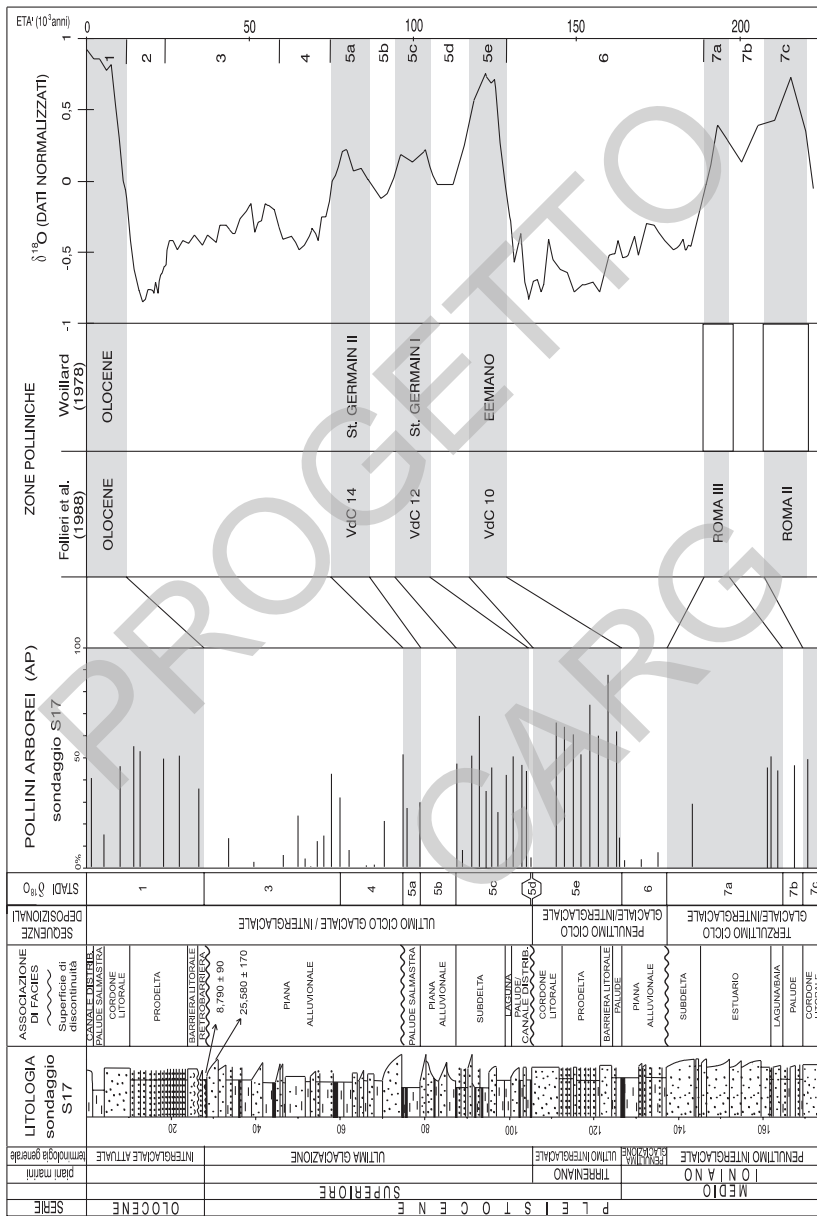


Fig. 21 - Schema generale di correlazione tra il pattern di evoluzione delle facies registrato nel sondaggio S17, la curva dei pollini arborei (AP), le zone polliniche definite in due serie europee e la curva degli isotopi dell'ossigeno di MARTINSON et alii (1987). Modificato da AMOROSI et alii (1999c).

La correlazione del sondaggio S17 con i dati dei pozzi per acqua nell'area del Foglio Ravenna permette di riconoscere alcune di queste pulsazioni trasgressive minori (sottostadi 5c e 5a) sotto forma di orizzonti di torbe ad elevata continuità laterale, passanti verso mare a depositi lagunari (Figg. 17 e 18). La brusca interruzione della sedimentazione fluviale grossolana, sostituita da un nuovo orizzonte di torba, sembra correlabile alla trasgressione legata allo stadio 3.

Nella parte alta del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore sono presenti numerose superfici di discontinuità, contraddistinte da brusche variazioni di facies e caratterizzate da importanti iati deposizionali, formatesi durante le fasi successive di caduta del livello marino post-tirreniano, alla transizione tra i sottostadi 5e e 5d, gli stadi 5 e 4 e gli stadi 3 e 2 (Figg. 17, 18 e 20). Una prima lacuna stratigrafica, a giudicare dallo spessore estremamente ridotto (pochi decimetri) dei depositi riferibili al sottostadio 5d (Fig. 20), è presente al passaggio dai depositi litorali e marini di età tirreniana ai sovrastanti sedimenti deltizi (orizzonti palustri e lagunari) attribuibili al sottostadio 5c (Figg. 17 e 18). Il limite tra gli stadi 5 e 4 corrisponde alla messa in posto su tutta l'area del Foglio Ravenna di una sedimentazione di piana alluvionale ed è associata a profonde incisioni in corrispondenza dei principali assi fluviali. L'ultima superficie di discontinuità, coincidente con la base del Subsintema di Ravenna, si sviluppa durante l'ultimo picco glaciale. Ad essa è associata una lacuna stratigrafica di circa 15 ka. Datazioni al radiocarbonio, infatti, forniscono un'età minima di circa 25 ka B.P. un metro al di sotto del limite basale del Subsintema di Ravenna e un'età massima di 8.790 anni B.P. (età non calibrata) immediatamente al di sopra di tale limite.

1.1.1. - SUBSINTEMA DI RAVENNA (AESg)

E' l'elemento sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore. Comprende sabbie, argille e limi di ambiente alluvionale, deltizio e litorale, organizzati in corpi lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi, di spessore plurimetrico. Il limite inferiore, non affiorante nell'area del Foglio Ravenna, è inconforme e marcato da una superficie di discontinuità definita su base radiometrica (metodo del ^{14}C), che localmente comprende lo stadio isotopico 2 della curva di MARTINSON *et alii* (1987). Il limite superiore corrisponde al piano topografico. Nell'area del Foglio Ravenna lo spessore dell'unità è compreso tra 20 e 28,5 m. Il Subsintema di Ravenna è datato su base radiometrica all'Olocene (8.790 + 90 anni B.P. - Attuale). Le datazioni al radiocarbonio di Tabella 1 si riferiscono ad età non calibrate.

TAB. 1 - *Elenco delle datazioni al radiocarbonio (età non calibrate) eseguite per la realizzazione del Foglio Ravenna (per l'ubicazione dei sondaggi a carotaggio continuo, v. Fig. 3).*

SONDAGGIO PROGETTO CARG	QUOTA P.C. (m)	PROFOND. CAMPIONE (m)	MATERIALE DATATO	ETA' ¹⁴ C non calibrata (anni BP)	ERRORE (anni)	LABORATORIO
S1	0,1	16,1	Sostanza organica	3305	60	L.O.D.Y.C. (Parigi)
S1	0,1	25,6	Carboni-legni	8160	60	L.L.N.L. (Livermore-USA)
S1	0,1	25,6	Carboni-legni	8170	50	L.O.D.Y.C. (Parigi)
S1	0,1	32,8	Sostanza organica	25580	170	L.L.N.L. (Livermore-USA)
S1	0,1	45	Carboni-legni	33530	440	L.L.N.L. (Livermore-USA)
S2	4	6,05	Sostanza organica	1340	70	ENEA (Bologna)
S2	4	7,85	Legno	2230	60	ENEA (Bologna)
S2	4	25,5	Sostanza organica	8790	90	ENEA (Bologna)
S3	0,9	31,4	Sostanza organica	35460	560	L.L.N.L. (Livermore-USA)
S5	1	48,7	Sostanza organica	17695	500	L.O.D.Y.C. (Parigi)
S6	0	49,3	Sostanza organica	>30000	-	L.O.D.Y.C. (Parigi)
S7	1	23,5	Sostanza organica	>35000	-	L.O.D.Y.C. (Parigi)
S10	4	9,8	Torba	1985	40	L.O.D.Y.C. (Parigi)
S10	4	251	Sostanza organica	>25000	-	L.O.D.Y.C. (Parigi)
S10	4	43,1	Sostanza organica	>35000	-	L.O.D.Y.C. (Parigi)
S11	4	6,25	Torba	1235	40	L.O.D.Y.C. (Parigi)

Unità di Modena (AES_{8a}). Nella parte sommitale del Subsistema di Ravenna viene distinta un'unità sintemica di rango inferiore (Unità di Modena), definita al margine appenninico padano e costituita da sabbie, argille e limi di ambiente alluvionale e deltizio-litorale, organizzati in corpi lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi, di spessore plurimetrico.

Nell'area tipo l'Unità di Modena presenta un limite inferiore inconforme, marcato da superfici di erosione fluviale che si correlano lateralmente a depositi con fronte di alterazione superiore al metro di spessore, caratterizzato dallo sviluppo di un suolo o di più suoli sovrapposti con orizzonte superficiale da decarbonatato a parzialmente decarbonatato e orizzonte profondo ad accumulo di carbonato di calcio, colore degli orizzonti da bruno giallastro a giallo olivastro (Hue 10YR, 2,5Y, Value 4-5 e Chroma 2-4 delle Munsell Soil Color Charts). Il limite superiore dell'unità coincide col piano topografico. Al tetto dell'unità sono presenti depositi con fronte di alterazione inferiore al metro e suoli calcarei, colore degli orizzonti da bruno oliva a grigio oliva scuro (Hue 2,5Y, 5Y, Value 4-5 e Chroma 2-4 delle Munsell Soil Color Charts).

Il limite inferiore dell'Unità di Modena è datato al periodo post-romano e segna l'instaurarsi di un'importante fase di deterioramento climatico che, tra il IV e il VI secolo d.C., determinò un importante incremento della piovosità, con conseguente modifica della rete idrografica e alluvionamento di gran parte della pianura (VEGGIANI, 1994).

Nell'area del Foglio Ravenna, le condizioni di sommersione di gran parte della pianura fino ad epoche molto recenti hanno impedito la formazione dei caratteristici suoli, riconoscibili al margine appenninico-padano, che costituiscono l'elemento diagnostico dell'Unità di Modena nella Pianura emiliana. Gli effetti del deterioramento climatico del IV-VI sec. d.C. in questo caso risiedono principalmente nell'incremento del tasso di sedimentazione, con distruzione e seppellimento degli elementi infrastrutturali della colonizzazione e della bonifica romana. Il limite inferiore dell'Unità di Modena nel Ravennate corrisponde quindi al piano topografico sepolto di età romana, caratterizzato dalla presenza di reperti archeologici di età romana o più antichi. Lo spessore dell'Unità di Modena è compreso tra 0 e 5,5 m.

2. - SISTEMI DEPOSIZIONALI DEL SUBSISTEMA DI RAVENNA

L'architettura deposizionale del Subsistema di Ravenna è stata recentemente descritta in dettaglio da AMOROSI *et alii* (1999b) che, sulla base dell'analisi dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nell'ambito del Progetto CARG, hanno distinto all'interno di questa unità otto differenti associazioni di facies (suddivise in 18 litofacies) e 16 biofacies (sette biofacies a foraminiferi e nove biofacies a ostracodi). Tra le associazioni di facies descritte di seguito e le unità cartografate nella Carta Geologica non esiste una corrispondenza biunivoca. Ad esempio, alcune associazioni di facies riconosciute entro il Subsistema di Ravenna (v. depositi di retrobarriera e di barriera trasgressiva) non sono affioranti, mentre altre (v. depositi lagunari e palustri) sono presenti a livelli stratigrafici differenti all'interno di più di un sistema deposizionale (deltizio e litorale). La relazione tra associazioni di facies e unità cartografiche è indicata in Tabella 2. Le sigle delle associazioni di facies e delle litofacies di seguito descritte sono riportate in Figure 22-25 (AMOROSI *et alii*, 1999b). Le sigle relative alle biofacies si riferiscono ad associazioni a foraminiferi e ostracodi, per la cui composizione interna si rimanda all'Appendice 2.

La maggior parte delle associazioni di facies riconosciute entro il Subsistema di Ravenna è stata caratterizzata sulla base dei risultati delle prove penetrometriche con piezocono (Tab. 3), dopo opportuna taratura con le stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo (AMOROSI & MARCHI, 1999). Questa operazione consente l'impiego delle prove penetrometriche a fini cartografici. Per gran parte delle prove penetrometriche eseguite nell'area del Foglio Ravenna sono stati misurati tre parametri: la resistenza alla punta (q_c), l'attrito laterale (f_s) e la pressione interstiziale (u), che tiene conto della sovrappressione generata durante l'infissione del penetrometro nel terreno. A questi parametri va aggiunto il rapporto FR (*friction ratio*) tra la resistenza

laterale e la resistenza alla punta, misurate alla stessa profondità.

Per la classificazione dei terreni sulla base di “caratteristiche penetrometriche”, tra i diversi schemi di classificazione è stato adottato il diagramma di ROBERTSON *et alii* (1986) e CAMPANELLA & ROBERTSON (1988) che, in accordo con quanto recentemente osservato da uno studio comparativo con altri diagrammi (BERRY *et alii*, 1998), si è dimostrato lo strumento più

TAB. 2 - Quadro sinottico delle unità stratigrafico-deposizionali distinte all'interno del Subsistema di Ravenna e loro relazione con le unità cartografate nel Foglio Ravenna.

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 spiaggia-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			

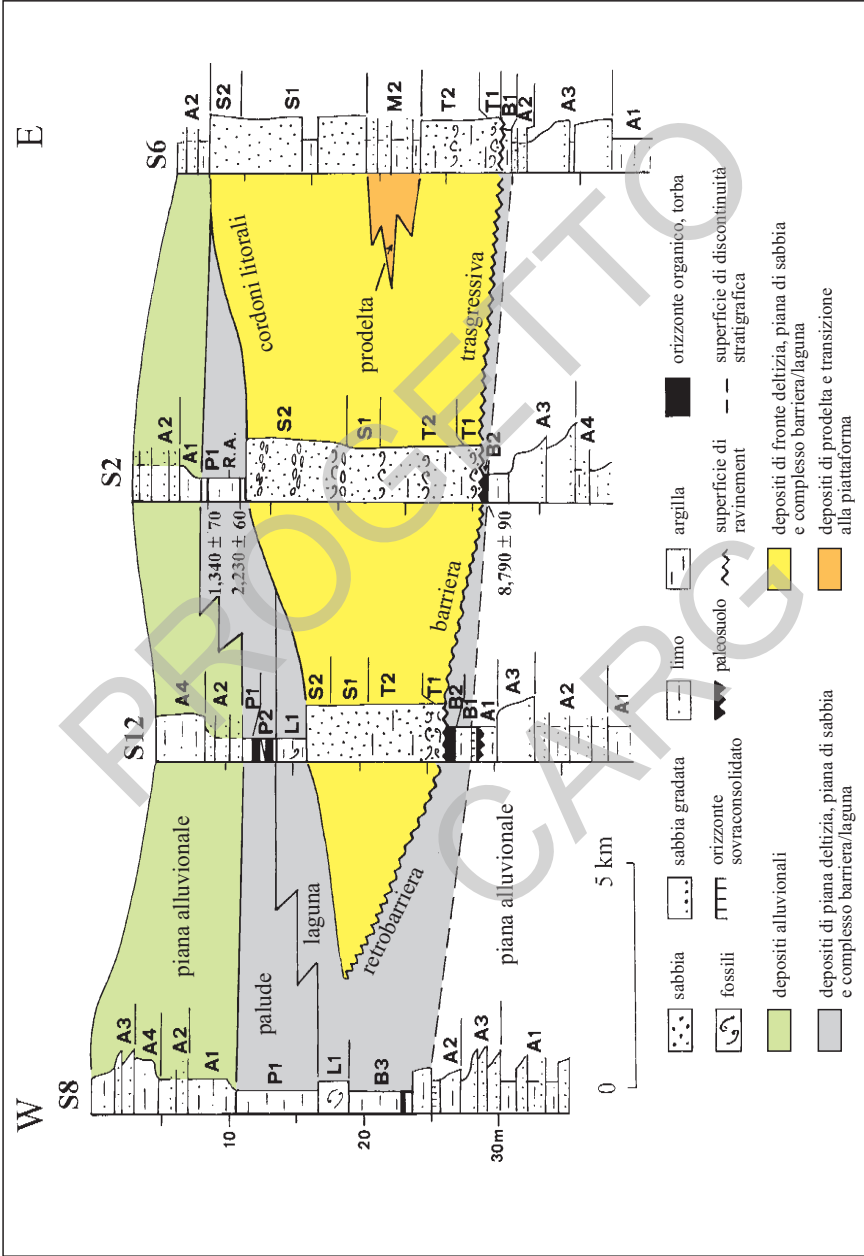


Fig. 22 - Stratigrafia del Subsystema di Ravenna (in colore) nel settore meridionale del Foglio Ravenna sulla base della correlazione di sondaggi a carotaggio continuo (per l'ubicazione della sezione, v. Fig. 3) (modificato da AMOROSI et alii, 1999b). Le sigle (v. anche Tab. 2) si riferiscono alle associazioni di facies e alle litofacies descritte nel testo. I colori indicano gli elementi deposizionali di Tab. 2.

affidabile per la classificazione dei sedimenti, oltre che di semplice e rapido utilizzo (Fig. 26). Questo diagramma considera, in luogo di q_c , un valore corretto di resistenza alla punta q_t (BALIGH *et alii*, 1981; CAMPANELLA *et alii*, 1982), che tiene conto degli effetti della pressione interstiziale sui valori misurati di resistenza in punta. Tale correzione è particolarmente importante nel caso di argille e limi molli, in cui q_c ha un valore basso e la sovrappressione interstiziale, al contrario, è molto elevata (ROBERTSON, 1990).

2.1. - DEPOSITI DI RETROBARRIERA (ASSOCIAZIONE DI FACIES B)

Alla base del Subsistema di Ravenna è presente una sottile unità, di spessore generalmente inferiore a 1 m, suddivisibile in tre litofacies distinte. La litofacies B1, generalmente sviluppata in aree relativamente distali (sondaggi S6, S10 e S15), è costituita prevalentemente da limi argillosi e argille limose di colore grigio. All'interno di questa litofacies sono state identificate le biofacies B e O (v. Appendice 2). La litofacies B2 comprende limi e argille organiche, con locali accumuli di torba (sondaggi S1, S2, S9, S12 e S14 - Fig. 19d). Le microfaune sono riferibili alle biofacies A e N. La litofacies B3, infine, è limitata alle località più interne (sondaggi S7, S8 e S9), dove sono presenti argille ricche in radici, legni e frammenti vegetali per uno spessore massimo di 6 metri. La microfauna è scarsa e si rileva la biofacies P.

L'associazione di facies B appoggia in discontinuità su depositi alluvionali di età pleistocenica (Figg. 19d e 22-25). Verso l'alto, è separata dalle sabbie trasgressive di barriera litorale (associazione di facies T) mediante una superficie erosiva. In aree relativamente prossimali, passa gradualmente a depositi lagunari (associazione di facies L). L'età di questa unità è definibile sulla base di due datazioni al radiocarbonio, che hanno fornito rispettivamente valori di 8.170 e 8.790 anni B.P. Un'età coerente di 8.215 ± 100 anni B.P. è risultata da depositi correlabili, situati circa 10 km a sud dell'area in esame (Bevano, Foglio 240).

Quest'unità comprende depositi che si sono formati in una varietà di sottoambienti. Sulla base della posizione stratigrafica, di indicatori paleontologici, delle datazioni al radiocarbonio e del loro confronto con l'età (circa 8.000 anni B.P.) dei cordoni litorali relitti riconosciuti nell'*offshore* adriatico (cfr. COLANTONI *et alii*, 1979; 1990), si può ritenere che questi depositi si siano formati all'interno di lagune e paludi salmastre delimitate verso mare da barriere litorali, nel corso delle ultime fasi della trasgressione post-18 ka B.P..

La notevole diversità delle associazioni faunistiche riflette pienamente la complessità degli ambienti di retrobarriera. La distribuzione areale di queste associazioni consente la distinzione di due differenti sottoambienti di laguna e/o baia. In particolare, la presenza delle associazioni B e O entro la litofacies B1 documenta condizioni normali di salinità, dovute a scambio continuo d'acqua tra laguna e mare aperto, mentre il riconoscimento delle associazioni A e N nella litofacies B2 suggerisce la transizione ad ambienti sbarrati ad acque salmastre. L'abbondanza di torbe e di depositi ricchi in materia organica all'interno della litofacies B2 indica la presenza di paludi salmastre, probabilmente situate lungo il lato rivolto verso terra della barriera. L'associazione faunistica P, presente in posizione prossimale all'interno della litofacies B3, è caratteristica di ambienti di acqua dolce, probabilmente corrispondenti a paludi e laghi sviluppati sul margine interno della laguna.

2.2. - DEPOSITI DI BARRIERA TRASGRESSIVA (ASSOCIAZIONE DI FACIES T)

La base di quest'unità è definita da una superficie erosiva su cui appoggia un orizzonte conchigliare di 5-30 cm di spessore, che presenta una debole immersione verso NE e che drappeggia la maggior parte dell'area in esame (litofacies T1). L'orizzonte conchigliare passa verso l'alto ad una unità relativamente sottile (in genere inferiore a 2 metri di spessore), costituita da sabbie fini e finissime fossilifere, con subordinate intercalazioni di argille limose (litofacies T2).

Concentrazioni di lamellibranchi e gasteropodi (*Turritella*) sono frequenti a vari livelli stratigrafici. Questa associazione di facies è caratterizzata dalle biofacies C e Q (v. Appendice 2).

L'associazione di facies T è generalmente sovrapposta a limi e argille di retrobarriera (associazione di facies B) (Figg. 19d e 22-25). Distalmente (sondaggi S3 e S4), questa unità appoggia direttamente con contatto erosivo sui depositi alluvionali pleistocenici (associazione di facies A), senza interposizione dei depositi trasgressivi di retrobarriera (Figg. 23 e 24), costituendo in questo caso la base locale dell'Allomembro di Ravenna. Verso l'alto, un graduale incremento delle intercalazioni limose segna la transizione ad argille di prodelta e transizione alla piattaforma (associazione di facies M - Fig. 27a). In posizione interna, l'associazione di facies T passa invece gradualmente all'associazione di facies S. L'età di questi depositi può essere stimata sulla base di una datazione al radiocarbonio eseguita su

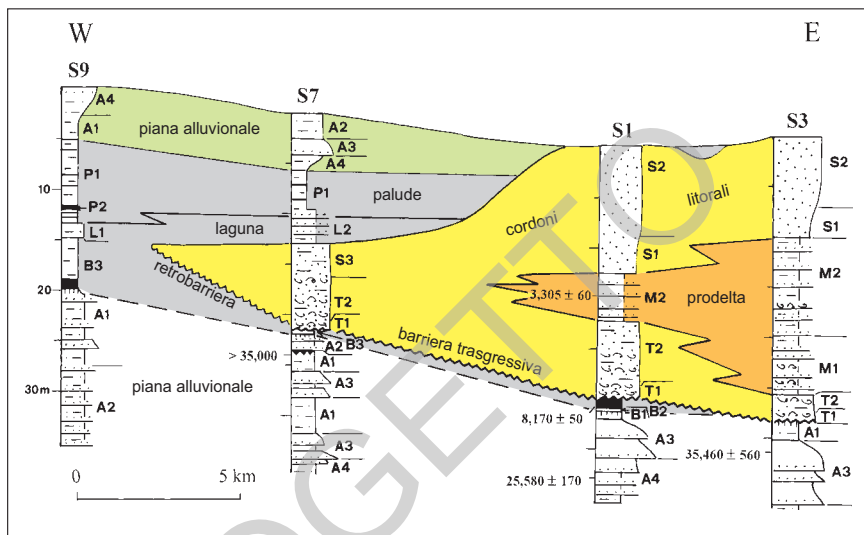


Fig. 23 - Stratigrafia del Subsistema di Ravenna (in colore) nel settore centrale del Foglio Ravenna sulla base della correlazione di sondaggi a carotaggio continuo (per l'ubicazione della sezione, v. Fig. 3). Per la legenda, v. Fig. 22.

depositi correlati a circa 10 km di distanza (area del Bevano, Foglio 240); questa ha fornito un valore di 7.605 ± 130 anni B.P.

Le caratteristiche tessiturali, la presenza di fossili marini e l'abbondanza di una microfauna caratteristica di acque poco profonde (biofacies C e Q) indicano che la deposizione delle sabbie ebbe luogo in un ambiente litorale ad elevata energia (probabilmente di spiaggia sommersa inferiore), dove l'accumulo di materiale conchigliare era probabilmente controllato dalle tempeste. La locale presenza, in aree distali, delle biofacies D e R indica la transizione ad ambienti relativamente più profondi. La superficie erosiva basale dell'unità è interpretata come la superficie di *ravinement* (RS) di SWIFT (1968) e NUMMEDAL & SWIFT (1987). L'orizzonte fossilifero situato immediatamente sopra la RS (litofacies T1) è considerato un *lag* trasgressivo che marca una superficie di disconformità formatasi in seguito al processo di arretramento della spiaggia. Nel complesso, l'unità riflette la migrazione verso terra di una barriera, avvenuta nel corso della trasgressione olocenica.

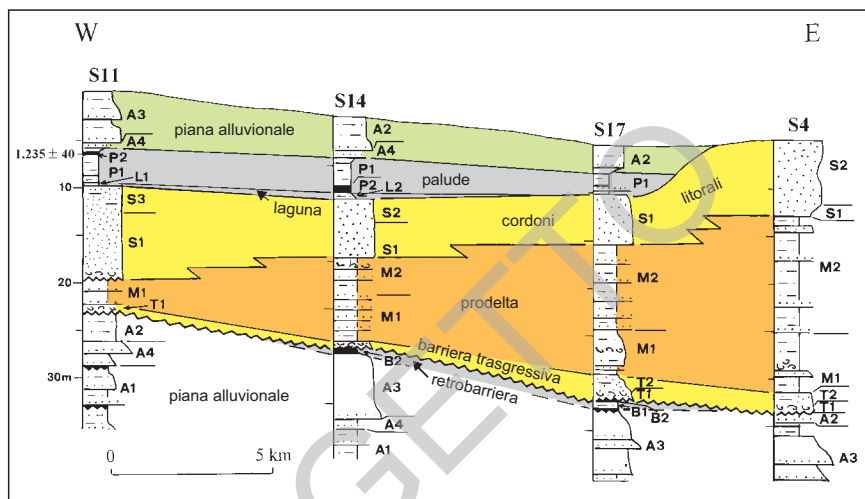


Fig. 24 - Stratigrafia del Subsystema di Ravenna (in colore) nel settore settentrionale del Foglio Ravenna sulla base della correlazione di sondaggi a carotaggio continuo (per l'ubicazione della sezione, v. Fig. 3). Per la legenda, v. Fig. 22.

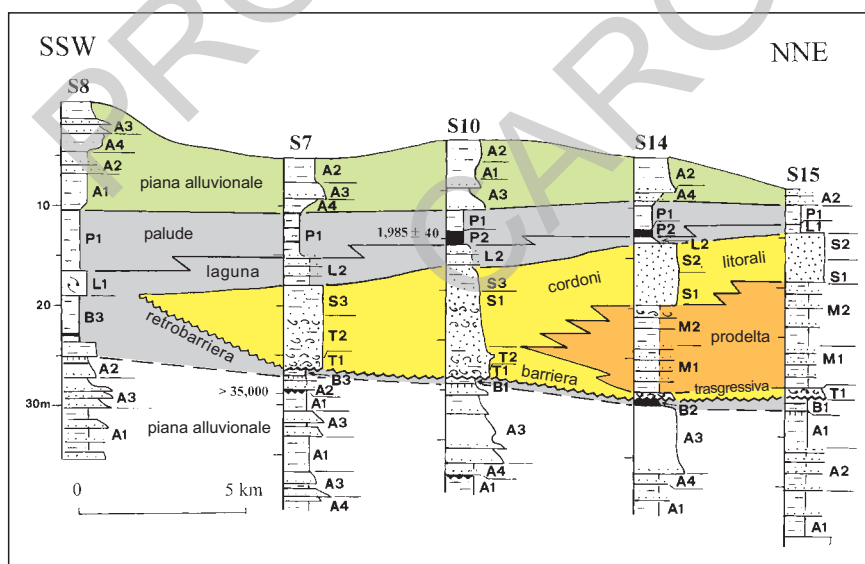


Fig. 25 - Stratigrafia del Subsystema di Ravenna (in colore) nel settore occidentale del Foglio Ravenna sulla base della correlazione di sondaggi a carotaggio continuo (per l'ubicazione della sezione, v. Fig. 3). Per la legenda, v. Fig. 22.

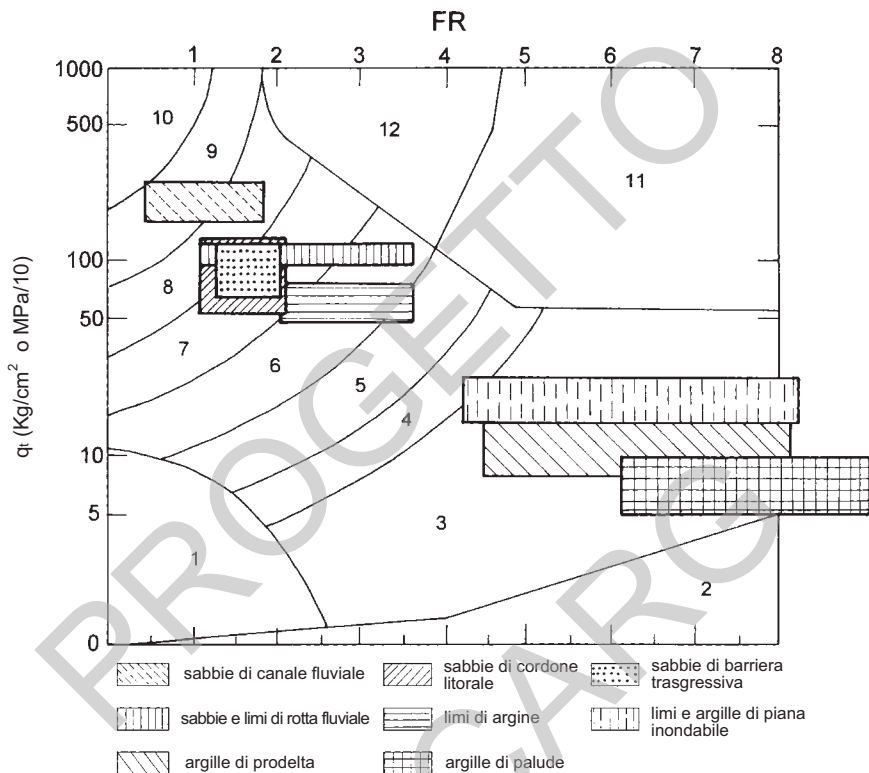


Fig. 26 - Identificazione sul diagramma di ROBERTSON et alii (1986) delle principali associazioni di facies riconosciute all'interno del Subsistema di Ravenna. q_t : valore corretto di resistenza alla punta, FR : rapporto tra resistenza laterale e resistenza alla punta. Si noti come i campi medi di esistenza delle varie associazioni di facies (espressi come doppia deviazione standard dalla media dei valori di q_t e FR) presentino una moderata sovrapposizione. L'overlap quasi totale tra sabbie di cordone litorale e sabbie di barriera trasgressiva è coerente con la loro attribuzione ad un'unica associazione di facies di spiaggia. 1: depositi fini sensitivi, 2: materiale organico, 3: argilla, 4: argilla-argilla limosa, 5: argilla limosa-limo argilloso, 6: limo argilloso-limo sabbioso, 7: limo sabbioso-sabbia limosa, 8: sabbia limosa-sabbia, 9: sabbia, 10: sabbia-sabbia ghiaiosa, 11: depositi fini molto compatti, 12: sabbia argillosa-sabbia (modificato da AMOROSI & MARCHI, 1999).

TAB. 3 - Caratteri diagnostici riassuntivi delle principali associazioni di facies riconosciute entro il Substema di Ravenna sulla base dell'interpretazione di prove penetrometriche (modificato da AMOROSI & MARCHI, 1999). FU: sequenze positive (fining upward), CU: sequenze negative (coarsening upward).

ASSOCIAZIONE DI FACIES	Qt (Kg/cm ²)	FR (%)	u	CARATTERI SEDIMENTOLOGICI	COMPONENTI ACCESSORI
sabbie di canale fluviale	146-251	0.4-1.8	< 0	base e tetto netti, tendenza FU	
sabbie di cordone litorale	52-126	1.1-2.0	≤ u ₀	base graduale, tetto netto, tendenza CU	fossili marini
sabbie di barriera trasgressiva	62-122	1.3-2.1	≤ u ₀	base netta, tetto graduale, tendenza FU	fossili marini
sabbie e limi di rotta fluviale	93-123	1.1-3.7	≤ u ₀ , < 0	base e tetto netti, tendenza FU (canale), base graduale, tetto netto, tendenza CU (ventaglio di rotta)	
sabbie e limi di argine	47-74	2.0-3.7	>> u ₀ , < u ₀	alternanza limo-sabbia	
limi e argille di piana inondabile	15-26	4.2-8.3	>> u ₀		noduli carbonatici
argille di prodelta	8-15	4.5-8.2	> u ₀ < u ₀	alternanza argilla-sabbia	strati conchigliari
argille e torbe di palude	5-10	6.2-9.5	>> u ₀		legni

Con la rapida risalita del livello di base, la maggior parte della barriera fu erosa e le sabbie rideposte verso mare come sedimenti di spiaggia sommersa inferiore al di sopra dell'orizzonte fossilifero, oppure verso terra come depositi di *washover* e delta di marea. In quest'ultimo caso, le sabbie stanno al di sotto della RS e dovrebbero più propriamente essere attribuite a un ambiente di retrobarriera.

2.3. - DEPOSITI DI PRODELTA E TRANSIZIONE ALLA PIATTAFORMA (ASSOCIAZIONE DI FACIES M)

Quest'unità presenta una marcata geometria cuneiforme, con uno spessore massimo di circa 20 m verso mare (sondaggio S4) e comprende due litofacies. La litofacies inferiore (M1) è caratterizzata dall'alternanza ritmica di argille e argille limose grigie con sabbie finissime, il cui spessore varia tra 0,5 e 15 cm; i macrofossili (generalmente gasteropodi) marini sono abbondanti e comunemente concentrati a livelli stratigrafici ben definiti (Fig. 27a). Gli strati sabbiosi hanno base e tetto netti e generalmente presentano una gradazione normale. La sovrastante litofacies M2, che costituisce la parte intermedia e sommitale dell'associazione di facies, presenta caratteristiche litologiche simili alla litofacies M1, differendo da essa per un maggiore contenuto in argilla e per l'abbondanza di frammenti di legni e resti vegetali.



La litofacies M2 diventa dominante e sempre più argillosa nella porzione marina del foglio. La biofacies D (v. Appendice 2), che caratterizza l'intera associazione di facies assieme alla biofacies R, mostra una notevole varietà e abbondanza di faune, particolarmente verso mare (sondaggi S3, S4, S6 e S17). In prossimità della transizione tra le litofacies M1 e M2, la biofacies D diviene progressivamente più povera per numero sia di specie che di esemplari.

L'associazione di facies M presenta un contatto transizionale con le sottostanti sabbie trasgressive di barriera litorale (associazione di facies T) (Figg. 22-25). Un incremento verso l'alto del rapporto sabbia/argilla e dello spessore delle intercalazioni sabbiose marca la transizione alla sovrastante associazione di facies S. Una datazione al radiocarbonio nella parte intermedia dell'unità ha fornito un'età di 3.305 ± 60 anni B.P.

Le caratteristiche litologiche, le relazioni stratigrafiche con le unità sovrastanti e sottostanti e l'analisi micropaleontologica indicano che la litofacies M1 è stata deposta in un ambiente marino relativamente poco profondo, di transizione alla piattaforma. La diminuzione verso l'alto nella diversità e nell'abbondanza delle faune all'interno dell'associazione di facies M e le caratteristiche interne alla biofacies D (v. Appendice 2) suggeriscono un'evoluzione verso condizioni di salinità stressanti, compatibili con possibili apporti da parte di acque dolci. L'ipotesi di un ambiente localizzato in prossimità di una foce fluviale è coerente con l'abbondanza di frammenti di legno e resti vegetali nella parte alta dell'unità (litofacies M2) e con le relazioni vertico-laterali con depositi di fronte deltizia (v. sezione successiva). In quest'ultimo caso, le intercalazioni sabbiose a base netta nella parte superiore dell'unità sono interpretate come depositi legati ad eventi di piena in un ambiente di prodelta, piuttosto che non sedimenti legati a tempeste in un ambiente di transizione tra spiaggia sommersa e piattaforma.

Fig. 27 - Caratteri sedimentologici del Subsistema di Ravenna (basso stratigrafico in basso a sinistra, trame in "a", in basso a destra). a: transizione (linea tratteggiata bianca) da sabbie limose di barriera trasgressiva a depositi fossiliferi di prodelta nella parte inferiore dell'unità (sondaggio S5, profondità 18,5-23,5 m dal piano campagna); b: contatto netto (linea tratteggiata bianca) tra sabbie di cordone litorale di fronte deltizia e sovrastanti argille lagunari di piana deltizia (sondaggio S12, profondità 7-12 m); c: transizione da argille torbose palustri, a sinistra, ad argille fossilifere lagunari, a destra; queste ultime testimoniano la massima ingressione marina in posizione più interna rispetto ai depositi litorali (sondaggio S9 - profondità 13,5-15 m); d: transizione verso l'alto (linea tratteggiata bianca) da argille palustri, localmente torbose, di piana deltizia a limi e sabbie di piana alluvionale. Su base archeologica e radiometrica (cfr. con Fig. 22) i manufatti di colore giallo e rosso sono attribuibili a un'età tardoromana (sondaggio S2 - profondità 2-7 m).

2.4. - DEPOSITI DI CORDONE LITORALE (ASSOCIAZIONE DI FACIES S)

Questa unità, spesso 5-15 metri, forma un corpo sedimentario complesso, esteso su di un'area di oltre 300 km² e suddivisibile in tre litofacies. La litofacies S1, che costituisce la parte inferiore dell'unità, comprende sabbie fossilifere fini e finissime, con rare intercalazioni limose limitate alla porzione basale della litofacies. La litofacies S2, che generalmente sovrasta la litofacies S1 (sondaggi S1-S4, S6, S12, S14 e S15), consiste di sabbie da fini a grossolane, con locale presenza di ghiaie molto appiattite (sondaggio S2) e abbondanti bioclasti di molluschi. La litofacies S3 è presente solo in aree relativamente interne e consiste di sabbie limose e alternanze sabbia-limo, con abbondanti legni e resti vegetali. L'associazione di facies S è caratterizzata dalle biofacies E e S (v. Appendice 2).

L'associazione di facies S presenta un contatto graduale con i sottostanti depositi trasgressivi di barriera (associazione di facies T) e con le argille di prodelta (associazione di facies M) (Figg. 22-25), mentre è sormontata con contatto netto dalle associazioni di facies A, P e L (Fig. 27b). In affioramento queste sabbie formano deboli rilievi allungati parallelamente alla linea di costa, separati da strette depressioni (di profondità inferiore a 2 metri) colmate di materiale fine. L'età di questi cordoni varia dal periodo etrusco-romano all'Attuale (CIABATTI, 1966).

L'interpretazione di questi depositi è facilitata dal fatto che le sabbie dell'associazione di facies S costituiscono una porzione volumetricamente significativa dell'attuale piana costiera ravennate e che quindi possono essere studiate anche dal punto di vista geomorfologico. Il corpo sedimentario composito deriva dalla giustapposizione di cordoni litorali lateralmente continui, la cui formazione è legata alla progradazione di un sistema deltizio dominato dall'azione delle onde (antico delta del Po). Tali cordoni sono interpretati come depositi di fronte deltizia e di piana di sabbia. La presenza di cordoni litorali a profondità via via minori muovendosi da ovest verso est (Figg. 22-25) documenta la migrazione verso mare della linea di costa durante la progradazione del delta; la migrazione dei cordoni determinò il successivo isolamento di lagune poco profonde e paludi salmastre, comprese tra cordoni litorali successivi. In particolare, la litofacies S1 è interpretata come depositi di spiaggia sommersa inferiore, mentre la litofacies S2 corrisponde a depositi di spiaggia intertidale/spiaggia sommersa superiore. La litofacies S3 si depositò probabilmente sul lato dei cordoni rivolto verso terra, al margine di estese aree lagunari e palustri.

2.5. - DEPOSITI DI LAGUNA (ASSOCIAZIONE DI FACIES L)

Questa unità, che presenta una geometria cuneiforme con assottigliamento verso mare, ha uno spessore generalmente inferiore ai 2 metri e comprende due litofacies. La litofacies L1, diffusa in zone relativamente prossimali (sondaggi S8, S9, S11 e S12), è costituita da argille limose fossilifere grigie (Fig. 27c) che contengono le biofacies F e T (v. Appendice 2). La litofacies L2 è tipicamente presente verso mare (sondaggi S7, S10 e S14) ed è caratterizzata dall'alternanza di sottili strati sabbiosi e argillosi. Le sabbie hanno spessore di 1-2 cm, base netta e presentano una gradazione normale.

L'associazione di facies L sovrasta con contatto netto (Fig. 27b) le sabbie di cordone litorale (associazione di facies S) e passa gradualmente verso l'alto all'associazione di facies P (Figg. 22-25). In località molto interne sovrasta direttamente depositi trasgressivi palustri (associazione di facies B) (Figg. 22, 23, 25 e 27c).

Le caratteristiche litologiche, le variazioni composizionali entro le biofacies F e T e le relazioni stratigrafiche con gli adiacenti depositi di cordone litorale suggeriscono che l'associazione di facies L sia stata depositata in ambienti parzialmente sbarrati in larga connessione col mare aperto, quali lagune o baie all'interno di una piana deltizia inferiore (area interdistributrice) o lateralmente a un delta (area di retrocordone in una piana di sabbia). L'influenza marina era importante nelle zone più esterne della laguna, a ridosso del fianco interno della barriera, mentre diminuiva rapidamente verso terra. Questa ipotesi, basata su indicatori paleontologici (v. Appendice 2), è confermata dalle variazioni granulometriche, che mostrano una transizione verso terra da alternanze di sabbia e limo (litofacies L2) a depositi limosi e argillosi (litofacies L1). L'architettura delle facies suggerisce deposizione in ambienti subacquei a relativamente bassa energia, con periodica introduzione di sedimento grossolano di provenienza marina. Le alternanze di sabbia e argilla riflettono l'alternarsi di condizioni di elevata energia (ad opera di tempeste o piene fluviali) e bassa energia entro le lagune.

2.6. - DEPOSITI DI PALUDE SALMASTRA (ASSOCIAZIONE DI FACIES P)

Quest'unità, caratterizzata da geometrie cuneiformi e lenticolari, con spessore massimo di 8 metri nelle zone più interne, è costituita prevalentemente da argille con abbondanti frammenti di legni e resti vegetali (litofacies P1). Localmente sono presenti intercalazioni di sabbie e limi (sondaggio S17). Argille nere e torbe (litofacies P2), con spessore massimo di 1,5 metri, sono comunemente presenti all'interno dell'unità, soprattutto nel settore settentrionale del Foglio. La microfauna

dell'associazione di facies P è scarsa e rappresentata dalle biofacies G e U (v. Appendice 2).

L'associazione di facies P presenta contatti generalmente transizionali, sia con i sottostanti depositi di laguna (associazione di facies L) sia con i sovrastanti sedimenti di piana alluvionale (associazione di facies A - Fig. 22-25 e 27d) o di canale distributore (associazione di facies D). Nel settore sud-occidentale del Foglio, dove l'associazione di facies P è sormontata da sedimenti alluvionali, l'età dell'unità, determinata sulla base di datazioni al radiocarbonio, è compresa tra 1.340 e 2.230 anni B.P.. Queste età sono coerenti con il ritrovamento accidentale, durante l'esecuzione del sondaggio S2, in prossimità di Ravenna, di manufatti risalenti all'età romana (Fig. 27d).

Le caratteristiche litologiche, il contenuto microfaunistico e le relazioni stratigrafiche con le unità adiacenti indicano che queste argille si sono formate in ambienti salmastri. L'abbondanza di resti vegetali (litofacies P1) e la presenza di argille nere e di torba (litofacies P2) suggeriscono che la deposizione di questa unità avvenisse in ambienti a energia molto bassa, circondati da vegetazione e in presenza di concentrazione di materia organica, quali paludi salmastre e laghi costieri con intermittente connessione col mare. Un probabile equivalente attuale di questi ambienti è rappresentato dalle Valli di Comacchio e dalle adiacenti zone bonificate. Si tratta in questo caso di laghi costieri che occupavano antiche aree interdistributrici, formati alle spalle dei sistemi di cordoni litorali dopo l'abbandono del delta, in seguito all'episodio di avulsione del XIII secolo d.C. Depositi palustri riferibili a questa associazione di facies affiorano, inoltre, nel settore orientale del foglio in sottili (< 2,5 m) lenti di retrocordone entro una piana di sabbia.

2.7. - DEPOSITI DI CANALE DISTRIBUTORE (ASSOCIAZIONE DI FACIES D)

Questa unità, caratterizzata da corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme, presenta uno spessore massimo di 3,5 metri e comprende sabbie fini e finissime, alternate a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi.

L'associazione di facies D affiora unicamente nella porzione settentrionale del Foglio Ravenna ed è stata intercettata dal solo sondaggio S17.

L'associazione di facies D passa lateralmente e verticalmente a depositi di area interdistributrice (palude salmastra e laguna) e di piana inondabile.

Questi depositi, che affiorano nell'area delle Valli di Comacchio, sono interpretati come depositi di canale distributore, argine e rotta e differiscono dai depositi di canale fluviale (v. sezione successiva) per la minore granulometria e la più ridotta dimensione dei corpi sedimentari.

2.8. - DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE (ASSOCIAZIONE DI FACIES A)

Questi depositi, che costituiscono la parte sommitale del Subsistema di Ravenna affiorando sulla maggior parte dell'area in esame, presentano uno spessore variabile, compreso tra 2 e 11 m. All'interno dell'associazione di facies A sono distinguibili quattro litofacies. La litofacies A1 comprende argille limose, argille e limi argillosi con abbondante materiale organico e rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose. Sono presenti tracce di radici e abbondanti ossidi di ferro e manganese, che impartiscono al sedimento le tipiche tinte ocracee e giallastre. La litofacies A2 consiste di alternanze di limi e sabbie o limi e argille. La litofacies A3 è caratterizzata da sabbie organizzate in sequenze positive (FU) di 1-5,5 m di spessore, a base erosiva, che costituiscono i principali rilievi morfologici dell'area (v. anche sondaggi S8 e S11). La parte inferiore di queste sequenze, di spessore generalmente inferiore a 2 m, è costituita da sabbie da grossolane a fini, che passano gradualmente verso l'alto a sabbie limose, limi sabbiosi e limi. Alcuni dm di limi argillosi nerastri chiudono in molti casi la successione. Al di sotto delle sequenze FU è frequentemente registrata la presenza di piccole sequenze granulometriche negative (CU), da limi ad alternanze sabbia-limo, che caratterizzano la litofacies A4.

L'associazione di facies A sovrasta con contatto graduale depositi palustri (associazione di facies P) o con contatto netto sabbie di cordone litorale (associazione di facies S). Sulla base di datazioni al radiocarbonio, l'età di questi depositi è successiva a 1.235 anni B.P..

Quest'unità corrisponde a gran parte dell'attuale piana alluvionale romagnola. In particolare, la litofacies A1 comprende depositi di piana inondabile, la litofacies A2 corrisponde a depositi di argine, la litofacies A3 a depositi di canale fluviale e la litofacies A4 a depositi di ventaglio di rotta. Dal punto di vista cartografico sono state distinte nella Carta Geologica due unità, corrispondenti rispettivamente alla litofacies A1 (argille di piana inondabile) e all'insieme indifferenziato delle litofacies A2-A4 (sabbie e limi di canale, argine e rotta).

3. - EVOLUZIONE PALEOGEOGRAFICA

La ricostruzione di un quadro stratigrafico tridimensionale del sottosuolo corredato da dati radiometrici (Fig. 28) e lo studio di dettaglio del sondaggio S17 costituiscono la base per operare una ricostruzione dettagliata della storia deposizionale dell'area del Foglio Ravenna nel corso degli ultimi 125 ka. A partire dal Tirreniano può essere ricostruita la seguente successione di eventi:

1) episodio trasgressivo tirreniano e successiva breve fase di stazionamento

alto del livello marino, corrispondenti all'ultimo periodo interglaciale (sottostadio isotopico 5e), con rapida migrazione della linea di costa fino al limite occidentale del Foglio Ravenna, seguita dalla progradazione di un sistema deltizio;

2) sviluppo alternato di ambienti paralici e continentali durante le prime fasi di caduta (e relative fasi minori di risalita) del livello marino all'inizio dell'ultima glaciazione (sottostadi 5d-5a);

3) formazione di profonde incisioni fluviali in coincidenza della brusca caduta eustatica al limite tra gli stadi isotopici 5 e 4 e successivo sviluppo di una vasta piana alluvionale sull'intera area del Foglio Ravenna. Un episodio trasgressivo di minore importanza è probabilmente da ricollegarsi alla base dello stadio isotopico 3.

4) nuova fase di incisione fluviale, associata a non deposizione nella piana alluvionale, durante la caduta eustatica (limite tra gli stadi isotopici 3 e 2) che precede l'ultimo lowstand glaciale e nel corso delle prime fasi della trasgressione post-18 ka B.P. (fino a circa 8.800 anni B.P.);

5) formazione di un sistema barriera-laguna in rapida migrazione verso terra, nel corso delle fasi conclusive della trasgressione olocenica (tra circa 8.800 e 6.000 anni B.P.);

6) costruzione e progradazione di un sistema deltizio dominato dall'azione delle onde (antichi apparati deltizi del Po) durante la successiva fase di stazionamento alto del livello del mare (tra circa 6.000 e 800 anni B.P.); in questo periodo, la migrazione verso mare degli ambienti sedimentari fu favorita dalla compensazione degli effetti della subsidenza da parte di abbondanti apporti sedimentari;

7) sviluppo dell'attuale piana alluvionale, successivo alla crisi climatica del IV-VI sec d.C (VEGGIANI, 1994). Con la "rotta di Ficarolo" del XII sec. d.C. si registra la sostituzione definitiva della sedimentazione deltizia con quella alluvionale.

La scarsità di dati relativa ai depositi alluvionali di età pleistocenica impedisce la ricostruzione dettagliata della paleogeografia dell'area in esame in corrispondenza dell'ultimo acme glaciale. Alcuni autori (VEGGI & RONCUZZI, 1970; 1973) sostengono che il percorso del paleo-Po in età glaciale passasse per Alfonsine, poco a nord di Ravenna. Dati petrografici su sabbie fluviali di età tardopleistocenica nel sottosuolo ravennate (MARCHESINI et alii, 1999) mostrano tuttavia una forte affinità composizionale con sedimenti di provenienza appenninica (v. petrofacies AP in Appendice 4). Ciò suggerisce che i corpi sabbiosi individuati nel sottosuolo della pianura ravennate non dovrebbero essere legati all'attività del paleo-Po. Il collettore principale scorreva con tutta probabilità in una posizione più esterna (che poteva forse interessare la parte più settentrionale del Foglio) e la sedimentazione nell'area in esame era controllata principalmente da tributari di provenienza appenninica, che scorrevano in direzione S-N e SW-NE (Fig. 29a). Risultati analoghi derivano

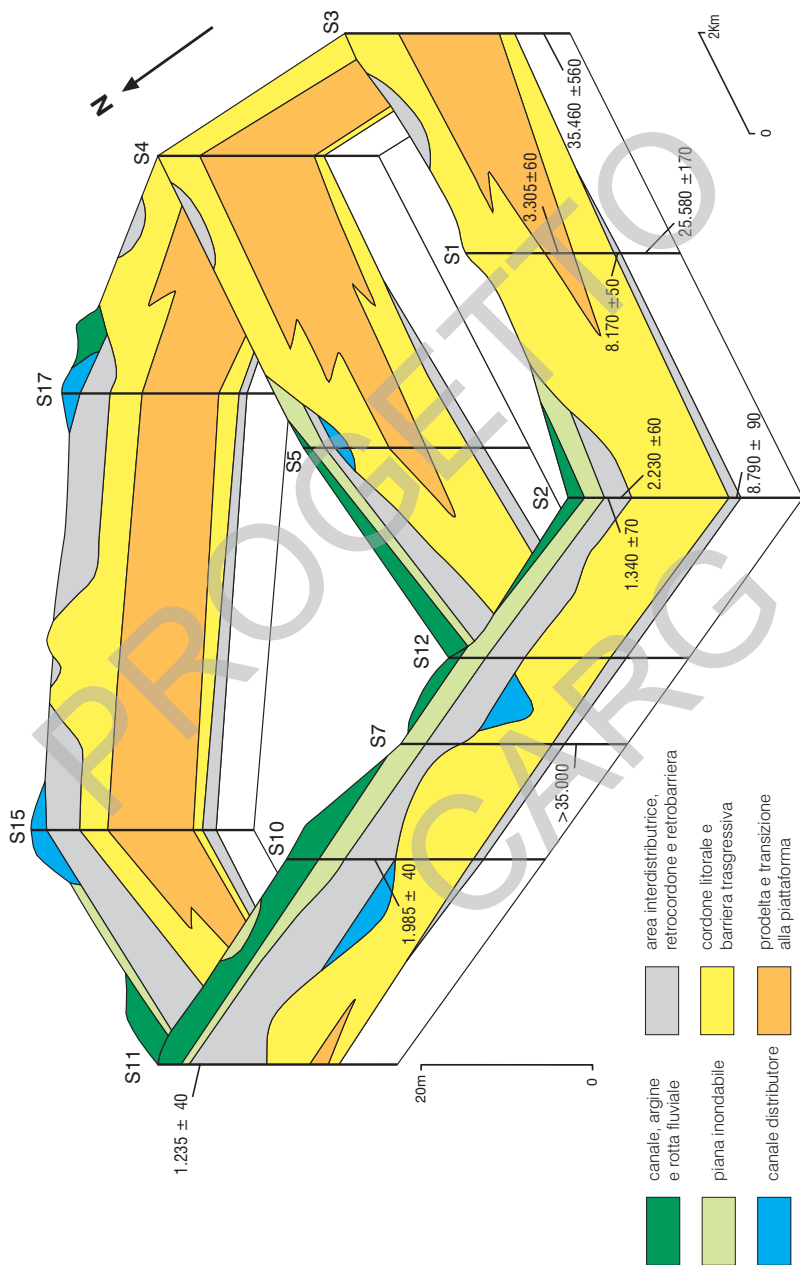


Fig. 28 - Diagramma a steccato che mostra l'organizzazione tridimensionale delle facies all'interno del Subsistema di Ravenna (in colore - v. Fig. 3 per l'ubicazione). Modificato da AMOROSI et alii (1999b). I colori si riferiscono alle associazioni di facies di Tab. 2.

dallo studio geochemico e mineralogico di argille e limi pleistocenici di piana inondabile (AMOROSI *et alii*, 1999d) che, sulla base di confronti con sedimenti fluviali attuali (DINELLI & LUCCHINI, 1998), suggeriscono un'origine appenninica del sedimento (Fig. 30).

Il tetto dei depositi alluvionali pleistocenici, come detto, presenta caratteristiche geotecniche e pedologiche peculiari (AMOROSI & MARCHI, 1999), essendo spesso contraddistinto dalla presenza di argille e limi sovraconsolidati, con locale sviluppo di paleosuoli immaturi. Questo orizzonte, corrispondente alla base del Subsistema di Ravenna, è correlabile con le argille sovraconsolidate o pedogenizzate ("caranto") riconosciute nel sottosuolo del Mare Adriatico settentrionale, nell'area di Venezia (TOSI, 1994; MCCLENNEN *et alii*, 1997). Sulla base dei dati radiometrici disponibili, tra i depositi alluvionali pleistocenici e i depositi sovrastanti riferibili al Subsistema

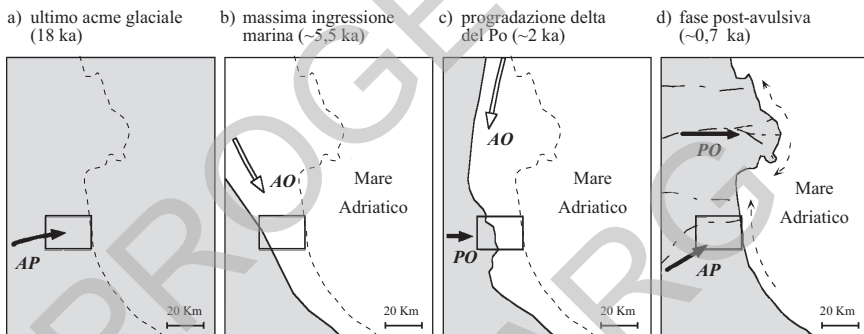


Fig. 29 - Evoluzione degli apporti sedimentari nell'area del Foglio Ravenna (indicata dal riquadro) a partire dall'ultimo acme glaciale (a), nelle fasi terminali della trasgressione olocenica (b), durante la progradazione degli apparati deltizi del Po (c) e dopo la "rotta di Ficarolo" (d) (modificato da MARCHESINI *et alii*, 1999 - età in anni B.P.). Il colore grigio indica le zone emerse, la linea tratteggiata la posizione attuale della linea di costa. Le tre petrofacies identificate nell'area in esame (v. Appendice 4) riflettono provenienze distinte da un'area fonte appenninica orientale (AP), padana (Alpi centro-occidentali + Appennino occidentale - PO) e alpina orientale (AO).

di Ravenna è presente uno iato deposizionale di circa 15 ka, che comprende il limite Pleistocene-Olocene. Tale lacuna stratigrafica è superiore a quella registrata nelle zone circostanti (dati Regione Emilia-Romagna, non pubblicati) e sembra riflettere una posizione topograficamente più elevata del settore ravennate rispetto alle aree limitrofe.

Il brusco passaggio di facies, datato a circa 8.800 anni B.P., da sedimenti alluvionali a depositi paralic documenta lo sviluppo di un sistema costiero durante le fasi terminali della trasgressione olocenica. In quel periodo si registrò la rapida migrazione verso terra di un sistema barriera-laguna. A questa fase di deposizione in ambiente di retrobarriera seguì la fase di sedimentazione in ambiente marino,

caratterizzata da importanti fenomeni erosivi connessi con l'arretramento della spiaggia. E' in questa fase che si forma la superficie di ravinement, riconoscibile sull'intera area in esame per l'abrupta variazione litologica da sedimenti fini di retrobarriera a sabbie fossilifere di spiaggia sommersa inferiore, associata alla presenza di un orizzonte conchigliare di elevata continuità laterale.

Nel corso della trasgressione olocenica la linea di costa migrò di circa 20 km ad ovest della posizione attuale: la linea di massima ingressione marina è riconoscibile nell'angolo SW del Foglio, circa 4 km a SW di Alfonsine, in corrispondenza dell'allineamento Santerno-Piangipane. La migrazione verso terra della linea di costa favorì lo sviluppo di un ambiente costiero e di mare basso su gran parte dell'area coperta dal Foglio. Nelle aree più interne, ad ovest dei depositi di spiaggia, la fase di massima ingressione marina è marcata dallo sviluppo di sedimenti di ambiente lagunare, stratigraficamente compresi tra depositi palustri. Questi sedimenti di ambiente salmastro rappresentano con tutta probabilità l'equivalente laterale dei sottili depositi lagunari, datati tra circa 4000 e 6000 anni B.P., riconosciuti da BONDESAN *et alii* (1995) nel sottosuolo di Massafiscaglia, circa 25 km a nord dell'area in studio.

A partire da 5-6.000 anni B.P. il tasso di crescita del livello del mare diminuì rispetto al tasso di sedimentazione. Il conseguente aumento del rapporto tra apporti sedimentari e spazio di accomodamento determinò la progressiva migrazione verso mare degli ambienti sedimentari. L'impilamento, prima aggradazionale poi progradazionale, dei sedimenti tardo-olocenici riflette le prime fasi di costruzione del delta del Po, che condusse alla giustapposizione di cordoni litorali progressivamente più recenti, alimentati da differenti canali distributori. La presenza di ciottoli nei depositi di spiaggia del sondaggio più meridionale (S2) è in accordo con quanto segnalato da BONDESAN *et alii* (1995) nel sottosuolo dell'area a sud di Ravenna. L'area ravennate rappresenta dunque un settore con caratteristiche litologiche intermedie rispetto alle spiagge sabbiose presenti a nord e le spiagge ghiaioso-sabbiose, probabilmente alimentate da antichi sistemi di delta-conoide appenninici, che contraddistinguono i settori più meridionali.

In posizione più interna rispetto ai cordoni litorali, la piana deltizia inferiore era costituita da lagune microtidali e da baie, dominate da alternanze sabbia-fango. Paludi salmastre e di acque dolci erano presenti in posizione ancor più prossimale, oltre la linea di significativa influenza tidale (piana deltizia superiore). All'interno di depressioni paludose strette e allungate, limitate lateralmente da cordoni litorali (piana di sabbia) aveva luogo la sedimentazione di materiali fini. La sostituzione di sedimenti lagunari con depositi palustri nelle zone situate immediatamente a tergo dei cordoni litorali riflette la formazione di barriere caratterizzate da una crescente continuità laterale e tagliate da rare bocche di marea, e suggerisce una

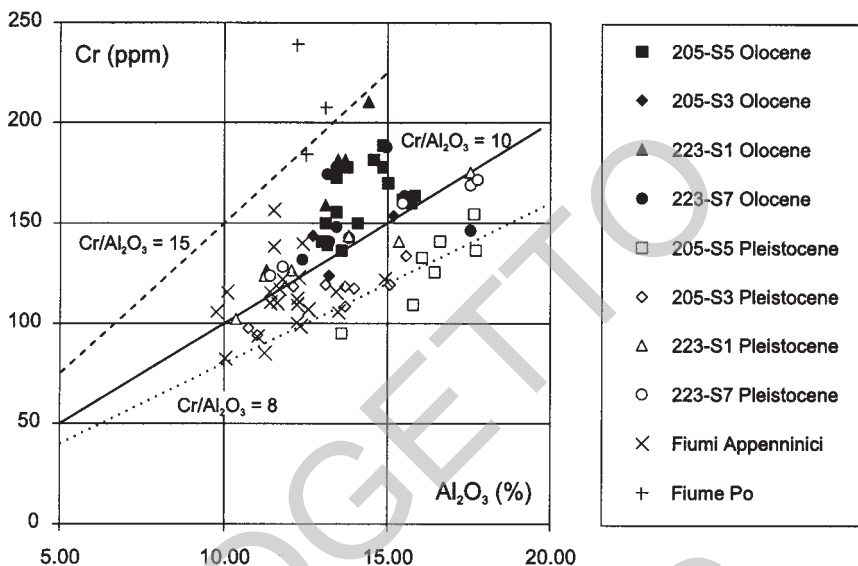


Fig. 30 - Diagramma binario che mostra la relazione tra Cr e Al_2O_3 all'interno di carote del Foglio Ravenna (223) e del Foglio Comacchio (205) della Carta Topografica in scala 1:50.000. Si noti come i depositi pleistocenici (simboli vuoti) presentino valori del rapporto Cr/Al_2O_3 comparabili a quelli dei fiumi appenninici attuali, mentre i sedimenti olocenici (simboli neri) siano composizionalmente più vicini ai sedimenti attuali del Fiume Po.

progressiva diminuzione nel tempo dell'attività di marea. Questa variazione paleogeografica può essere attribuita all'età romana sulla base di dati radiometrici e archeologici. Al termine di questa fase, i cordoni litorali si stabilizzarono nella loro posizione attuale.

Le variazioni paleogeografiche connesse alla deposizione del ciclo trasgressivo-regressivo di età olocenica (Subsistema di Ravenna) comportarono importanti modifiche anche nei *pattern* di dispersione del sedimento (MARCHESINI *et alii*, 1999). Le sabbie fluviali pleistoceniche che precedono la deposizione del Subsistema di Ravenna sono caratterizzate da una provenienza appenninica (petrofacies AP in Appendice 4) che indica un'alimentazione dai quadranti meridionali (Fig. 29a). I depositi litorali trasgressivi e i primi sedimenti costieri regressivi che formano la parte inferiore del Subsistema di Ravenna sono invece caratterizzati da una provenienza mista alpino-orientale e padana (petrofacies AO in Appendice 4) che riflette un contributo degli apporti sabbiosi dai quadranti settentrionali e occidentali (provincia veneta compresa fra i fiumi Adige e Isonzo e Po - Fig. 29b) o comunque dalla rielaborazione di sedimenti di età pleistocenica già presenti in Adriatico. I successivi depositi litorali regressivi registrano la crescita progressiva dell'apparato

deltizio del Po e sono infatti caratterizzati da apporti unicamente padani (petrofacies PO, Fig. 29c).

La peculiarità del Subsistema di Ravenna rispetto ai terreni sottostanti è chiaramente indicata anche dalle analisi geochimiche e mineralogiche, che mostrano come i depositi fini olocenici di retrobarriera e soprattutto di prodelta e transizione alla piattaforma presentino importanti variazioni composizionali rispetto ai sedimenti pleistocenici. In particolare, il forte incremento verso l'alto di alcuni indicatori geochimici, quali nichel e cromo (v. Fig. 31 e Appendice 5), e di indicatori mineralogici, quali il serpentino (AMOROSI *et alii*, 1999d), suggeriscono un contributo crescente alla sedimentazione nell'area ravennate nel corso dell'Olocene da parte dei complessi ofiolitici e ultramafici dell'area alpina.

La crisi climatica del IV-VI sec d.C. determina importanti cambiamenti fisiografici nell'area del delta (CIABATTI, 1990), causando la disattivazione del Po di Spina e la costruzione di un nuovo apparato deltizio alimentato dal Po di Primaro. A tergo del nuovo sistema di cordoni litorali di età post-romana (Unità di Modena) si verifica la progressiva colmatazione delle aree palustri ad opera dei fiumi e torrenti appenninici. Con l'abbandono del delta del Po di Primaro, in seguito all'avulsione del XII secolo d.C., si verifica il definitivo colmamento delle aree depresse da parte dei depositi alluvionali e il ritorno a una sedimentazione di

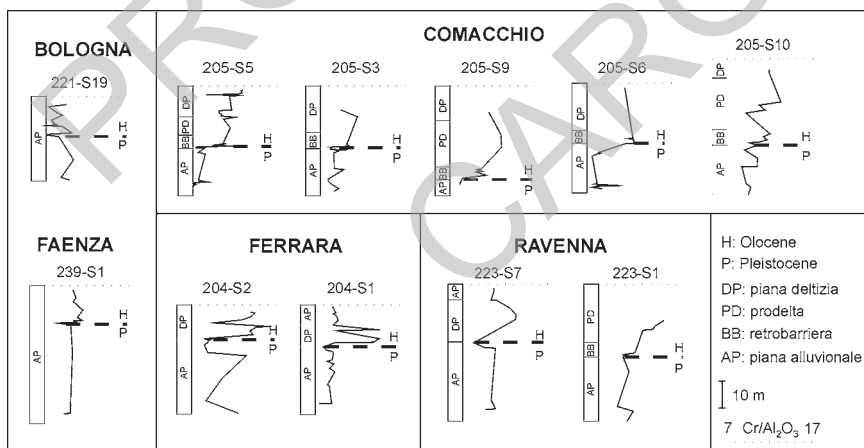


Fig. 31 - Variazione del rapporto Cr/Al_2O_3 nella parte sommitale del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore. Si noti come il limite Pleistocene/Olocene (che nel Foglio Ravenna coincide con la base del Subsistema di Ravenna) segni nell'area romagnola (Comacchio - Foglio 205 - Ferrara - Foglio 204 - e Ravenna - Foglio 223) il repentino aumento di tale rapporto, ad indicare un importante cambiamento composizionale al passaggio da sedimenti alluvionali di stazionamento basso a depositi paralicci e marini trasgressivi. Nei casi in cui al tetto della successione siano presenti depositi alluvionali (v. sondaggio Ravenna 223-S7) si registra un ritorno a valori di Cr/Al_2O_3 coerenti con una provenienza appenninica.

provenienza appenninica (Fig. 29d) che caratterizza le sabbie di cordone litorale più recenti e i depositi alluvionali di età olocenica (petrofacies AP in Appendice 4; v. anche Fig. 31 e Appendice 5).

4. - STRATIGRAFIA SEQUENZIALE

La coerenza, documentata nelle sezioni precedenti, tra l'architettura deposizionale dei depositi del primo sottosuolo ravennate e le fluttuazioni del livello marino, dedotte dalla curva degli isotopi dell'ossigeno di MARTINSON *et alii* (1987), indica che la sedimentazione tardoquaternaria nell'area del Foglio Ravenna avvenne sotto un forte controllo eustatico (Fig. 21). Secondo la terminologia caratteristica della stratigrafia sequenziale, i depositi attraversati dai sondaggi realizzati dalla Regione Emilia-Romagna appartengono a due sequenze deposizionali di quart'ordine (corrispondenti agli ultimi due cicli glaciali/interglaciali) e alla parte sommitale di una terza sequenza. Ognuna di queste sequenze rappresenta un intervallo temporale di circa 100 ka.

L'ultimo ciclo glaciale/interglaciale (con base alla transizione tra i sottostadi isotopici 5e e 5d) è fortemente asimmetrico, essendo caratterizzato da un lungo periodo di caduta del livello marino (punteggiato da cicli di fluttuazione del livello marino a maggiore frequenza) che culmina con la fase di stazionamento basso a 18 ka B.P. (stadio isotopico 2, acme glaciale); questa è seguita dalla fase di rapida risalita del livello marino (culminata a 5-6 ka B.P. con la fase di massima ingressione marina) e dalla successiva fase di stazionamento alto, tuttora in corso. I depositi accumulati durante le fasi successive di caduta del livello marino corrispondono al sistema di regressione forzata (FST) di HUNT & TUCKER (1992) e POSAMENTIER *et alii* (1992). Questo è sormontato dalla tipica successione di *systems tract* definiti dai modelli originari (POSAMENTIER *et alii*, 1988), corrispondenti al sistema progredante di stazionamento basso (LST), al sistema trasgressivo (TST) e al sistema di stazionamento alto (HST).

La base dell'ultimo ciclo glaciale/interglaciale è generalmente posta in corrispondenza della rapida caduta del livello marino coincidente con la fine del Tirreniano. Questa superficie corrisponde al limite tra HST e FST. L'ubicazione del limite di sequenza all'interno di un ciclo fortemente asimmetrico come quello post-tirreniano, caratterizzato da ripetute fasi di caduta del livello marino, è un'operazione che presenta di per sé alcune ambiguità, poiché ad ogni fase importante di caduta relativa del livello del mare corrisponde la formazione di una superficie di discontinuità, che potrebbe essere considerata teoricamente come limite di

sequenza. Nei modelli teorici successivi all'introduzione del FST all'interno della sequenza deposizionale, il limite di sequenza è stato posizionato sia alla base (POSAMENTIER *et alii*, 1992) che al tetto (HELLAND-HANSEN & GJELBERG, 1994) dell'FST. Nel caso della sequenza deposizionale tarδοquaternaria, ciò implicherebbe un posizionamento del limite basale alla transizione 5e-5d o al passaggio tra gli stadi isotopici 3 e 2. Nel caso in esame, una soluzione ugualmente logica è rappresentata dall'importante caduta eustatica alla transizione tra gli stadi isotopici 5 e 4, corrispondente alla messa in posto di una sedimentazione alluvionale su tutta la pianura romagnola.

I depositi pleistocenici di piana alluvionale sottostanti il Subsistema di Ravenna corrispondono alla parte alta del FST della sequenza deposizionale tarδοquaternaria, mentre il LST sembra assente, come indicherebbe la superficie di discontinuità stratigrafica rinvenuta alla base del Subsistema di Ravenna (Fig. 32). Questa superficie coincide con la superficie di trasgressione (TS) entro la sequenza deposizionale tarδοquaternaria. La TS segna il limite tra depositi alluvionali di età pleistocenica e sovrastanti sedimenti paralici e marino-marginali di età olocenica. Il ciclo trasgressivo-regressivo che caratterizza il Subsistema di Ravenna corrisponde quindi al complesso TST + HST della sequenza tarδοquaternaria.

In particolare, il TST consiste di due cunei sedimentari, uno paralico ed uno marino, corrispondenti al *back-barrier systems tract* e al *transgressive shelf systems tract* di THORNE & SWIFT (1991), rispettivamente. Questi due cunei sono separati da una superficie erosiva debolmente diacrona (superficie di *ravinement* o RS) che marca il brusco passaggio da sedimenti fini di retrobarriera alle sovrastanti sabbie fossilifere di spiaggia sommersa inferiore. In posizione più interna rispetto alla linea di massima ingressione marina, il TST è rappresentato interamente da sedimenti deposti in ambienti di transizione e alluvionali. In aree relativamente distali, al contrario, il TST è localmente costituito da sedimenti litorali e marini, a causa della totale rimozione per erosione dei depositi di retrobarriera.

La superficie di massima ingressione marina (MFS), che separa il TST dall'HST, presenta caratteri diversi da luogo a luogo. In posizione più interna rispetto alla linea di massima ingressione marina, la MFS è tracciabile all'interno di depositi lagunari relativamente poco spessi (1-1,5 m), limitati a base e a tetto da sedimenti palustri. In posizione più distale, la MFS coincide per un certo tratto con il limite tra sabbie trasgressive e sovrastanti sedimenti fini di transizione alla piattaforma. L'estensione verso mare della MFS è riconoscibile in prossimità del limite tra sedimenti di transizione alla piattaforma e di prodelta, in corrispondenza di un orizzonte di sabbie fossilifere passante verso mare ad un livello a macrofossili marini (principalmente gasteropodi del genere *Turritella* e molluschi), riconoscibile su gran parte dell'area in esame sulla base di prove penetrometriche (AMOROSI &

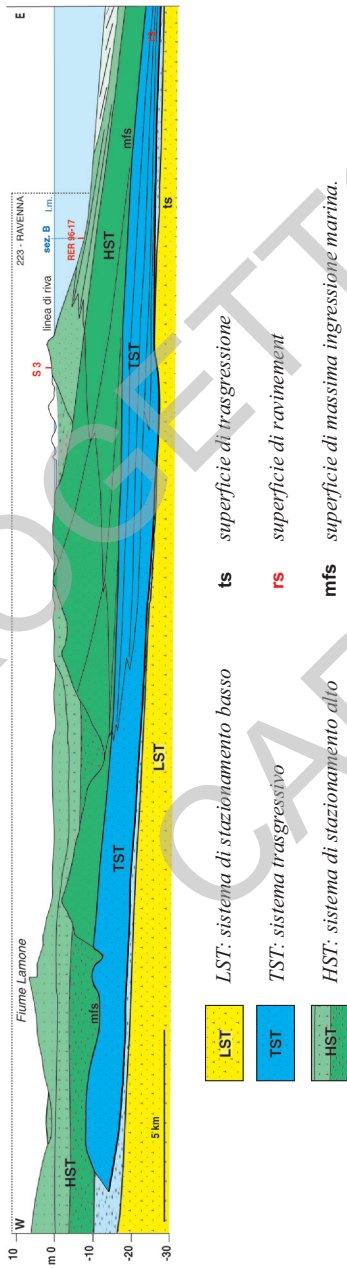


Fig. 32. Interpretazione stratigrafico-sequenziale dei sedimenti tarsoquaternari dell'area ravennate (sezione compilata da A. AMOROSI, A. CORREGGIARI, M. ROVERI & F. TRINGARDI).

MARCHI, 1999). Sulla base della distribuzione di foraminiferi bentonici (Fig. 20) la MFS può essere localizzata al livello stratigrafico che segna l'incremento in *Ammonia tepida*, *A. parkinsoniana* e *Nonion depressulum*, ossia l'instaurarsi di un ambiente francamente deltizio.

L'HST comprende i depositi sovrastanti la MFS. Questi sono caratterizzati da un impilamento delle facies di tipo aggradazionale nella parte inferiore e di tipo progradazionale nella parte superiore. La sequenza di facies caratteristica di questo *systems tract* corrisponde alla tipica sequenza di progradazione deltizia (dal basso, depositi di prodelta, di fronte deltizia e di piana deltizia), chiusa al tetto da sedimenti alluvionali, che testimoniano l'abbandono del delta.

La distribuzione delle tre petrofacies distinte nei sedimenti sabbiosi tardoquaternari dell'area ravennate (Fig. 33 - v. Appendice 4) mostra chiaramente come la TS, corrispondente alla base del Subsistema di Ravenna, coincida con una brusca variazione negli apporti sedimentari, legata ai mutamenti fisiografici del bacino in risposta a una rapida risalita del livello marino. Al contrario, le successive variazioni di petrofacies registrate nei depositi di stazionamento alto sono da mettersi in relazione con la crescita e l'abbandono di lobi deltizi, guidata dalla combinazione di fattori autociclici, climatici e antropici.

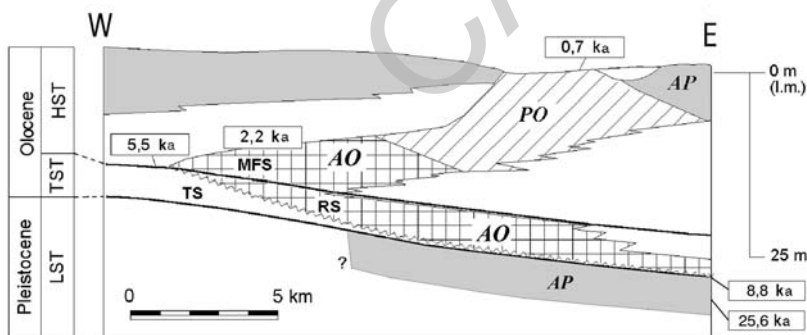


Fig. 33 - Distribuzione all'interno della sequenza deposizionale tardoquaternaria delle tre petrofacies riconosciute nel Foglio Ravenna (v. Appendice 4). LST: sistema di stazionamento basso, TST: sistema trasgressivo, HST: sistema di stazionamento alto, TS: superficie di trasgressione, RS: superficie di ravinement, MFS: superficie di massima ingressione marina. Età in anni B.P.

PROGETTO
CARG

V - CARTOGRAFIA

1. - CARTOGRAFIA GEOLOGICA DEL FOGLIO 223 - RAVENNA

La particolare configurazione morfologica delle aree di pianura impedisce di norma l'osservazione tridimensionale dei corpi sedimentari e riduce fortemente la possibilità di rappresentazione delle unità stratigrafiche quaternarie mediante i criteri cartografici tradizionali. Nel caso della pianura emiliano-romagnola, ad esempio, se si eccettuano le zone situate in prossimità del margine pedepenninico, dove affiorano localmente sedimenti relativamente antichi sotto forma di depositi di apice di conoide alluvionale o di terrazzo fluviale, i depositi affioranti appartengono ad un'unica unità stratigrafica di età tardo-olocenica.

La Carta Geologica in aree di pianura diviene così uno strumento di non sempre facile lettura, in quanto generalmente omogeneo dal punto di vista cromatico e conseguentemente denso di simboli e graficismi, cui è affidato il compito di identificare i sistemi deposizionali e gli elementi che li compongono. In questo contesto, la possibilità di inserire direttamente sulla Carta Geologica informazioni relative a corpi sedimentari sepolti o orizzonti profondi incontra notevoli difficoltà tecniche. La distribuzione nello spazio di corpi sedimentari è infatti rappresentabile mediante fasci di isolinee (principalmente isobate e isopache), che finirebbero inevitabilmente col confondersi con i simboli relativi alla geologia di superficie.

Da qui, sulla scorta anche dell'esperienza della produzione cartografica estera in aree di pianura, la necessità di combinare alla Carta Geologica (che, nel caso di aree di pianura, diviene una sorta di "Geologia di Superficie") un Foglio Allegato alla Carta Geologica, che esprime attraverso oggetti diversi la "Geologia di Sottosuolo". Le informazioni ricavabili dal Foglio Allegato alla Carta Geologica, combinate con quelle derivate dalla lettura della Carta Geologica e delle sezioni geologiche, consentono la ricostruzione tridimensionale dei corpi sedimentari di maggiore interesse geologico nell'area in esame.

1.1. - CARTA GEOLOGICA

La Carta Geologica, in scala 1:50.000, descrive distribuzione e caratteristiche litologiche e di facies delle unità stratigrafiche affioranti e subaffioranti nell'area del Foglio Ravenna. E' basata su rilevamenti di terreno, integrati dall'interpretazione di dati provenienti da fotointerpretazione, trivellate a mano (tra cui i dati messi a disposizione dall'Ufficio Pedologico v. Appendice 1, § 3), sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche.

I depositi cartografati appartengono alla porzione sommitale, olocenica, del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore. In particolare, le unità affioranti, contraddistinte da due diversi colori, corrispondono al Subsintema di Ravenna e al suo elemento sommitale (Unità di Modena) (v. Cap. IV). In termini stratigrafico-sequenziali, i depositi affioranti costituiscono la parte superiore del cuneo progradante di stazionamento alto (HST) della sequenza deposizionale tardoquaternaria.

All'interno di ciascuna unità vengono distinti due sistemi deposizionali, uno alluvionale ("depositi alluvionali") e uno costiero ("depositi deltizio-litorali"), tra di loro a contatto all'incirca in corrispondenza del corso del Fiume Reno e del sistema di cordoni litorali affioranti che attraversano il foglio in senso meridiano. Si noti come la linea di separazione tra depositi deltizio-litorali e alluvionali rappresenti anche il limite tra due aree contraddistinte da una provenienza del sedimento rispettivamente padana e appenninica (v. Schema di provenienza del sedimento). Sedimenti deltizi e litorali sono accorpati in un unico raggruppamento, considerata la problematicità di una loro separazione fisica oggettiva. All'interno di ogni sistema deposizionale, i singoli elementi deposizionali (depositi di piana alluvionale, piana deltizia, fronte deltizia-piana di sabbia e prodelta-transizione alla piattaforma) sono rappresentati in carta mediante simboli di diverso colore. Le unità cartografiche elementari corrispondono ad associazioni di facies (ad es. sedimenti di piana inondabile, di canale distributore,

di cordone litorale) che riflettono distinte unità morfologico-deposizionali. Queste unità, di cui vengono indicati caratteristiche litologiche, spessore e natura dei contatti, sono differenziate in carta mediante simboli. La sezione geologica mostra i rapporti stratigrafici tra le unità affioranti e tra queste e le unità sepolte.

Tra le informazioni aggiuntive presenti sulla Carta Geologica figurano l'ubicazione dei 16 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito del Progetto CARG e le tracce di elementi morfologici notevoli (cordoni subaffioranti, canali abbandonati, ventagli di rotta). Ove i dati (archeologici e storici) sono disponibili, sono riportate in carta le età relative a paleovalvi fluviali e cordoni litorali.

L'unità stratigrafica che affiora nella quasi totalità del Foglio Ravenna è l'Unità di Modena. Depositi più antichi, riconducibili a un indifferenziato Subsistema di Ravenna, affiorano esclusivamente in corrispondenza di sistemi relitti di cordoni litorali antecedenti la crisi climatica del IV-VI sec. d.C. Tra questi si segnalano, da ovest verso est, i cordoni litorali di età etrusco-romana (sistema III di CIABATTI, 1966; BONDESAN *et alii*, 1995) situati all'interno della Bonifica del Mantello e delle Valli di Comacchio (v. anche BONDESAN & BUCCI, 1972; VEGGIANI, 1976; CASTIGLIONI *et alii*, 1990). Nelle aree a terra, la maggior parte di questi cordoni è stata spianata, ma il forte contrasto litologico con le aree adiacenti ne consente il riconoscimento, sia sul terreno che tramite fotointerpretazione. In posizione più orientale, è distinto dall'Unità di Modena anche il sistema di cordoni litorali, solo in parte affiorante, fortemente arcuato, situato ad est di Ravenna e attribuibile a un grande apparato deltizio alimentato dal Po di Spina, già attivo in epoca romana (sistema IIIe di CIABATTI, 1966) fino al V sec d.C. (BONDESAN *et alii*, 1995). Questa attribuzione è confermata da una datazione radiometrica, che assegna al II sec. d.C. la parte alta del cordone posto immediatamente a est di Ravenna e su cui sorge il Mausoleo di Teodorico.

Il passaggio all'Unità di Modena avviene a partire dal sistema di cordoni litorali che ospitano la Pineta S. Vitale, datati al X-XVI sec. d.C. (CIABATTI *et alii*, 1966; BONDESAN *et alii*, 1995; CASTIGLIONI *et alii*, 1990). Questi cordoni, che presentano un andamento meridiano e si prolungano verso nord nel delta del Po di Primaro, oltre che dal punto di vista geometrico, si differenziano dai precedenti anche dal punto di vista morfologico, essendo rilevati rispetto alle aree adiacenti di 1-1,5 m.

Il settore occidentale del Foglio Ravenna è dominato da depositi alluvionali, all'interno dei quali sono differenziabili depositi grossolani di canale, argine e rotta fluviale (riferibili ai paleopercorsi dei fiumi Santerno, Senio, Lamone, Montone e Ronco) da un lato e depositi fini di piana inondabile dall'altro. Questi ultimi si caratterizzano dal punto di vista composizionale per un tenore in sabbia inferiore al 10% (nella maggior parte dei casi < 5%) e per un contenuto in argilla superiore al 40%.

I sistemi di canale-argine, caratterizzati in affioramento da sedimenti sabbioso-limosi, presentano uno spessore massimo di 5,5 m e hanno geometria prevalentemente tabulare-allungata e nastriforme, con asse di allungamento SW-NE. Le sabbie sono generalmente confinate al settore centrale dell'area e ai ventagli di rotta, mentre la granulometria diminuisce regolarmente allontanandosi dall'asse del paleocanale. Questi corpi sedimentari, che formano i principali rilievi morfologici dell'area, sono generalmente interconnessi nel sottosuolo, mentre in superficie sono separati da sottili e stretti (max. 2,5 km) corpi lenticolari argillosi di piana inondabile, tra loro subparalleli, che marciano il parziale riempimento delle aree topograficamente più depresse (le cosiddette "valli"). Al centro del Foglio Ravenna, limitata dai rilievi naturali forniti dal paleoalveo del Fiume Lamone ad ovest e dai sistemi di cordoni litorali a est, è presente una vasta area che fu colmata in gran parte nel corso del XIX secolo nel corso delle operazioni di bonifica.

I depositi di piana deltizia affiorano nella parte settentrionale del Foglio Ravenna. Il limite meridionale dei sedimenti deltizi coincide con la parte terminale del corso attuale del Fiume Reno che, a sua volta, è impostato in corrispondenza del paleopercorso del Po di Primaro (Fig. 12) e nel cui alveo sono stati individuati sedimenti di provenienza padana (GAZZI *et alii*, 1973). Il Primaro rappresenta il canale distributore più meridionale del vasto complesso deltizio del Po, che costituiva uno sbarramento all'incirca perpendicolare alla rete fluviale appenninica. Come per i sedimenti di piana alluvionale, anche per i depositi di piana deltizia sono distinti in carta sedimenti di canale (canali distributori) e di intercanale (aree interdistributrici). Il sistema canale-argine-ventagli di rotta riferibile al Po di Primaro presenta caratteristiche analoghe ai sistemi fluviali appenninici, quali la geometria marcatamente nastriforme (ad orientamento W-E) e la caratteristica diminuzione di granulometria trasversalmente all'asse del canale. Si osservano, tuttavia, alcune differenze importanti, quali l'elevato grado di sinuosità del canale principale, se paragonato a quello dei canali appenninici, e un rapporto sabbia/limo di gran lunga inferiore rispetto a quello dei fiumi appenninici.

I depositi di area interdistributtrice sono localizzati a nord del Fiume Reno, in corrispondenza delle Valli di Comacchio e, più a ovest, della Bonifica del Mantello. Si tratta di argille e limi di ambiente palustre e lagunare, cui si associano torbe e sedimenti ricchi in materia organica.

I depositi di fronte deltizia e piana di sabbia sono costituiti prevalentemente da sabbie di cordone litorale e, subordinatamente da argille e limi palustri. Sono riconoscibili in carta due sistemi principali di cordoni litorali: 1) i già citati cordoni riferibili al periodo compreso tra il X e il XVI sec. d.C., che formano una fascia continua ad andamento meridiano che attraversa l'intero foglio, dal limite orientale delle Valli di Comacchio alla periferia orientale di Ravenna; 2) cordoni riferibili

al sistema litorale attuale, tra Casal Borsetti e Lido Adriano. Il limite tra le sabbie di cordone litorale e le argille di prodelta-transizione alla piattaforma, che occupano la maggior parte dell'area a mare, coincide con l'isobata di - 6 m s.l.m.

Il passaggio da ovest verso est a sistemi litorali di età progressivamente più recente è coerente con la progradazione del sistema costiero che ebbe luogo durante la fase di stazionamento alto del livello marino. I cordoni litorali sono giustapposti a formare corpi complessi ad elevata continuità laterale oppure costituiscono frecce litorali isolate, come in prossimità delle foci del Fiume Reno. I depositi palustri e lagunari compresi tra i cordoni affioranti hanno spessore ridotto ($< 2,5$ m), come è possibile osservare dalla sezione geologica (v. anche § 1.2.2). Le tracce di canali ad elevata sinuosità e andamento meridiano sono probabilmente riconducibili a canali di marea.

1.2. - FOGLIO ALLEGATO ALLA CARTA GEOLOGICA - GEOLOGIA DI SOTTOSUOLO

La cartografia geologica di sottosuolo si realizza sulla base di dati puntuali (e lineari nelle aree marine) e su processi di interpolazione, volti all'identificazione delle relazioni spaziali tra corpi sedimentari. L'obiettivo delle carte di sottosuolo è la definizione dell'architettura stratigrafica di una data area, attraverso l'identificazione e la caratterizzazione di superfici di discontinuità e dei confini tra associazioni di facies. La definizione dettagliata dell'assetto stratigrafico nel sottosuolo riveste un'importanza fondamentale a fini pratici, costituendo la base scientifica imprescindibile per studi legati a subsidenza, protezione del suolo e ricerca e sfruttamento delle risorse idriche.

Il contenuto informativo della carta geologica di sottosuolo può essere utilizzato per la pianificazione territoriale a grande scala, mentre non è consigliabile l'utilizzo puntuale della carta come elemento sostitutivo di indagini geognostiche, per la soluzione di problemi su scala locale. La possibilità di utilizzare carte geologiche di sottosuolo in modo predittivo dipende infatti da un lato dalla qualità e dalla densità dei dati disponibili, dall'altro dalle caratteristiche geometriche dell'"oggetto" cartografato. Ad esempio, a parità di base dati, la possibilità di intercettare alla profondità prevista dalla carta un corpo sedimentario a geometria tabulare o, comunque, caratterizzato da un'elevata estensione laterale, è di gran lunga superiore rispetto alla possibilità di prevedere con successo la localizzazione nel sottosuolo di un corpo sedimentario a geometria nastriforme.

L'acquisizione di nuovi dati di sottosuolo, in seguito ad esempio all'esecuzione di una nuova campagna di sondaggi o prove penetrometriche, è destinata a modificare il quadro stratigrafico, spesso molto più di quanto non accada nel caso

di studi di terreno. In questo senso, le carte geologiche di sottosuolo devono essere intese come prodotti suscettibili di modifiche, soprattutto in aree relativamente povere di informazioni, qualora nuovi dati vadano ad integrare l'insieme dei dati progressi.

Nel Foglio Allegato sono riportate due carte geologiche di sottosuolo che dettagliano la posizione stratigrafica di due superfici chiave relative al Subsistema di Ravenna. Si tratta della base del Subsistema di Ravenna e del tetto delle sabbie di cordone litorale all'interno del subsistema. La posizione nel sottosuolo di queste due superfici è definita attraverso fasci di isobate, espresse come profondità in metri s.l.m.. I dati utilizzati per la costruzione delle carte sono indicati da linee e pallini neri. A causa della differente profondità delle due superfici, si può notare come la quantità di dati utilizzata per la costruzione della carta della base del Subsistema di Ravenna sia di gran lunga inferiore rispetto a quella che costituisce la base dati della carta del tetto delle sabbie litorali. L'indicazione in banca dati dello spessore delle diverse associazioni di facies per ogni punto preso in esame può consentire la ricostruzione tridimensionale di corpi sedimentari, descrivibili così anche mediante fasci di isopache.

1.2.1. - *Base del Subsistema di Ravenna*

La carta della base del Subsistema di Ravenna (in scala 1:200.000) descrive la posizione stratigrafica della superficie che separa i depositi alluvionali pleistocenici dai primi depositi trasgressivi, di età olocenica. Questa superficie, che materializza nell'area del Foglio Ravenna un'importante lacuna stratigrafica, coincide con la superficie di trasgressione (TS) della sequenza deposizionale tardoquaternaria (v. Cap. IV, § 5). Le isobate della base del Subsistema di Ravenna hanno 1 m di equidistanza e profondità riferita al livello del mare. La carta è costruita sulla base di dati di sondaggi a carotaggio continuo, di prove penetrometriche e, nelle aree marine, di profili sismici ad altissima risoluzione e carotaggi. Nei sondaggi, la TS segna la brusca variazione di facies da depositi alluvionali, generalmente sovraconsolidati, a sovrastanti depositi di retrobarriera (Fig. 19d) o, localmente (dove i sedimenti di retrobarriera sono stati erosi), di spiaggia sommersa. La stessa superficie è identificabile nelle prove penetrometriche in coincidenza di un brusco aumento di resistenza laterale del terreno, accompagnato da una netta diminuzione della pressione interstiziale (Fig. 34). Questo segnale, che non è sempre associato a una netta variazione litologica a cavallo della TS, è in alcuni casi identificabile in corrispondenza di una superficie, mentre più frequentemente si materializza su di uno spessore di alcuni decimetri nella parte sommitale dei depositi pleistocenici (AMOROSI & MARCHI, 1999).

La profondità della base del Subsistema di Ravenna varia con una certa regolarità da circa 16 m sotto il livello del mare, in prossimità dell'angolo SW del Foglio Ravenna, fino a circa - 30 m all'angolo opposto (NE), in Adriatico. Eventuali variazioni di spessore dell'unità in corrispondenza del riempimento di incisioni fluviali hanno significato locale e non sono cartografabili con precisione sulla base dei dati disponibili.

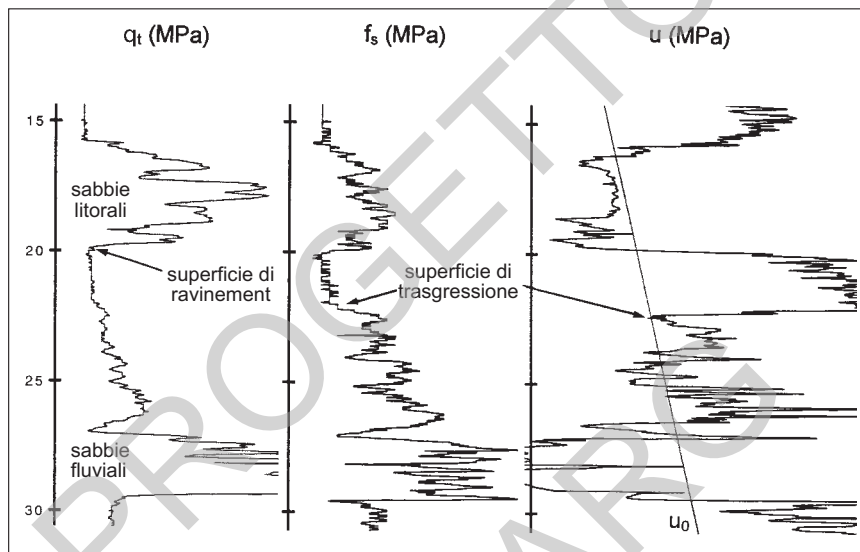


Fig. 34 - Identificazione della superficie di trasgressione (TS - base del Subsistema di Ravenna) e della superficie di ravinement (RS) mediante interpretazione di prove penetrometriche (prova 130U514). La RS, che corrisponde a un forte contrasto litologico, è facilmente identificabile sulla base di un netto aumento della resistenza alla punta (q_t) verso l'alto. Al contrario, la TS si contraddistingue per il caratteristico aumento verso il basso dell'attrito laterale (f_s), cui si accompagna una forte diminuzione della pressione interstiziale (u).

1.2.2. - Tetto delle sabbie litorali del Subsistema di Ravenna

La carta del tetto delle sabbie litorali del Subsistema di Ravenna (in scala 1:50.000) descrive la posizione stratigrafica del tetto delle sabbie di cordone litorale all'interno del Subsistema di Ravenna, mediante un fascio di isobate, la cui spaziatura è di 2 metri e la cui posizione è riferita al livello del mare. La carta è costruita sulla base di dati di sondaggi a carotaggio continuo e di prove penetrometriche. Nei sondaggi, il limite sommitale delle sabbie litorali segna una netta variazione di facies rispetto ai depositi lagunari o palustri sovrastanti (v. Figg. 27b e 35).

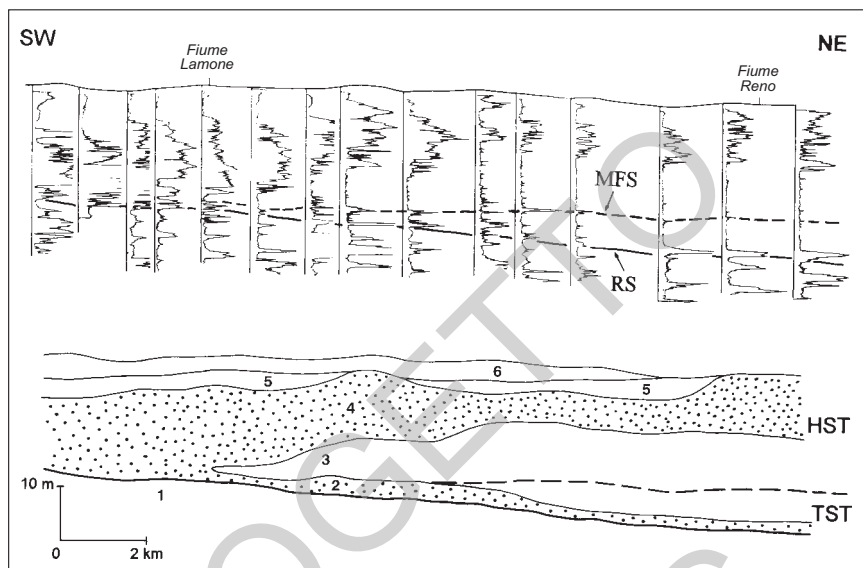


Fig. 35 - Sezione geologica interpretata, approssimativamente perpendicolare alla direzione della paleolinea di costa (v. Fig. 3 per l'ubicazione della sezione), che mostra il possibile utilizzo di prove penetrometriche con piezocono (CPTU) per la cartografia di superfici di discontinuità e di corpi sedimentari. La superficie di ravinamento (RS) all'interno del sistema trasgressivo (TST) segna un netto incremento verso l'alto della resistenza alla punta (q_t - cfr. Fig. 34), al limite tra depositi di retrobarriera (1) e sovrastanti sabbie trasgressive di barriera litorale (2). Al di sopra della superficie di massima ingressione marina (MFS) è riconoscibile la progradazione di un apparato deltizio entro il sistema di stazionamento alto (HST). Tale progradazione è definita dall'impilamento, dal basso verso l'alto, di argille di prodelta (3), sabbie di cordone litorale di fronte deltizia (4) e argille lagunari-palustri di piana deltizia (5), sormontate da depositi alluvionali (6). Si noti come le CPTU consentano un'agevole mappatura del tetto delle sabbie litorali.

Nelle prove penetrometriche, questo limite di facies è indicato dal brusco aumento verso il basso della resistenza alla punta, da valori inferiori a 10 kg/cm^2 a valori sempre superiori a 50 (frequentemente intorno a 100) kg/cm^2 . Una volta che sia stata operata la taratura tra segnale penetrometrico e sondaggi a carotaggio continuo (AMOROSI & MARCHI, 1999), le prove penetrometriche possono essere utilizzate come un agile strumento per la definizione del tetto delle sabbie litorali (Fig. 35).

Nel settore di piana costiera del Foglio Ravenna le sabbie di cordone litorale sono affioranti: in questo tratto, la carta coincide con la Carta Geologica. Le isobate del tetto delle sabbie litorali sono indicate unicamente nelle aree in cui i cordoni litorali sono sepolti.

Il generale aumento, sia pure con numerose complicazioni locali, dei valori delle isobate di tetto dei cordoni litorali da mare verso terra (v. Sezione Geologica e anche Fig. 35) conferma la transizione a sistemi di cordoni litorali progressivamente più antichi.

In zone in cui la densità del dato è elevata, la carta consente la ricostruzione di dettaglio della geometria tridimensionale di corpi sabbiosi corrispondenti a sistemi di cordoni litorali sepolti. In alcuni casi, questi corpi sedimentari rappresentano la prosecuzione nel sottosuolo di cordoni litorali affioranti. L'esempio più chiaro è fornito dal sistema di cordoni litorali di età etrusco-romana che affiorano nelle Valli di Comacchio e che si prolungano verso sud fino nel sottosuolo della città di Ravenna (v. anche CASTIGLIONI *et alii*, 1990), con una quota di tetto che non è mai inferiore a - 4 m s.l.m. Una situazione analoga, anche se meno dettagliata, è quella dei cordoni sepolti nel sottosuolo di Alfonsine, che costituiscono la prosecuzione meridionale dei cordoni litorali subaffioranti nella Bonifica del Mantello. Valori di isobate del tetto dei cordoni litorali quasi mai inferiori a - 2 m s.l.m. nella piana costiera a est di Ravenna, indicano che lo spessore dell'ampia fascia di depositi palustri interposti tra i sistemi affioranti di cordoni litorali è modesto (< 2 m) e giustificano l'interpretazione dell'intero sistema come una vasta piana di sabbia (*strandplain*). Brusche inflessioni del tetto delle sabbie in corrispondenza di sistemi di cordoni litorali sepolti relativamente ben preservati sono interpretate come incisioni dei cordoni ad opera di canali distributori o di canali fluviali ad andamento all'incirca perpendicolare rispetto alla paleolinea di costa.

PROGETTO
CARG

VI - ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA ED APPLICATA

(a cura di M. Preti)

1. - EROSIONE DELLE SPIAGGE

L'area costiera compresa in questo Foglio ha uno sviluppo di circa 22,5 km da Lido Adriano, sul lato sud, alla foce del fiume Reno, sul lato nord. Amministrativamente appartiene al Comune di Ravenna, mentre per gli aspetti morfologici è tutta costa bassa e sabbiosa.

L'orientamento della linea di costa è molto prossimo alla direzione nord-sud, con un leggero scostamento verso nord-nord-ovest.

La cornice interna del litorale è costituita per lunghi tratti da vaste aree a quota inferiore a quella del mare, in parte occupate da lagune marine intercalate da antichi apparati dunosi, spesso ricoperti da pinete.

L'analisi dell'evoluzione recente e dello stato attuale del litorale evidenzia andamenti contrastanti. Le due parti estreme sono infatti soggette a intensi processi erosivi da molti decenni, mentre la zona centrale evidenzia un costante avanzamento della spiaggia.

Il Piano Costa della Regione Emilia Romagna 1981 e il suo aggiornamento del 1996 legano questo stato di cose alla particolare conformazione del litorale

in esame, che ha alle estremità le foci di due importanti fiumi appenninici, il Reno a nord e i Fiumi Uniti a sud. Grazie al forte apporto di materiale sedimentario da parte dei fiumi e alla ridistribuzione dello stesso ad opera della dinamica marina, le cuspidi del Reno e dei Fiumi Uniti sono avanzate in mare per diverse centinaia di metri. L'esame della cartografia storica mette in evidenza come l'avanzamento delle suddette aree sia stato particolarmente accentuato nella seconda metà del secolo scorso e nei primi decenni di questo secolo.

Conseguentemente la linea di costa tra le due cuspidi ha assunto una disposizione ad arco arretrato con al centro Porto Corsini. Questa disposizione, unita al dato che nel paraggio i venti che determinano le maggiori componenti del trasporto solido litoraneo sono quelli di nord-est e sud-est, ha reso Porto Corsini punto zero del trasporto solido litoraneo. (Fig. 36).

I venti di bora e di scirocco spingono infatti verso questa zona, all'incirca equidistante dalle due foci, i materiali provenienti dalle due aree di accumulo primario, corrispondenti alle cuspidi.

Questo particolare andamento della dinamica litoranea si è venuto consolidando negli ultimi secoli, a partire dalla diversione di Ronco e Montone dall'antico percorso su Ravenna verso quello nuovo dei Fiumi Uniti ottenuto per confluenza dei due fiumi e ubicato più a sud della città.

Che nell'area di Porto Corsini vi sia un punto di zero del trasporto solido litoraneo è chiaramente evidenziato dagli effetti derivati dalla costruzione dei lunghissimi moli foranei (2.580 m) del porto di Ravenna. Diversamente da quanto verificatosi a Rimini, Cesenatico e Porto Garibaldi, dove la costruzione di lunghi moli in cemento armato ha dato luogo ad una forte divaricazione tra le linee di riva a nord e a sud, a Porto Corsini questo effetto non si è verificato.

Infatti a partire dal 1958, anno in cui sono iniziati i lavori di costruzione dei due moli foranei, le spiagge di Marina Romea a nord e Marina di Ravenna a sud sono state caratterizzate da un leggero avanzamento, pur conservando all'incirca l'allineamento iniziale. L'avanzamento delle due spiagge costituisce un dato estremamente significativo in quanto si è verificato in un periodo caratterizzato da una drastica riduzione degli apporti solidi fluviali a mare e in un territorio che ha subito nel frattempo abbassamenti di circa un metro dovuti alla subsidenza.

Relativamente agli apporti fluviali è significativo evidenziare che il Reno e i Fiumi Uniti portavano al mare negli anni '50 rispettivamente 814.000 e 432.000 m³/anno di materiale sabbioso; negli anni '80 gli stessi valori si erano ridotti a 215.000 e 89.000 m³/anno (Relazione Generale del Piano Costa 1996).

Questa drastica riduzione di apporto sedimentario, unitamente alla subsidenza, ha prodotto a partire dagli anni '30 di questo secolo, un forte arretramento delle

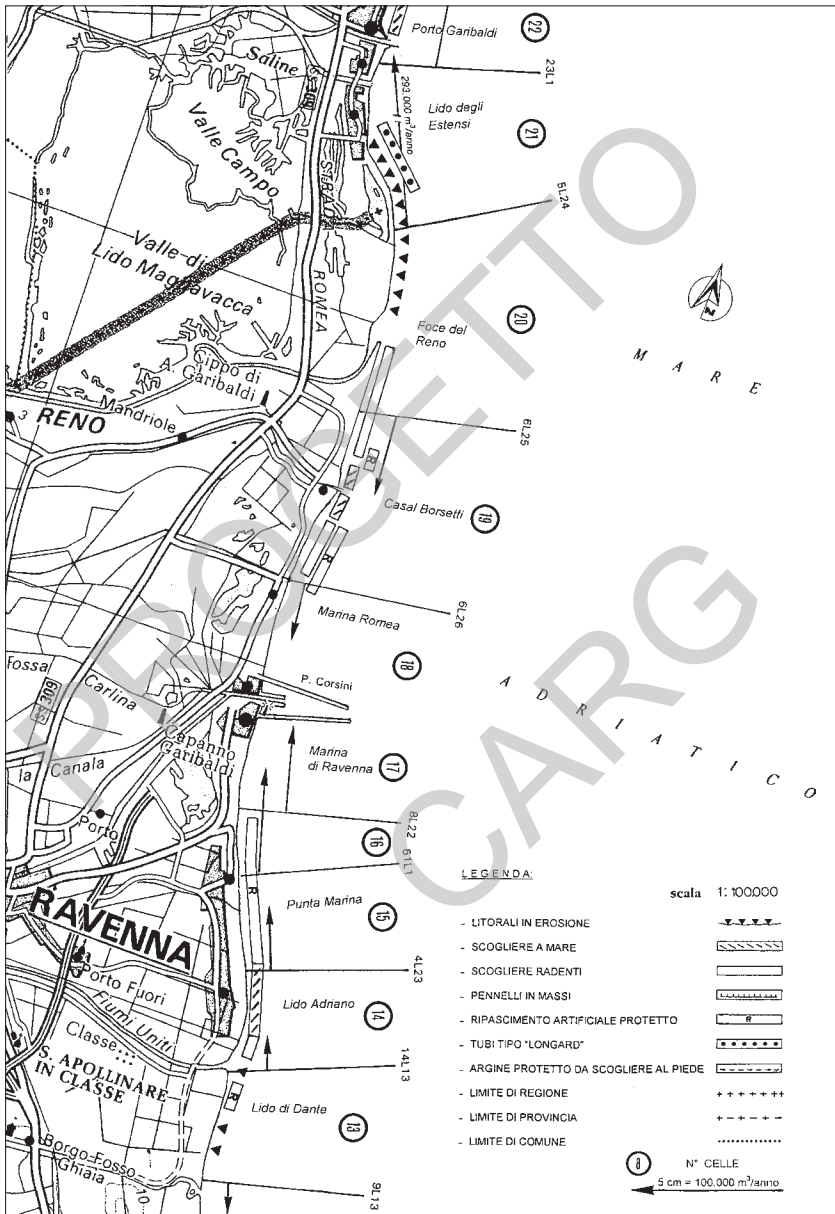


Fig. 36 - Trasporto solido litoraneo e opere di difesa dal mare tra la foce dei Fiumi Uniti e la foce del Reno.

cuspidi di foce del Reno e dei Fiumi Uniti. Negli ultimi 40 anni l'erosione marina ha interessato prima le spiagge ai lati delle cuspidi poi gli arenili via via sempre più distanti.

Allo stato attuale e relativamente al litorale compreso entro il foglio Ravenna, si può affermare che sono interessati dal processo erosivo circa 8 km di spiaggia nel lato sud ed altrettanti nel lato nord. Per contrastare l'arretramento della linea di riva sono state realizzate a partire dal 1968 opere di difesa a protezione dei tratti di litorale riportati in Tabella 4.

TAB. 4 - Opere di difesa dal mare.

localita'	anni	tipologia	lunghezza tratto prot. (m)
Casal Borsetti	1968 - 1976	scogliere parall.	1.300
Casal Borsetti Nord	1980	scogliera radente	500
Poligono Militare	1979 e 1988	difesa radente	3.500
Casal Borsetti Sud	1976 e 1989	scogliera radente e ripascimento	2.200
Lido Adriano	1978 - 1988	scogliere emerse	2.300
Lido Adriano P.ta Marina	1989 - 1991	ripascimento protetto	4.500

La realizzazione di queste opere a protezione di 14.300 metri di litorale, ha di fatto interrotto per la prima volta la fluttuazione della linea di costa, che negli ultimi 5.000 anni era stata caratterizzata da un prevalere degli avanzamenti delle terre rispetto al mare, ma che in ambiti temporali e tratti costieri più limitati aveva visto anche degli arretramenti.

Testimonianze di questi andamenti sono l'avanzamento della linea di riva all'altezza della città di Ravenna, sorta nel V secolo a.C. a ridosso del mare, ed ora circa 9 km all'interno e, nei primi anni '80, la scoperta in mare all'altezza della foce del Reno, anticamente Po di Primaro, a 3 km dalla costa, su fondali di circa 8 metri, dei resti di una torre del XV sec.

Con la costruzione delle opere di difesa si è di fatto bloccata l'avanzata del mare e il processo di rettifica della linea di riva basato sull'arretramento delle cuspidi, e l'avanzamento delle zone più arretrate. La conseguenza è stata però molto pesante in termini evolutivi e ambientali. Sono stati infatti alterati in modo significativo la dinamica litoranea, la qualità delle acque e dei fondali di balneazione, ed il paesaggio costiero che già aveva subito forti manomissioni (Fig. 37).

L'intensa urbanizzazione dell'area costiera verificatasi a partire dagli anni '60 aveva prodotto infatti una profonda alterazione dei caratteri originari di questo territorio, tra cui in particolare lo spianamento di gran parte dei cordoni dunosi.

In pratica le opere di difesa rigide realizzate con massi rocciosi, hanno permesso di fermare l'avanzata del mare nei tratti protetti, ma non hanno minimamente inciso sulle cause del fenomeno, riconducibile sostanzialmente ad un deficit di sedimenti nel bilancio litoraneo. L'effetto conseguente è stato pertanto lo spostamento dei processi erosivi nelle spiagge adiacenti (Fig. 38).

Il ripristino delle condizioni di equilibrio della linea di riva è quindi legato ad un significativo aumento degli apporti di sedimenti sul litorale e ad una forte riduzione della subsidenza i cui effetti sulla spiaggia e sui fondali sono riconducibili ad una sottrazione di materiale.

L'apporto di sabbia a mare può essere ottenuto o ripristinando adeguati valori della portata solida fluviale o tramite ripascimenti artificiali. E' evidente che la soluzione ottimale sotto il profilo ambientale ed economico è la prima.

Si è già potuto constatare, attraverso l'analisi dei dati del Piano Costa 1996, quanto abbiano inciso in termini negativi sull'apporto solido a mare le escavazioni lungo gli alvei fluviali effettuate in termini massicci nel periodo 1950-1983.

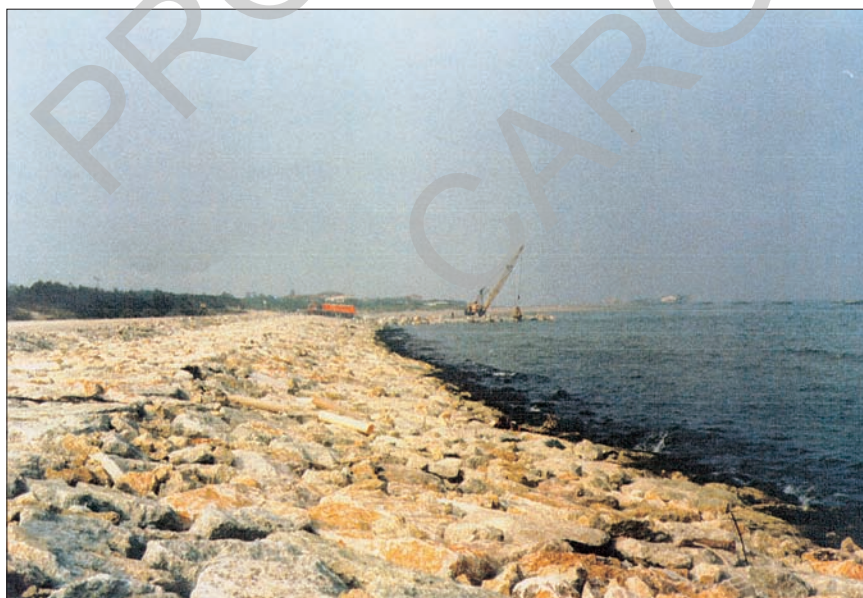


Fig. 37 - La massiccia scogliera radente realizzata tra la foce del Lamone e Casal Borsetti.

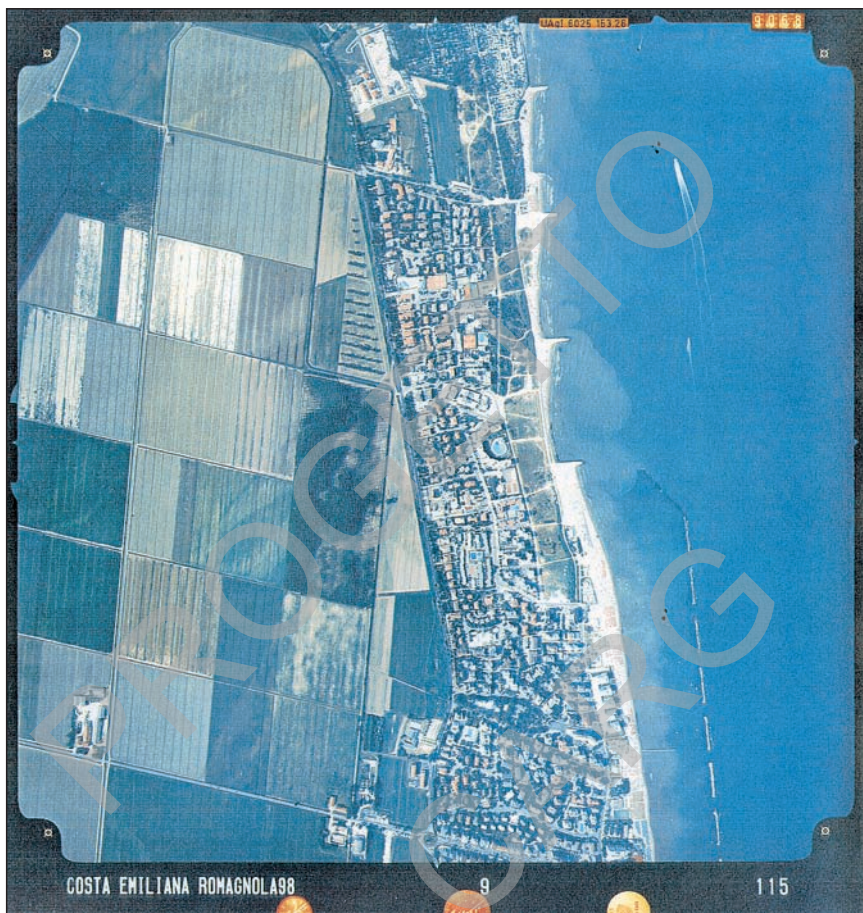


Fig. 38 - Le scogliere a mare realizzate a partire dal 1978 per difendere Lido Adriano hanno spostato l'erosione sulle spiagge più a nord, rendendo necessari altri interventi di difesa (autorizzazione alla divulgazione- concessione SMA n.01 539 del 16/9/1998).

Nel 1983 la Regione ha infatti bloccato questo tipo di escavazioni.

Analoghi effetti sono imputabili alla costruzione di opere trasversali lungo i corsi d'acqua e alla mancata manutenzione degli alvei, in particolare quelli in pianura. Risulta evidente quindi che il sistema ambientale litoraneo è strettamente connesso con le politiche di gestione del territorio di monte idrograficamente tributario, per cui anche la tendenza a difendere in tutti i casi la stabilità dei versanti in montagna contrasta nettamente con una positiva evoluzione del litorale.

2. - SUBSIDENZA DELLA FASCIA COSTIERA

E' stato già evidenziato in precedenza come la subsidenza sia una delle principali cause dell'erosione delle spiagge. L'analisi dei dati ricavati dalle campagne di misura effettuate dall'Istituto Geografico Militare a partire dalla fine del secolo scorso e di quelli raccolti da Idroser e dal Comune di Ravenna negli ultimi 15 anni, evidenzia come l'area ravennate sia caratterizzata da elevati valori di abbassamento del terreno.

Studi sulla successione degli strati profondi condotti sulle carote, raccolte dall'AGIP durante lo scavo di pozzi metaniferi, hanno evidenziato per quest'area un valore della subsidenza naturale pari a circa 1 mm/anno (SELLI & CIABATTI, 1977; PIERI & GROPPI, 1981).

Le misurazioni effettuate dall'I.G.M. tra il 1892 e il 1990 mostrano invece come in questo secolo il fenomeno abbia avuto proporzioni ben diverse.

La Fig. 39, ricavata dal Piano Costa 1996, mostra infatti come a Ravenna città la subsidenza sia stata di 4 mm/anno circa nel periodo 1892-1950, di 25 mm/anno circa tra il 1950 e il 1970 ed abbia raggiunto il massimo tra il 1970 e il 1977 con valori pari a circa 40 mm/anno. Negli ultimi ventanni il fenomeno risulta essere in riduzione, anche se rimane su valori prossimi ai 20 mm/anno quindi molto elevati, in ogni caso decisamente superiori alla soglia naturale.

Ne deriva quindi che la variazione relativa della quota del terreno rispetto al livello medio del mare verificatasi nell'ultimo secolo a Ravenna città è stata pari a 113 cm, da imputare in massima parte alle attività antropiche.

Gli studi fin qui condotti evidenziano come la causa principale di questo fenomeno sia l'estrazione di fluidi dal sottosuolo, in particolare l'acqua dalle falde presenti nelle prime

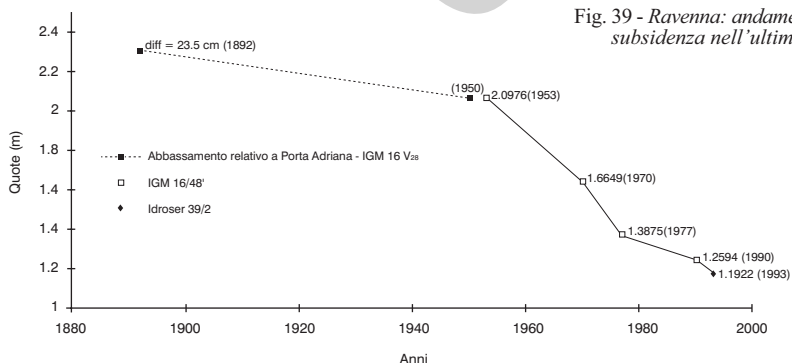


Fig. 39 - Ravenna: andamento della subsidenza nell'ultimo secolo.

centinaia di metri ma, anche se in maniera meno diffusa, il gas metano da pozzi profondi alcune migliaia di metri.

L'andamento della curva del diagramma di figura 39 è del tutto analogo a quello della curva che riporta la variazione del medio mare misurato dal mareografo di Porto Corsini tra il 1896 e il 1995 (Fig. 40).

Relativamente a quest'ultimo diagramma occorre precisare però che la variazione riscontrata non va attribuita all'innalzamento del medio mare bensì in maggior parte all'abbassamento del mareografo, quindi alla subsidenza. Ciò detto, risulta da entrambe le curve un brusco incremento della velocità di abbassamento del suolo a partire dagli anni '50, anni in cui si è avuto un forte incremento dei prelievi di acqua di falda in concomitanza con l'entrata in funzione del polo industriale a nord-est di Ravenna.

Analogamente la riduzione dei valori di subsidenza riscontrati dai rilievi effettuati negli anni '80 e '90 è correlabile con la chiusura di molti pozzi e l'adduzione di acque di superficie dal Reno, mediante la canaletta AGIP, e dalla diga di Ridracoli, mediante l'acquedotto di Romagna.

Come si vede vi è una stretta correlazione tra l'estrazione di acqua di falda e la variazione della velocità di abbassamento del suolo. Questa relazione causa-effetto riscontrata nell'area di Ravenna riproduce gli stessi andamenti verificatisi in altre aree padane, in particolare quelle di Venezia e del Delta del Po. E' del tutto evidente quindi che se si vuole ridurre drasticamente la subsidenza occorre intervenire sui prelievi di acqua da falda.

Sulla base di quanto esposto nella Relazione Generale del Piano Costa 1996, la fascia costiera ravennate ed i fondali antistanti sono soggetti anche ad abbassamenti indotti dall'estrazione del gas metano da pozzi profondi.

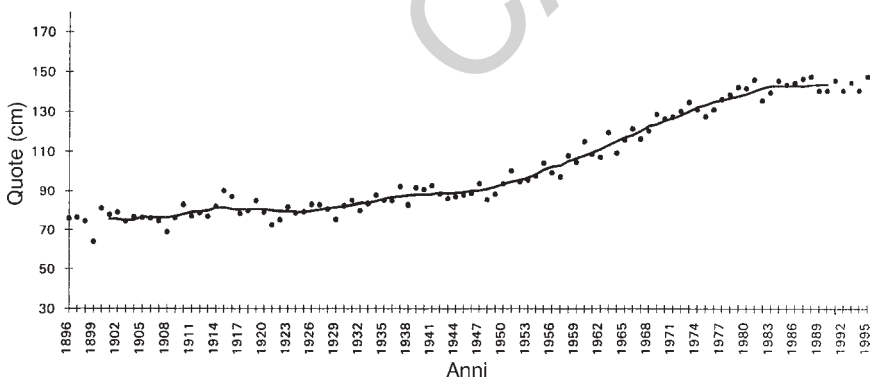


Fig. 40 - Mareografo di Porto Corsini (RA): diagramma temporale del medio mare nell'ultimo secolo.

Si è potuto riscontrare infatti che in prossimità della proiezione in superficie dell'area del giacimento si riscontra un incremento della velocità media annua di abbassamento del suolo. Ciò è stato provato in corrispondenza dei campi metaniferi di Dosso degli Angeli (Valle di Comacchio) e Angela Angelina (foce Fiumi Uniti) dai rilievi topografici di alta precisione eseguiti sulla rete di controllo della subsidenza lungo la fascia costiera regionale, istituita da Idroser nel 1984, e successivamente rilevata nel 1987 e nel 1993.

La subsidenza è infatti un fenomeno che negli ultimi decenni si è manifestato con valori ancor più elevati di quelli misurati nell'area costiera, in aree interne della pianura Padana, quali ad esempio quelle di Bologna e Modena. E' evidente però che trattandosi di un fenomeno irreversibile l'impatto è estremamente più elevato nelle aree della bassa pianura costiera, perché ne aumenta sempre più il grado di vulnerabilità nei confronti del mare.

Conseguentemente aumentano i costi che occorre sostenere per la difesa e per riparare i danni.

Per dare un'idea degli effetti prodotti dalla subsidenza sugli equilibri dei 22,5 km di litorale del Foglio Ravenna, è sufficiente riportare che, a fronte di un abbassamento di 20 mm/anno, la sottrazione di materiale sedimentario operata è stimabile in circa 400.000-500.000 m³. Attribuendo ad un metro cubo di sabbia un valore di mercato pari a 30.000 lire, ne consegue un danno economico pari a circa 12-15 miliardi all'anno.

Da quanto esposto risulta quindi che la subsidenza è un fenomeno estremamente negativo, in grado di modificare in termini irreversibili i caratteri ambientali del territorio costiero in esame, inoltre è causa primaria dell'erosione del litorale ad opera del mare.

Le cause sono in modestissima parte di origine geologica, riconducibili sostanzialmente alla lenta compattazione della coltre alluvionale quaternaria, e in massima parte di origine antropica, per la massiccia estrazione di acque e metano dal sottosuolo.

La salvaguardia del territorio, degli abitati e delle infrastrutture appartenenti alla fascia costiera del Foglio n. 223, per una larghezza di diversi chilometri, è strettamente dipendente da una sostanziale modifica quali-quantitativa di questi prelievi.

Per l'acqua, come già detto, si opera ormai da decenni per sostituire i prelievi da falda con adduzioni di risorse superficiali. Per il metano, visto che si tratta di una risorsa strategica di primaria importanza la cui estrazione dovrà continuare, occorrerà, in tempi brevi, modificare il regime di coltivazione fin qui praticato nei giacimenti litoranei e ricercare tecniche in grado di conciliare le esigenze produttive con la salvaguardia del territorio e dell'ambiente esistente.

PROGETTO
CARG

APPENDICE 1

BANCHE DATI

1. - BANCA DATI GEOGNOSTICI (a cura di C.Tomassetti)

1.1. - INTRODUZIONE

La Regione Emilia-Romagna ha avviato già da alcuni anni la realizzazione di una Banca Dati Geognostici per tutto il territorio regionale di pianura. I dati presenti sono riconducibili a quattro grandi categorie:

- pozzi per acqua;
- sondaggi a carotaggio continuo;
- trivellate e perforazioni generiche;
- prove penetrometriche (statiche, dinamiche, con punta elettrica, con piezocono).

L'acquisizione dei dati avviene sostanzialmente secondo due modalità:

- raccolta di tutte le prove disponibili già realizzate da Enti pubblici e Ditte private che operano sul territorio (Comuni, Province, Consorzi di Bonifica, ANAS, Società Autostrade, Ferrovie dello Stato, Ditte di perforazione, Studi professionali, Servizi Provinciali Difesa del Suolo della Regione Emilia-Romagna, Aziende Municipalizzate, ecc.);
- realizzazione in proprio da parte dell'Ufficio Geologico della Regione Emilia-Romagna di prove geognostiche (sondaggi e prove penetrometriche) ai fini di taratura, approfondimento, o esplorazione di aree geografiche non coperte dalla raccolta precedente.

Tutte le prove disponibili sono localizzate sulla Carta Tecnica Regionale (CTR) a scala 1:10.000 e digitalizzate con sistema di georeferenziazione in coordinate UTM fuso 32. Le topologie geometriche dei punti sono in formato *coverage* di Arc/Info. Ad ogni punto è poi logicamente connesso un insieme di tabelle di database relazionale (Access per Windows), in cui sono immagazzinate tutte le informazioni geologiche e descrittive della prova.

Per tutte le prove presenti sono disponibili informazioni di tipo “geografico” (CTR di appartenenza, Comune, quota sul piano campagna, ecc.), informazioni di tipo “geologico” (quota della falda, tetto delle prime ghiaie, ecc.) e numerose informazioni di tipo “generale” (Ente fornitore del dato, data di esecuzione, riservatezza o meno del dato, ecc.). Per ogni pozzo per acqua, inoltre, sono indicate le caratteristiche tecniche della pompa e del motore, la portata, il tipo di utilizzo (agricolo, domestico, industriale, ecc.), il numero di orizzonti fenestrati nel sottosuolo ed il loro spessore e profondità.

Per tutti i pozzi, sondaggi, trivellate e perforazioni sono poi caricati come record di database le intere descrizioni della successione litologica attraversata nel sottosuolo (litologie principali ed intercalate, colore, ecc.), alcuni caratteri geotecnici ed idrogeologici (cementazione, plasticità, umidità, ecc.) ed i componenti accessori eventualmente indicati nei log originali (resti vegetali, residui conchigliari, concrezioni calcaree, ecc.).

Per i soli sondaggi realizzati direttamente dalla Regione Emilia-Romagna è infine disponibile una tabella di database relativa alle datazioni al radiocarbonio eseguite su alcuni campioni di particolare rilevanza.

La Banca Dati Geognostici costituisce un supporto indispensabile per la realizzazione di tutte le cartografie geologiche di sottosuolo ed un valido ausilio per meglio caratterizzare la cartografia delle unità geologiche affioranti.

1.2. - BANCA DATI GEOGNOSTICI NEL FOGLIO RAVENNA

Nel Foglio Ravenna, la Banca Dati Geognostici è stata realizzata negli anni 1995-1997.

La raccolta di tutti i dati già esistenti presso altri Enti e Ditte ed il caricamento delle tabelle descrittive alfanumeriche sono stati effettuati da personale geologo incaricato dalle Province di Ravenna e Ferrara, Amministrazioni con cui l'Ufficio Geologico della Regione Emilia-Romagna aveva stipulato specifiche Convenzioni.

Sono poi state realizzate direttamente dalla Regione 16 sondaggi a carotaggio continuo ed oltre 200 prove penetrometriche.

All'interno del Foglio Ravenna sono complessivamente disponibili 1285 dati di diverso tipo, come meglio indicato nella seguente Tab. 5. Complessivamente la densità dei dati disponibili è di oltre 2 per kmq di territorio.

TAB. 5 - Tipo e quantità di prove geognostiche disponibili nel Foglio Ravenna.

Tipo di dato	Numero di dati	Profondità (in m)		
		media	minima	massima
PROVE RECUPERATE DA ALTRI ENTI O DITTE				
penetrometrie statiche	771	19.8	7.6	50
sondaggi a carotaggio continuo	236	20.6	4.3	151.2
pozzi per acqua	116	196.5	4.5	452
sondaggi a distruzione, trivellate a secco	85	13.5	3.9	50
penetrometrie dinamiche	26	8.3	6	11.2
pozzi AGIP per idrocarburi	23	960	500	5396
penetrometrie con punta elettrica	23	14.4	10.6	15.4
penetrometrie con piezocono	5	21	12	37.5
Totale prove recuperate	1285			
PROVE REALIZZATE DIRETTAMENTE DALLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA				
prove penetrometriche con piezocono	218	34.5	4.5	37.6
sondaggi a carotaggio continuo	16	68.1	40	173.4
prove penetrometriche con punta elettrica	1	35.1	35.1	35.1
Totale prove realizzate	235			
Totale dati disponibili nel Foglio Ravenna	1520			

Relativamente ai dati geognostici raccolti presso altri Enti e Ditte, la Tab. 6 illustra nel dettaglio gli Enti fornitori.

TAB. 6 - Enti fornitori delle prove geognostiche recuperate nel Foglio Ravenna.

Ente o Ditta fornitore di prove	Numero di prove fornite
Regione Emilia-Romagna:	
- Servizi Prov.li Difesa del Suolo di Ravenna e Ferrara (ex Geni Civili)	471
- Assessorato Urbanistica	97
Amministrazioni Comunali (Alfonsine, Argenta, Bagnacavallo, Ravenna)	327
Ditte private e Studi professionali	231
Altri Enti Pubblici (ENEL, ENEA, Genio Civile Opere Marittime, Ferrovie dello Stato, Università)	42
Aziende Municipalizzate	35
Consorzi di Bonifica	32
Amministrazione Provinciale di Ravenna	27
AGIP	23
Totale	1285

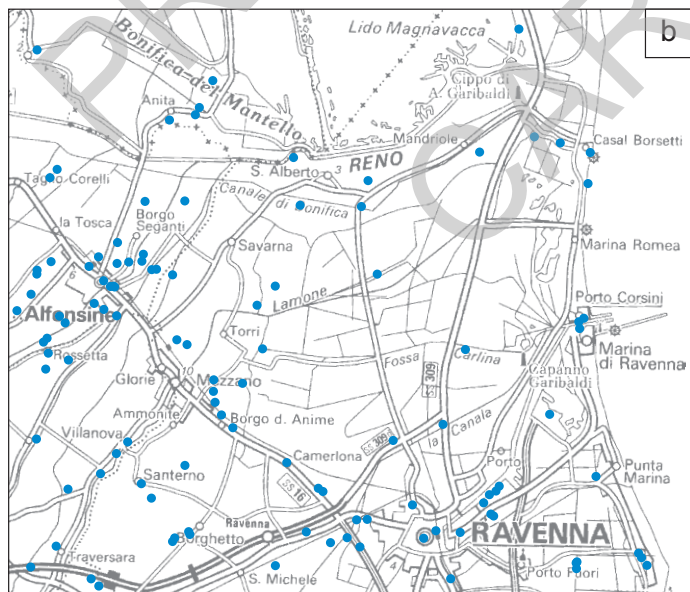
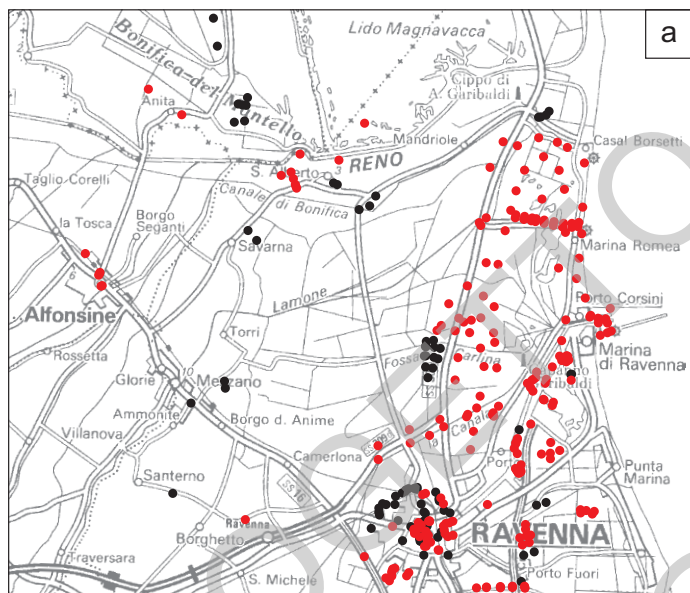
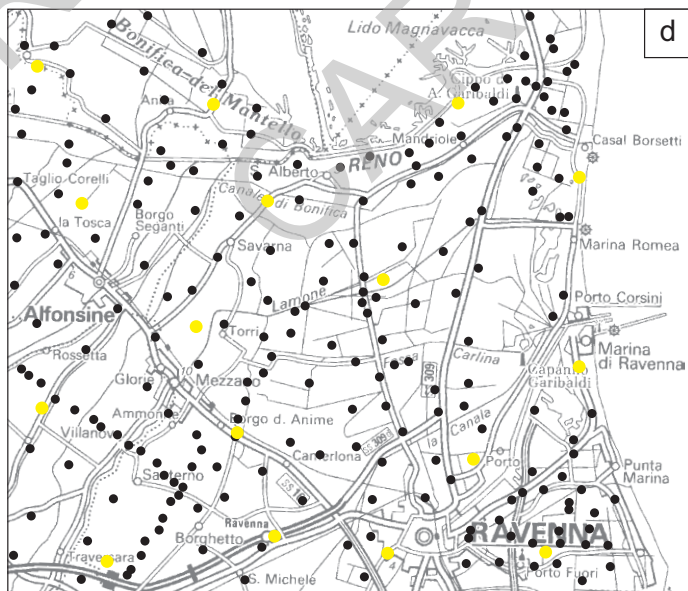
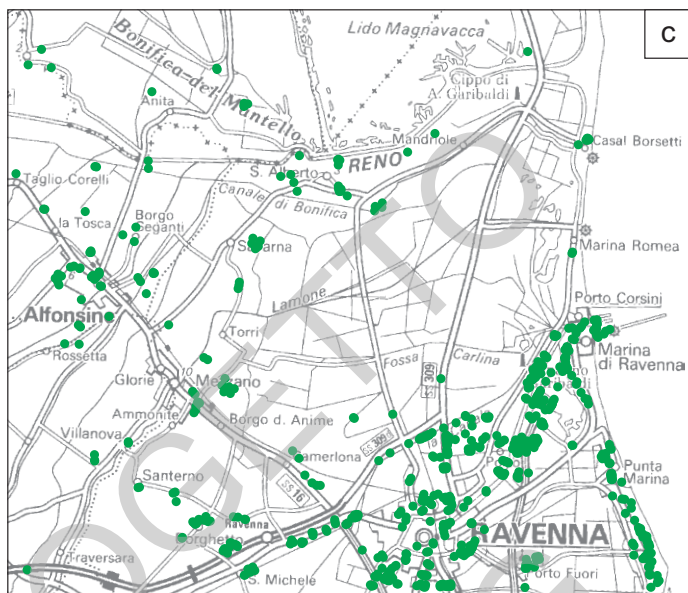


Fig. 41 -
Distribuzione nel
Foglio Ravenna
dei dati
geognostici
recuperati da
altri archivi
esistenti (a,b,c)
a: sondaggi a
carotaggio
continuo - pallino
rosso, trivellate a
secco e sondaggi a
distruzione -
pallino nero; b:
pozzi per acqua -
pallino azzurro;



c: prove penetrometriche - pallino verde e delle prove realizzate direttamente dall'Ufficio Geologico della Regione Emilia-Romagna;
 d: sondaggi a carotaggio continuo - pallino giallo, prove penetrometriche - pallino nero.

La distribuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, delle trivellate a secco e sondaggi a distruzione, dei pozzi per acqua e di tutte le penetrometrie reperite da archivi esistenti, nonché delle prove penetrometriche e dei sondaggi di nuova realizzazione è rappresentata nella Fig. 41.

Come già precedentemente indicato, tutti i dati sono localizzati su CTR a scala 1:10.000.

Poiché una porzione di territorio sulla CTR, relativo all'area industriale e portuale di Ravenna, non riporta le quote topografiche del piano campagna per motivi di segretezza, non era possibile definire le quote di 88 prove (tra quelle recuperate da altri archivi e quelle di nuova realizzazione).

Pertanto, durante lo studio dei dati si è provveduto per questa porzione di territorio ad effettuare la ricostruzione del piano topografico originario (ossia precedente alle opere di bonifica e livellamento necessarie per la realizzazione dell'area industriale e dei canali portuali) utilizzando a tale scopo una dozzina di punti a quota nota e realizzando le interpolazioni nel loro intorno.

Per quanto riguarda invece l'analisi dei log litologici, le prove che dispongono di una stratigrafia descritta da sondatori (ossia non dedotta indirettamente, come nel caso delle curve di resistenza delle prove penetrometriche) sono nel complesso 476 (460 prove recuperate e 16 sondaggi di nuova realizzazione), per un totale di 4313 intervalli stratigrafici descritti nel sottosuolo, di spessore medio di circa 10 metri.

Sommando tra loro tali spessori, risultano 43,728 km di litologia di sottosuolo investigata.

Le prove raccolte descrivono la litologia del sottosuolo fino a profondità e con un grado di accuratezza nella descrizione litologica assai variabili, ciò è ovviamente legato allo scopo per cui ciascuna prova è stata realizzata.

I log litologici descrivono il sottosuolo secondo strati discreti: un valore indicativo dell'accuratezza con cui la successione stratigrafica attraversata è stata descritta può essere sinteticamente riassunta dal "dettaglio", ottenuto dal rapporto tra numero di strati descritti per ciascun log e la profondità totale della prova in metri (es: 5 strati descritti in 20 metri: dettaglio 0.25; 20 strati descritti in 20 metri: dettaglio 1).

Per i dati del Foglio Ravenna il valore del "dettaglio" è specificato nella Tab. 7.

Si noti il grado di dettaglio assai basso dei pozzi per acqua e dei pozzi AGIP per ricerca di idrocarburi.

TAB. 7 - Valore del "dettaglio" per le prove geognostiche del Foglio Ravenna.

Tipo di prova	Valore del "dettaglio"
sondaggi a distruzione, trivellate a secco	0.63
sondaggi a carotaggio continuo	0.61
pozzi per acqua	0.06
pozzi AGIP per idrocarburi	0.02

Per entrambi la descrizione della successione stratigrafica, ovviamente funzionale agli scopi propri dei pozzi, è stata ritenuta insufficiente per lo studio dei primi metri di sottosuolo.

Per la realizzazione della cartografia di sottosuolo del Foglio Ravenna questi dati non sono stati utilizzati, mentre il loro studio si è rivelato importante per il riconoscimento e la correlazione in sezione dei principali corpi sedimentari di origine marina sottostanti quello di età olocenica identificati nel sottosuolo, come meglio riportato nelle Figg. 17 e 18.

Analizzando statisticamente le ricorrenze sulle 4313 righe della tabella alfanumerica relativa alle descrizioni dei log litologici originali, ossia sui 4313 intervalli stratigrafici di sottosuolo complessivamente descritti, la Tab. 8 mostra sinteticamente la presenza nella descrizione delle litologie (classificate in: principale, secondarie ed intercalate), del colore, dei principali caratteri geotecnici ed idrogeologici (plasticità ed umidità) e dei principali componenti accessori (resti vegetali e residui conchigliari) indicati nei log originali e caricati in database.

TAB. 8 - Ricorrenze dei principali caratteri descrittivi della stratigrafia dei log, espresse sia come numero di righe che come percentuale sul totale.

Carattere descrittivo del log	Numero di righe della tabella con il carattere descritto	% sul totale delle righe della tabella con il carattere descritto
Litologia principale	4313	100
Litologia secondaria	2105	48.8
Terza litologia	408	9.5
Litologia intercalata principale	960	22.3
Litologia intercalata secondaria	423	9.9
Colore dello strato	2406	55.8
Umidità dello strato	1066	25.2
Plasticità dello strato	926	21.5
Resti vegetali nello strato	117	2.7
Resti conchigliari nello strato	638	14.8

Da segnalare che la litologia principale ha 4313 ricorrenze, ossia è sempre descritta, poiché questo costituisce il vincolo fondamentale per il caricamento in database della stratigrafia a partire dal log originario.

Non considerando ora i pozzi AGIP per idrocarburi, ed analizzando la descrizione litologica di tutti gli altri pozzi o sondaggi, come già evidenziato in altri contesti geografici sulla stessa Banca Dati Geognostici della Regione Emilia-Romagna (FARINA, 1994) alcune indicazioni sull'utilizzabilità delle descrizioni litologiche recuperate da altri archivi possono essere desunte dall'analisi della terminologia utilizzata per le descrizioni dei log.

Ciò consente di definire a priori un minimo livello di “precauzioni d’uso” e di “affidabilità di utilizzo” per tutte le descrizioni stratigrafiche di sottosuolo di pozzi e sondaggi non direttamente studiabili poiché recuperati da archivi esistenti.

Assumendo come riferimento di massima affidabilità i sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in proprio dall’Ufficio Geologico della Regione Emilia-Romagna, poiché la perforazione e l’analisi delle carote sono state direttamente seguite da proprio personale, la Tab. 9 esamina le ricorrenze percentuali nel campo “litologia principale” dei termini “argilla”, “limo” (o “silt”) e “sabbia”.

TAB. 9 - Ricorrenze dei termini “argilla”, “limo” e “sabbia” nelle prove geognostiche.

Tipo di dato	Ricorrenza %		
	del termine “argilla”	del termine “limo” (o “silt”)	del termine “sabbia”
Sondaggi a carotaggio continuo, eseguiti dalla Regione Emilia-Romagna	4.5	88	7.5
Sondaggi a carotaggio continuo, a distruzione, trivellate a secco recuperate da altri archivi	24	64	12
Pozzi per acqua recuperati da altri archivi	60	0.7	39.3

A commento della tabella, e in considerazione del contesto geografico e sedimentologico dell’area relativa al Foglio Ravenna, dove prevalgono decisamente le litologie limose (88% di tutte le litologie descritte nei carotaggi eseguiti dalla Regione Emilia-Romagna), sono possibili alcune considerazioni generali:

- i sondaggi a carotaggio continuo, a distruzione e le trivellate a secco recuperati da altri archivi pubblici e privati confermano la prevalenza netta delle litologie limose sul totale e la scarsa presenza di sabbie, ma sembrano sovrastimare la frazione argillosa a scapito di quella limosa. E’ quindi ragionevole desumere che il limo argilloso possa essere stato descritto dai sondatori più come argilla che come limo.

- nei pozzi per acqua invece, dove la frazione fine (argilla e limo) è scarsamente studiata e descritta dai sondatori, interessati alle litologie grossolane dei serbatoi acquiferi, si può ragionevolmente affermare che non siano state operate distinzioni tra limo argilloso ed argilla e tra limo sabbioso e sabbia, e siano state utilizzate generiche “categorie” granulometriche.

Ciò porta a ritenere, in linea di massima, i pozzi per acqua poco utilizzabili per lo studio nel sottosuolo dei sedimenti fini.

In ogni caso comunque, solo lo studio stratigrafico di dettaglio e l’analisi geologica possono consentire una validazione complessiva dei dati, che quindi può e deve avvenire solo a posteriori dello studio e non prioritariamente ad esso.

Non necessariamente, infatti, uno scarso dettaglio descrittivo del log di sottosuolo comporta una bassa attendibilità di definizione stratigrafica. Solo il modello stratigrafico di sottosuolo può consentire una reale ed affidabile opera di validazione della Banca Dati nel suo complesso.

Le cartografie di superficie e di sottosuolo realizzate nel Foglio Ravenna hanno utilizzato largamente questi dati, dimostrando una loro coerenza interna, pur con qualche ovvia ed inevitabile carenza o accortezza d'uso.

Un solo dato per tutti, indicativo della mole di dati disponibile e del suo valore intrinseco per una cartografia di dettaglio, è quello relativo al numero di dati utilizzati per la realizzazione delle cartografie.

La Tab. 10 riassume la quantità di prove della Banca Dati utilizzate per ciascun prodotto cartografico realizzato per il Foglio Ravenna.

TAB. 10 - *Quantità di prove geognostiche utilizzate per la realizzazione dei prodotti cartografici del Foglio Ravenna.*

Prodotto cartografico	Numero di prove utilizzate tra quelle direttamente realizzate dalla Regione Emilia-Romagna	Numero di prove utilizzate tra quelle recuperate da altri archivi	Totale prove geognostiche utilizzate
CARTA GEOLOGICA	208	700	908
Foglio Allegato alla Carta Geologica - Geologia di Sottosuolo TETTO DELLE SABBIE LITORALI DEL SUBSISTEMA DI RAVENNA	190	819	1009
Foglio Allegato alla Carta Geologica - Geologia di sottosuolo BASE DEL SUBSISTEMA DI RAVENNA	142	94	236

Dallo studio eseguito, si può concludere che le prove penetrometriche ed i sondaggi della Banca Dati Geognostici consentono in genere di identificare con buona approssimazione il tetto delle sabbie marine del Subsistema di Ravenna, tuttavia alcune accortezze d'uso sono comunque necessarie, sia per utilizzare le prove penetrometriche quando tale corpo è subaffiorante o molto superficiale (di difficile lettura, infatti, sono le curve di resistenza per i primi 1-2 metri di sottosuolo), sia per la talvolta difficile risoluzione litologica dei sondaggi.

In generale, le prove penetrometriche consentono di riconoscere unità ed ambienti deposizionali quando marcati da contrasti tessiturali e differenti stati fisici (es. sovraconsolidamento) dovuti ad esposizione subarea o pedogenesi (si veda anche AMOROSI & MARCHI, 1999).

2 - BANCA DATI ARCHEOLOGICI (a cura di C. Tomassetti)

2.1. - INTRODUZIONE

La Regione Emilia-Romagna ha stipulato a partire dal 1996 convenzioni di collaborazione con la Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia-Romagna per la realizzazione di una Banca Dati dei siti archeologici di particolare rilevanza ai fini della cartografia geologica di pianura.

L'obiettivo di questa base dati è quello di poter disporre a scala regionale di datazioni accurate per una migliore caratterizzazione delle unità stratigrafiche cartografate nella Carta Geologica e per un ausilio nelle operazioni di correlazione di tali unità.

Per la realizzazione della Banca Dati, sono state considerate solo le aree di pianura e le porzioni intravallive terrazzate. Allo stato attuale (1999) è coperto circa il 40% del territorio regionale, la conclusione del lavoro è prevista nel 2001.

La raccolta dei dati e la loro schedatura sono stati affidati ai Musei Civici provinciali o a Società di Archeologia. I rinvenimenti considerati sono di due tipi: siti attualmente in corso di studio oppure descritti con sufficiente precisione su documentazione bibliografica specifica.

Tutti i siti ritenuti meritevoli sono stati localizzati come elementi puntuali o areali su Carte Tecniche Regionali a scala 1:10.000 o 1:25.000.

L'utilizzo delle carte di dettaglio si è reso necessario soprattutto nei centri storici delle principali città della Regione, vista l'elevata densità di punti presenti.

Tutti i siti sono stati digitalizzati con sistema di georeferenziazione in coordinate UTM fuso 32. Le topologie geometriche dei punti e delle aree sono in formato *coverage* di Arc/Info. Ad ogni sito è poi logicamente connessa una tabella di database relazionale (in formato Access per Windows), in cui sono immagazzinate tutte le informazioni descrittive.

I campi della tabella relazionata al sito ed il glossario dei termini sono riportati nella Tab. 11.

2.2. - BANCA DATI ARCHEOLOGICI NEL FOGLIO RAVENNA

La raccolta e la schedatura dei siti nel Foglio Ravenna è stata effettuata nel corso del 1999.

Sono stati archiviati 44 siti, la cui distribuzione geografica nel territorio è riportata in Fig. 42. La loro distribuzione per età è inoltre descritta nella Tabella 12.

TAB. 11 - Informazioni disponibili per ciascun sito/rinvenimento archeologico della Banca Dati.

Campo della tabella	Glossario
Codice del sito	Codice univoco progressivo del sito
C.T.R.	Carta Tecnica Regionale 1:10.000 o 1:25.000 in cui è localizzato il sito
Tipo di sito o rinvenimento	<ul style="list-style-type: none"> - struttura/area abitativa - struttura/area sepolcrale - struttura produttiva/artigianale - struttura generica - infrastruttura territoriale incisa (fossati, canali) - infrastruttura territoriale generica - materiali/frequenzazioni - altro
Datazione del reperto	<ul style="list-style-type: none"> - medievale (X-XV sec.) - tardo antico/alto medioevo (IV-IX sec.) - romano/tardo antico generico (II a.C. - VI d.C.) - romano (II a.C. - III d.C.) - neolitico/ferro generico - prima età del ferro (IX a.C. - VI a.C.) - seconda età del ferro (VI a.C. - III d.C.) - età del bronzo - eneolitico - mesolitico - paleolitico generico - primo paleolitico inferiore - secondo paleolitico inferiore - terzo paleolitico inferiore - paleolitico medio - paleolitico superiore
Stato fisico	<ul style="list-style-type: none"> - fluitato - non fluitato
Giacitura	<ul style="list-style-type: none"> - affiorante - sepolto
Quota generica	Quota di rinvenimento del sito/reperto sepolto, rispetto al piano topografico attuale
Quota del piano di calpestio antico	Per siti/reperti sepolti, quota rispetto al piano topografico attuale (da usare in alternativa al campo precedente)
Affidabilità della giacitura	<ul style="list-style-type: none"> - alta (giacitura primaria) - bassa (giacitura secondaria)
Affidabilità dell'ubicazione	<ul style="list-style-type: none"> - alta (esiste una documentazione sul sito con misure) - bassa (sito identificato tramite nome di località o toponimo, oppure esiste una documentazione sul sito senza misure)

Nonostante la distribuzione non omogenea sul territorio dei punti, le datazioni dei siti hanno contribuito all'identificazione del limite inferiore dell'Unità di Modena permettendone la sua interpretazione nell'intero Foglio.

Dall'analisi dei dati viene confermata la giacitura affiorante dei siti di età medievale, mentre tutti gli altri, di età compresa tra il Tardo Antico ed il Romano, sono sepolti a profondità variabili tra 2 e 7 metri (mediamente 4,6 m).

Età del sito/rinvenimento	Numero di siti/reperti nel Foglio Ravenna
medievale (X-XV sec.)	3
tardo antico - alto medioevo (IV-IX sec.)	10
romano - tardo antico generico (II a.C. - VI d.C.)	8
romano (II a.C. - III d.C.)	23
Totale	44

TAB. 12 - Distribuzione per età dei siti/rinvenimenti disponibili nel Foglio Ravenna.



Fig. 42 - Localizzazione geografica dei siti nel Foglio Ravenna suddivisi per età (in rosso: Romano, in azzurro: Tardo Antico, in verde: Tardo Antico/Alto Medio Evo, in nero: Medio Evo).

3. - BANCA DATI DEI SUOLI (a cura di P. Tarocco)

La Banca Dati dei Suoli della Regione Emilia-Romagna contiene una notevole mole di dati che si è andata costruendo a partire dal 1976 (anni dei primi rilievi pedologici). I dati presenti sono stati quasi tutti rilevati per conto del Servizio Sistemi Informativi Geografici – Ufficio Pedologico, con finanziamenti regionali e provinciali; in minima parte sono stati ottenuti tramite convenzioni con enti di ricerca.

E' configurata come un sistema informativo territoriale, in quanto mette in relazione fra di loro numerosi archivi, sia di tipo alfanumerico sia di tipo geografico.

Gli ARCHIVI ⁽¹⁾ principali che costituiscono la base dati essenziale ai fini della costruzione delle carte dei suoli e delle carte derivate che da queste si possono creare, oltre che permettere delle analisi di tipo interpretativo sulle qualità dei suoli, sono:

Unità Tipologiche di Suolo (U.T.S.)

Il suolo è un corpo naturale, tridimensionale, posto sulla superficie terrestre, capace di supportare la vita vegetale. Le sue proprietà derivano dall'azione, nel tempo, del clima e degli organismi viventi sulla roccia madre e sono condizionate dalla morfologia. I suoli di conseguenza variano nello spazio quando uno o più fattori che contribuiscono a formare un suolo cambiano. Questo permette di poter riconoscere diversi *Tipi di Suolo* e di classificarli. La classificazione utilizzata è la Soil Taxonomy e i tipi di suolo sono descritti fino al rango di fasi di serie. Ogni u.t.s. è caratterizzata da un'originale combinazione di un set di caratteri, espressi in range, che la individuano in modo univoco e la differenziano da altri tipi di suolo.

Per la parte di pianura è disponibile un catalogo dei principali suoli (117 tipologie descritte), consultabile dal pubblico su Internet.

Delineazioni Pedologiche

Ogni delineazione è la rappresentazione grafica dell'estensione areale di una o più unità tipologiche di suolo rilevate in campo, dove la presenza del suolo si esprime in percentuale (%). Le delineazioni pedologiche sono fisicamente rappresentate e univocamente identificate sulle carte dei suoli. Le delineazioni con modello suolo-paesaggio simili sono raggruppate per **unità cartografiche**. L'archivio contiene, oltre alle coperture geometriche di archi e poligoni, i caratteri collegati che sono essenzialmente di tipo descrittivo.

Nella carta dei suoli di pianura in scala 1:50.000 (edizione 1999) sono descritte più di **900** delineazioni, che sono consultabili dal pubblico su Internet.

⁽¹⁾ Con il termine ARCHIVIO si intende un insieme logico di tabelle, accomunate per far capo tutte ad una entità gerarchica superiore (es. "osservazione", "unità cartografica").

Osservazioni archiviabili

Per osservazioni s'intendono i *punti di campionamento* che vengono eseguiti in campagna. Sono profili o trivellate di profondità variabile da 100 a 400 cm (mediamente 100 cm per le trivellate e 150 cm per i profili). Ad ogni osservazione corrispondono n strati detti *orizzonti*. Collegate agli orizzonti vi sono diverse tabelle di analisi, secondo il tipo di determinazioni analitiche: chimiche, fisiche, mineralogiche, micromorfologiche. L'archivio contiene le *topologie geometriche* dei punti in cover ARC/INFO e gli *attributi di database* descrittivi del sito in cui è stato eseguita l'osservazione e degli orizzonti.

L'80% delle osservazioni sono ricollegate, a diversi livelli, ad un'unità tipologica di suolo. Le osservazioni archiviate sono più di **16.000**, di cui l'87% in pianura e il 13% in Appennino. Tutti i punti sono georeferenziati e digitalizzati. Allo stato attuale non sono ancora disponibili le procedure e le risorse umane per la validazione del dato puntuale ai fini di una divulgazione al pubblico di tipo standardizzato.

Aziende sperimentali

Vi sono archiviati i dati relativi ad aziende in cui si eseguono prove agronomiche, ossia aziende agricole che riservano parte della propria superficie alla sperimentazione agronomica (es. aziende delle Università, degli Istituti Sperimentali del MiPAF-Ministero Politiche Agricole Forestali, di consorzi di produttori, etc) e che sono caratterizzate da suoli caposaldo particolarmente rappresentativi. Questo permette di estendere i risultati delle sperimentazioni a ben più ampie superfici. Sono per lo più misure fisico-idrologiche eseguite in parcelle sperimentali, rilievi della profondità della falda, risultati di prove agronomiche. Ogni azienda è georeferenziata, così come le parcelle sperimentali ad esse afferenti.

Allo stato attuale non sono ancora disponibili le procedure e le risorse umane per la validazione del dato puntuale ai fini di una divulgazione al pubblico di tipo standardizzato.

Falde superficiali (dati piezometrici)

Vi sono archiviate misure pluriennali riferite a gruppi di piezometri e/o freatimetri (batterie). Questi strumenti servono per misurare le oscillazioni del livello della falda freatica ipodermica, ossia della falda che interessa gli strati dei 2-3 metri sommitali del suolo. Questo tipo d'indagine viene eseguito per valutazioni sul drenaggio/disponibilità di ossigeno dei suoli, per studiare la sensibilità delle aree a potenziali inquinanti e anche per lo studio delle qualità delle acque sotterranee. Le batterie di piezometri sono georeferenziate.

Allo stato attuale non sono ancora disponibili le procedure e le risorse umane per la validazione del dato puntuale ai fini di una divulgazione al pubblico di tipo standardizzato.

Nel triennio 1996-1999, con fondi S.I.N.A. (Sistema Informativo Nazionale Ambientale), è stata completamente rivista la struttura della Banca Dati dei Suoli. Al progetto hanno partecipato, oltre la Regione Emilia-Romagna nel ruolo di coordinamento, Lombardia Informatica S.p.A., il Dipartimento di Elettronica e Informatica del Politecnico di Milano, l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo (Firenze), l'Ufficio Suolo dell'I.P.L.A.(Torino), il Centro di studio per la Genesi, Classificazione e Cartografia del Suolo del C.N.R. (Firenze), la Regione Veneto, l'E.R.S.A. Friuli e l'European Soil Bureau (Ispra).

L'obiettivo del lavoro è stato quello di creare una banca dati informatica dei dati pedologici compatibile con le seguenti esigenze prioritarie:

- essere coerente con lo stato delle conoscenze nel settore a livello nazionale ed europeo;
- raccogliere dati provenienti dai rilevamenti pedologici in scala di semidettaglio (1:50.000);
- gestire i dati in modo coerente sia dal punto di vista delle informazioni geografiche che quelle alfanumeriche;
- produrre informazioni in formato utilizzabile dai modelli per la stima delle qualità dei suoli che influenzino la gestione delle aree sensibili al rischio d'inquinamento delle falde
- essere in grado di colloquiare e scambiare dati con il database della carta dei suoli d'Europa in scala 1:250.000.

Il risultato di questo lavoro è stato la definizione del modello concettuale e della struttura fisica dei dati, realizzata in un prototipo di Banca Dati che sarà preso come base per la futura ingegnerizzazione. Nella Banca Dati ingegnerizzata è prevista anche la gestione di dati non direttamente rilevati dal Servizio Sistemi Informativi Geografici, come i **punti di analisi dei terreni**, a cura del Servizio Sviluppo Sistema Agro-Alimentare della Regione Emilia-Romagna, in quanto parte integrante delle informazioni sui suoli in regione. Essi sono relativi sia al primo strato di terreno 0-50 cm di profondità sia a strati di livello inferiore; questo soprattutto nelle aree a più intensa vocazione frutticola. I punti (oltre **50.000**) sono tutti georeferenziati e sono tutti provvisti di analisi chimico-fisiche routinarie; alcuni di questi anche di analisi chimiche extraroutinarie.

3.1 - BANCA DATI DEI SUOLI NEL FOGLIO RAVENNA

In questo foglio la Banca Dati dei Suoli è provvista di **682** osservazioni archiviabili (4% delle osservazioni totali disponibili), di cui 71 profili e 611 trivellate (Fig. 43); 41 profili (58%) e 127 trivellate (19%) sono corredati di analisi chimico-fisico routinarie, 35 profili (49%) e 49 (7%) trivellate possiedono anche analisi chimiche extraroutine (conducibilità elettrica per la salinità).

Tutti i dati presenti sono dotati di stime di campagna relative a caratteri stazionali (pendenze, quote, ambienti geomorfologici, uso del suolo, caratteristiche di drenaggio) e ai caratteri dei singoli orizzonti come tessiture (percentuali relative di sabbia, limo, argilla), contenuto in calcare, pH, colori e altre figure pedogenetiche. La profondità media dei rilievi è di 100-150 cm, con un numero di orizzonti variabili da 2 a 8, mediamente 3-4. Le analisi chimico-fisico routinarie, relative a campioni presi per singoli orizzonti, riguardano tessiture (percentuali relative

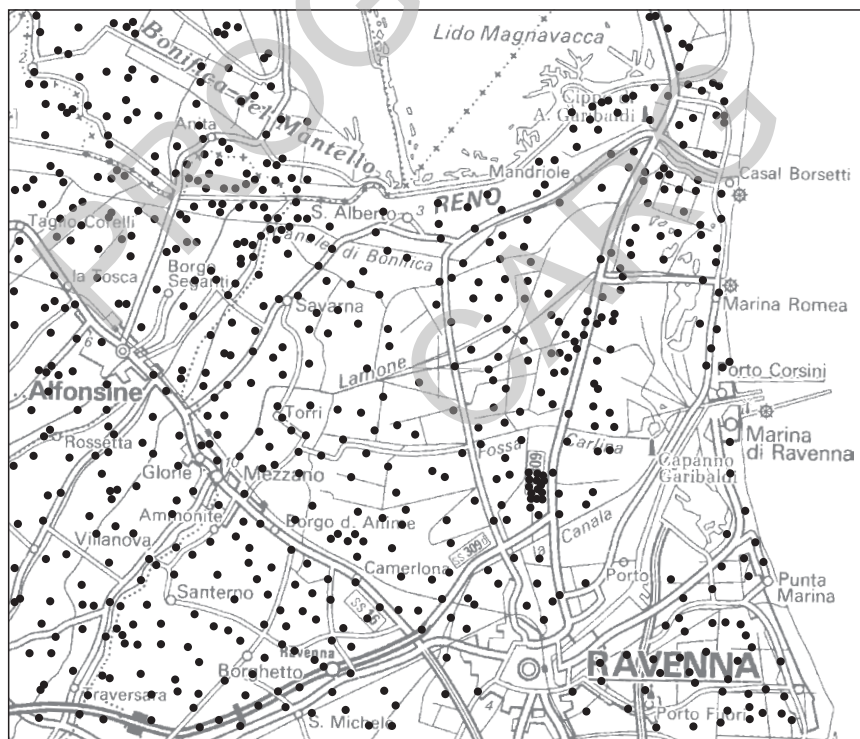


Fig. 43 - Localizzazione delle osservazioni pedologiche archiviabili nel Foglio 223.

di sabbia, limo, argilla), calcare totale, calcare attivo, pH in acqua, sostanza organica e talora capacità di scambio cationico.

Le osservazioni di campagna sono state eseguite per il 91% dei casi ai fini della carta dei suoli 1:50.000: i rilievi vanno dal 1985 al 1998; i restanti punti si riferiscono a rilevamenti speciali per caratterizzare alcune aree ristrette (carta dei suoli dell'azienda sperimentale "Marani", pineta di San Vitale).

Nel foglio sono mappate **60** delineazioni (il livello informativo è per la scala 1:50.000), raggruppate in **27** unità cartografiche, che rappresentano la distribuzione di **36** unità tipologiche di suolo.

522 osservazioni (76%) sono ricollegate ad unità tipologiche di suolo, con riferimento al Catalogo Regionale dei Suoli della pianura emiliano-romagnola (correlazione 1998).

PROGETTO
CARG

PROGETTO
CARG

APPENDICE 2

MICROPALEONTOLOGIA

(a cura di M.L. Colalongo, G. Pasini, S.C. Vaiani)

1. - INTRODUZIONE

Nella presente appendice sono sintetizzati dati micropaleontologici desunti dall'esame di associazioni a foraminiferi e ostracodi presenti nei sondaggi del Foglio 223 (562 campioni). La distribuzione di foraminiferi e ostracodi ha permesso di riconoscere diverse associazioni o biofacies che forniscono precise indicazioni paleoambientali e indirettamente interpretazioni cronologiche. Le biofacies sono indicate col nome di selezionati *generi chiave* o *specie chiave*. Sono inoltre riportate per ogni biofacies le *specie frequenti* e quelle *localmente presenti*, queste ultime possono essere sensibilmente differenti passando da una zona ad un'altra, a causa della variabilità della loro distribuzione biogeografica, tuttavia risultano utili nel loro insieme per caratterizzare l'associazione.

Relativamente al solo intervallo olocenico, le biofacies sono inoltre distinte da lettere, secondo lo schema utilizzato da AMOROSI *et alii* (1999b); minori variazioni entro queste associazioni sono localmente rinvenibili dalle Tabelle 13 e 14.

2. - ASSOCIAZIONI A FORAMINIFERI BENTONICI

Specie chiave: *Ammonia tepida* Cushman

Specie frequenti: *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny), *Elphidium granosum granosum* (d'Orbigny), *Nonion depressulum* (Walker & Jacob).

Specie localmente presenti: *Aubignina perlucida* (Her.-All. & Earl.), *Criboelphidium pauciloculum* (Cushman), *C. translucens* (Natland), *Elphidium depressulum* Cushman, *Pseudotriloculina oblonga* (Montagu), *Quinqueloculina stelligera* Schlumberger.

Questa associazione corrisponde anche alle biofacies A, F e G. L'associazione G si distingue per essere estremamente povera di specie e di individui ed è essenzialmente composta da *Ammonia tepida* Cushman e localmente da *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny).

Specie chiave *Ammonia beccarii* (Linnaeus), *Elphidium crispum* (Linnaeus).

Specie frequenti: *Ammonia tepida* Cushman, *Buccella granulata* (Di Napoli Alliata), *Elphidium granosum granosum* (d'Orbigny), *Pseudotriloculina rotunda* (d'Orbigny).

Questa associazione corrisponde anche alla biofacies B.

Specie chiave *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny), *Ammonia tepida* Cushman, *Criboelphidium* sp.

Specie frequenti: *Ammonia beccarii* (Linnaeus), *Criboelphidium pauciloculum* (Cushman), *C. semistriatum* (d'Orbigny), *C. translucens* (Natland), *Elphidium depressulum* Cushman.

Specie localmente presenti: *Aubignina perlucida* (Her.-All & Earl.), *Elphidium crispum* (Linnaeus), *E. macellum* (Fichtel & Moll), *Nonion depressulum* (Walker & Jacob), *Pseudotriloculina oblonga* (Montagu), *Quinqueloculina seminulum* (Linnaeus), *Q. stalker* Loeblich & Tappan, *Q. stelligera* Schlumberger, *Rosalina globularis* d'Orbigny, *Sigmoilina costata* Schlumberger, *Siphonaperta aspera* (d'Orbigny), *Spirillina vivipara* Ehreberg, *Spiroloculina ornata tricarinata* Le Calvez, J. & Y., *Textularia agglutinans* d'Orbigny, *Triloculina tricarinata* d'Orbigny, *T. trigonula* (Lamark).

Questa associazione corrisponde anche alla biofacies C.

Specie chiave: *Ammonia* spp., *Elphidium* spp., *Miliolidae*

Specie frequenti: *Adelosina duthiersi* Schlumberger, *A. elegans* (Williamson), *A. italica* (Terquem), *A. longirostra* (d'Orbigny), *A. mediterraneensis* Le Calvez, J. & Y., *A. pulchella* d'Orbigny, *Ammonia beccarii* (Linnaeus), *A. inflata*

(Seguenza), *A. papillosa* (d'Orbigny), *A. parkinsoniana* (d'Orbigny), *A. tepida* Cushman, *Criboelphidium decipiens* (Costa), *C. semistriatum* (d'Orbigny), *C. translucens* (Natland), *Elphidium crispum* (Linnaeus), *E. granosum granosum* (d'Orbigny), *E. macellum* (Fichtel & Moll), *Miliolinella elongata* Kruit, *Nonionella turgida* (Williamson), *Pseudotriloculina oblonga* (Montagu), *P. rotunda* (d'Orbigny), *Quinqueloculina oblonga* (Montagu), *Q. padana* Perconig, *Q. parvula* Schlumberger, *Q. seminulum* (Linnaeus), *Q. stelligera* Schlumberger, *Rosalina globularis* d'Orbigny, *Siphonaperta aspera* (d'Orbigny), *Textularia agglutinans* d'Orbigny, *Triloculina trigonula* (Lamarck).

Specie localmente presenti: *Asterigerinata mamilla* (Williamson), *Aubignina perlucida* (Her.-All & Earl.), *Buccella frigida* (Cushman), *B. granulata* (Di Napoli Alliata), *Criboelphidium pauciloculum*, (Cushman), *Cyclophorina contorta* (d'Orbigny), *Elphidium depressulum* Cushman, *E. granosum lidoense* Cushman, *Lachlanella undulata* (d'Orbigny), *Lagena laevis* (Montagu), *L. semistriata* Williamson, *L. striata* (d'Orbigny), *Nonion depressulum* (Walker & Jacob), *Ophthalmidium acutimargo* (Brady), *O. concavum* (Wiesner), *Quinqueloculina berthelotiana* d'Orbigny, *Q. lata* Terquem, *Q. limbata* d'Orbigny, *Q. stalkeri* Loeblich & Tappan, *Q. villafranca* Le Calvez, J. & Y., *Q. vulgaris* d'Orbigny, *Sigmoilinita costata* (Schlumberger), *S. tenuis* (Czizek), *Spirillina vivipara* Ehremerg, *Spiroloculina ornata tricarinata* Le Calvez, J. & Y., *Triloculina gibba* d'Orbigny, *T. schreiberiana* d'Orbigny, *T. tricarinata* d'Orbigny.

Questa associazione corrisponde anche alle biofacies D ed E. La biofacies E presenta un numero di specie e di individui sensibilmente inferiore rispetto alla biofacies D e sono inoltre presenti elevate percentuali di forme rimaneggiate per età e ambiente.

Specie chiave: *Miliolidae* spp., *Textularia* spp.

Specie frequenti: *Adelosina cliarensis* (Her.-All & Earl.), *A. duthiersi* Schlumberger, *A. elegans* (Williamson), *A. italica* (Terquem), *A. longirostra* (d'Orbigny), *A. mediterraneensis* Le Calvez, J. & Y., *A. partschi* (d'Orbigny), *A. pulchella* d'Orbigny, *Ammonia tepida* Cushman, *Bulimina elegans* (d'Orbigny), *B. elongata* (d'Orbigny), *Criboelphidium decipiens* (Costa), *C. pauciloculum*, (Cushman), *C. semistriatum* (d'Orbigny), *C. translucens* (Natland), *Elphidium crispum* (Linnaeus), *E. granosum granosum* (d'Orbigny), *E. macellum* (Fichtel & Moll), *Miliolinella dilatata* (d'Orbigny), *M. elongata* Kruit, *Nonionella turgida* (Williamson), *Nonion depressulum* (Walker & Jacob), *Quinqueloculina oblonga* (Montagu), *Q. padana* Perconig, *Q. parvula* Schlumberger, *Q. seminulum* (Linnaeus), *Q. stelligera* Schlumberger, *Textularia agglutinans* d'Orbigny, *T.*

bocki Höglund; *T. candei* d'Orbigny, *T. conica* d'Orbigny, *T. sagittula* Defrance, *Triloculina tricarinata* d'Orbigny, *T. trigonula* (Lamark).
 Specie localmente presenti: *Ammonia beccarii* (Linnaeus), *A. inflata* (Seguenza), *A. papillosa* (d'Orbigny), *Asterigerinata mamilla* (Williamson), *Buccella granulata* (Di Napoli Alliata), *Bolivina punctata* (d'Orbigny), *B. striatula* Cushman, *Lagena clavata* (d'Orbigny), *L. laevis* (Montagu), *L. semistriata* Williamson, *L. striata* (d'Orbigny), *Pseudotriloculina rotunda* (d'Orbigny), *Valvulineria complanata* (d'Orbigny).
 Questa biofacies si rinviene nel solo intervallo pleistocenico.

3. - ASSOCIAZIONI AD OSTRACODI

Specie chiave: *Candona neglecta* Sars, *Ilyocypris gibba* (Ramdohr)
 Specie frequenti: *Candona albicans* Brady, *C. angulata* G.W. Muller, *C. candida* (O.F. Muller), *C. compressa* (Koch), *Candona* aff. *C. fragilis* (Hartwig), *C. parallela* G.W. Muller, *Candona* spp, *Cycloocypris laevis* (O.F. Muller), *C. ovum* (Jurine), *Cypria ophthalmica* (Jurine), *Cypridopsis vidua* (O.F. Muller), *Cytherissa lacustris* (Sars), *Herpetocypris reptans* (Baird), *Ilyocypris bradyi* Sars, *Ilyocypris* aff. *I. monstifica* (Norman), *Ilyocypris* spp., *Limnocythere inopinata* (Baird), *Pseudocandona sarsi* (Hartwig), *Pseudocandona* aff. *P. sucki*.

Questa associazione corrisponde anche alle biofacies M e P. La biofacies P è molto povera di specie ed è per lo più composta da valve immature.

Specie chiave: *Cyprideis torosa* (Jones).

Specie frequenti: *Leptocythere lagunae* G. Hartmann, *L. rara* (G.W. Muller), *Loxoconcha elliptica* Brady, *L. stellifera* (G.W. Muller).

Questa associazione corrisponde anche alle biofacies N, U e T.

Specie chiave: *Pontocythere turbida* (G.W. Muller).

Specie frequenti: *Callistocythere adriatica* Masoli, *Leptocythere bacescoi* (Rome), *Leptocythere* cf. *L. multipunctata multipunctata* (Seguenza), *Loxoconcha rubritincta* Ruggieri, *Semicytherura costata* (G.W. Muller), *Xestoleberis communis* G.W. Muller.

Questa associazione corrisponde anche alle biofacies O e S. La biofacies S presenta un numero di specie e di individui inferiore rispetto alla biofacies O.

Specie chiave: *Pontocythere turbida* (G.W. Muller), *Loxoconcha turbida* G.W. Muller

Specie frequenti: *Callistocythere adriatica* Masoli, *Cytheretta adriatica* Ruggieri, *Cytheridea neapolitana* Collmann, *Leptocythere bacescoi* (Rome), *L. levis* (G.W. Muller), *Leptocythere* cf. *L. multipunctata multipunctata* (Seguenza), *L. rara* (G.W. Muller), *Loxoconcha elliptica* Brady, *L. rhomboidea* (Fisher), *L. rubritincta* Ruggieri, *L. stellifera* (G.W. Muller), *Semicytherura costata* (G.W. Muller), *S. incongruens* (G.W. Muller), *S. striata* (Sars), *Xestoleberis communis* G.W. Muller, *Xestoleberis* cf. *X. dispar* G.W. Muller.

Questa associazione corrisponde anche alle biofacies Q e R. La biofacies Q è caratterizzata da un numero di specie e di individui leggermente inferiore rispetto alla biofacies R e presenta localmente esemplari di *Cyprideis torosa* (Jones).

Specie chiave: *Carinocythereis carinata* (Roemer), *Cytheropteron monoceros* Bonaduce Ciampo & Masoli

Specie frequenti: *Cytheretta adriatica* Ruggieri, *Cytheridea neapolitana* Collmann, *Loxoconcha tumida* Brady, *L. turbida* G.W. Muller, *Xestoleberis communis* G.W. Muller.

Questa biofacies si rinviene nel solo intervallo pleistocenico.

4. - OSSERVAZIONI

Le associazioni microfaunistiche precedentemente descritte permettono di distinguere depositi di ambiente continentale, lagunare e marino marginale. In particolare la biofacies a *Candona neglecta* e *Ilyocypris gibba*, composta esclusivamente da ostracodi ipoalini, è ritenuta indicativa di depositi continentali, palustri o di subdelta, lontani da afflussi di acqua marina.

Moderate influenze marine sono invece documentate dalla biofacies a foraminiferi dominata da *Ammonia tepida* a cui si associano ostracofaune a *Cyprideis torosa*. Le associazioni a ostracodi evidenziano inoltre, accanto a una dominanza di forme salmastre come *Cyprideis torosa* e *Leptocythere lagunae*, la presenza di specie marino marginali che si adattano a condizioni più stressanti. Queste biofacies indicano condizioni ambientali legate a sottosalinità delle acque entro un ambiente lagunare sbarrato o di palude salmastra.

Le biofacies ad *Ammonia beccarii*, *Elphidium crispum* e a *Pontocythere turbida* sono poco diversificate e composte da un basso numero di specie tipicamente marine. Queste associazioni altamente specializzate, in questo particolare caso si rinvencono in un ambiente di retrobarriera; concentrazioni localmente elevate di *Ammonia tepida* possono indicare scambi rilevanti fra ambiente lagunare ed ambiente marino.

Le biofacies ad *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Criboelphidium* sp. e a *Pontocythere turbida*, *Loxoconcha turbida* sono composte da un numero relativamente modesto di specie marine e sono tipiche di ambiente litorale ad elevata energia (ad esempio sabbie trasgressive di barriera litorale), la locale presenza di esemplari di *Cyprideis torosa* suggerisce possibili fasi di moderata sottosalinità. Un sensibile aumento nel numero di specie e di individui si registra nell'associazione ad *Ammonia* spp., *Elphidium* spp., *Miliolidae*, questo riflette condizioni meno stressanti, legate probabilmente ad una maggiore profondità dell'acqua e ad una relativa minore influenza di afflussi fluviali. La moderata concentrazione di forme epifite indica la presenza di diffuse coperture vegetali. Questa biofacies, indicata nell'intervallo olocenico con la lettera D (associata all'ostracofauna R) è legata alla massima ingressione marina olocenica, corrispondente alla fase di optimum climatico.

La biofacies ad *Ammonia* spp., *Elphidium* spp., *Miliolidae* è localmente composta da un numero relativamente scarso di specie marine ed è associata all'ostracofauna a *Pontocythere turbida*. In questi casi la microfauna appare dispersa entro il sedimento e si evidenziano elevate concentrazioni di forme rimaneggiate. Questi elementi sono considerati caratteristici di un ambiente litorale ad altissima energia.

Le biofacies *Miliolidae* spp., *Textularia* spp. e *Carinocythereis carinata* *Cytheropteron monoceros* indicano depositi infralitorali leggermente più profondi di quelli precedentemente descritti e si rinvencono nel Tirreniano.

APPENDICE 3

PALINOLOGIA ED EVOLUZIONE DELLA FLORA, DELLA VEGETAZIONE E DEL CLIMA NEL SONDAGGIO S17

(a cura di F. Fusco)

1. - INTRODUZIONE

Il sondaggio S17 sito in loc. Mandriole (RA) è stato studiato dal punto di vista pollinico (Fig. 20) per mettere in luce l'evoluzione paleofloristica, paleovegetazionale e paleoclimatica nel settore sud-orientale della Pianura Padana. Quest'indagine palinologica si integra in un'ampia ricerca multidisciplinare di tipo sedimentologico e micropaleontologico volta a studiare il controllo glacio-eustatico nella ciclicità dei depositi tardo-quadernari padani (AMOROSI *et alii*, 1999c). Per la sua maggiore profondità e per la sua posizione, il sondaggio S17 è stato scelto anche col fine importante di creare il primo lungo *master record* pollinico di riferimento per quel settore geografico. Su di esso sono state eseguite 65 analisi polliniche i cui risultati sono descritti di seguito.

2. - MATERIALI E METODI

Per ogni campione sono stati prelevati 10 gr in peso secco di argille e argille

siltose e preparati secondo il metodo convenzionale (cf. FAEGRI & IVERSEN, 1992; MOORE *et alii*, 1992), aggiungendo all'inizio del trattamento una pasticca di spore *marker* di *Lycopodium* sp. per il calcolo delle concentrazioni polliniche (STOCKMARR, 1971). Per arricchire il contenuto pollinico dei residui è stato usato il $ZnCl_2$ liquido a densità 2,05 gr/cm³.

Circa 400 granuli pollinici sono stati riconosciuti e contati in media per campione. I dati percentuali sono stati rappresentati graficamente attraverso il diagramma pollinico sintetico (o per gruppi), il diagramma delle igro-idrofite e quello delle concentrazioni polliniche. Quest'ultimo si basa su tutti i granuli pollinici contati, mentre nel diagramma sintetico sono inclusi tutti i *taxa* ad eccezione delle igro-idrofite (t. *Sparganium*, *Typha*, *Potamogeton*, *Nymphaea*, *Myriophyllum*, *Alisma* e *Cyperaceae*) e dei granuli indeterminati. Nel diagramma sintetico, inoltre, i *taxa* sono stati raggruppati considerando le affinità ecologiche, climatiche ed ambientali dei loro corrispondenti attuali. Di conseguenza, le piante arboree (AP) sono state suddivise nei seguenti gruppi: **AP1**, rappresentato da latifoglie decidue relativamente termofile (di cui *Quercus* è l'elemento principale) di pianura, collinari e sub-montane; **AP2**, composto invece da elementi montani (*Fagus*, *Abies* e *Picea*); **gruppo dell'Alnus**, costituito da *Alnus*, *Salix* e *Populus*, elementi legati ad ambienti ripariali e a condizioni edafiche locali; e **Pinus**, rappresentato a parte per le sue ampie esigenze ecologiche e per il diverso significato che può assumere la sua abbondanza. Gli elementi non-arborei (NAP) sono stati suddivisi in: **NAP1**, composto da tutti gli elementi caratterizzati da scarse peculiarità ecologico-climatiche; **Poaceae** (= *Graminaceae*), la cui abbondanza può essere indicativa di ambienti acquatici limitrofi; e **NAP2**, composto da *taxa* arbustivi ed erbacei di ambienti aridi (anche salmastri) ed aperti (*Artemisia*, *Ephedra*, cf. *Cupressaceae*, *Chenopodiaceae*, *Hippophae* ed *Armeria*).

Questa suddivisione in gruppi serve a mettere in evidenza non solo l'influenza paleoclimatica nella determinazione degli assetti vegetazionali, ma anche a far risaltare l'eventuale influenza paleoambientale, in una carota come quella del sondaggio S17 caratterizzata da un'ampia variabilità litologica.

3. - RISULTATI

Lo studio pollinico ha messo in evidenza una lista paleofloristica varia e ricca di elementi, costituita da circa novanta morfotipi diversi, riferibili a 33 *taxa* arborei e 49 non-arborei.

Il diagramma sintetico mostra una successione di associazioni polliniche caratterizzata da un'alternanza ciclica chiara e spiccata di fasi dominate da foreste

(composte da AP1 e AP2) attribuibili ad interglaciali ed interstadiali, e fasi con vegetazione scarsa prevalentemente rappresentata da pini, piante erbacee ed arbustive, riferibili a fasi glaciali e stadiali.

Si distinguono molto bene tre fasi forestate principali, situate nella parte superiore, nella parte centrale ed in quella inferiore del diagramma. A queste fasi corrispondono le concentrazioni polliniche maggiori, che testimoniano l'esistenza di un ricoprimento vegetazionale più o meno denso.

Là dove le fasi forestate appaiono maggiormente rappresentate nella loro interezza, si può evidenziare una dinamica evolutiva della vegetazione che inizia con l'espansione della compagine più termofila (AP1) e che si conclude con la sua sostituzione da parte della compagine legata a climi più temperato-freschi ed umidi (AP2). Questa dinamica degli assetti arborei si evidenzia bene nella fase forestata centrale caratterizzata dalla successione di tre espansioni arboree, intervallate da associazioni polliniche nettamente diverse o scarse. Nella prima di queste, in ordine stratigrafico, si nota, infatti, dapprima l'espansione marcata delle AP1, che raggiungono gradualmente con oltre l'85% i valori più alti in tutto il diagramma (e con *Pinus* che regredisce parallelamente), e successivamente l'espansione delle AP2. Questa oscillazione rappresenta l'intervallo più termofilo di tutto il diagramma, con la culminazione massima delle AP.

La dinamica vegetazionale dei domini arborei, seppure in modo meno marcato, si osserva analogamente anche nella fase forestata inferiore, dove si ripete per circa due volte, mentre la fase forestata superiore appare caratterizzata sempre da una larga dominanza delle AP1.

I glaciali e gli stadiali si frappongono alle fasi forestate, ma al contrario di queste presentano una monotonia nella composizione della vegetazione, quando i loro livelli non risultano sterili. Come su accennato, essi sono caratterizzati da una vegetazione composta essenzialmente da pini e da poche piante erbacee ed arbustive. Talvolta compaiono associazioni polliniche più varie con piante arboree (soprattutto AP2), ma sempre in percentuali subordinate, da attribuirsi ad oscillazioni climatiche più favorevoli, che a causa della loro breve durata non producono alcuna dinamica vegetazionale rilevante. Le concentrazioni polliniche, inoltre, sempre molto basse, indicano un ricoprimento della vegetazione relativamente scarso.

Le tre fasi forestate principali del diagramma, superiore, centrale ed inferiore, sono state attribuite rispettivamente agli stadi isotopici dell'Ossigeno 1 (Olocene), 5 e 7 (AMOROSI *et alii*, 1999c); in particolare, le tre espansioni che caratterizzano la fase forestata centrale e che formano una caratteristica sequenza osservabile anche in tutti i più lunghi *record* pollinici europei (v. TZEDAKIS *et alii*, 1997), possono essere riferiti ai sottostadi 5a, 5c e 5e (5e=Eemiano). I glaciali e gli stadiali agli stadi 3, 4, 5b, 5d, 6 e 7b. La successione copre quindi gli ultimi 220.000 anni

circa. Coerentemente, infatti, in nessun campione sono stati rinvenuti elementi la cui presenza in ambito padano risulta tipica del Terziario più antico o registrata fino al Pleistocene inferiore (come ad es.: *Taxodiaceae*, *Carya*, *Tsuga*, *Engelhardtia*, *Eucommia* ed altri; cf. BERTOLDI, 1995). Limitatamente alla porzione inferiore della successione, si registra inoltre la presenza di pochi granuli molto ben conservati di *Pterocarya*, ritrovata in quantità paragonabili in Italia centrale fino alla fase forestata Roma II (FOLLIERI *et alii*, 1988) la cui età stimata è di 187.000-195.000 BP (FOLLIERI *et alii*, 1989).

Oltre all'aspetto paleovegetazionale e paleoclimatico, infine, la successione è molto interessante anche dal punto di vista paleoambientale. Alcuni interstadiali (5a e 5c) sembrano aprirsi e chiudersi con un episodio palustre, individuato dai massimi valori percentuali delle igro-idrofite. Durante questi episodi si registrano anche concentrazioni polliniche elevate, dovute a condizioni di conservazione estremamente favorevoli, più che ad un relativo ricoprimento vegetazionale denso. Gli elementi ripariali (gruppo dell'*Alnus*) e le *Poaceae* assumono inoltre i valori medi più elevati durante gli interstadiali, e i valori medi minimi durante i glaciali e gli interglaciali. Poiché in aree deltizie gli ambienti palustri e ripariali occupano generalmente una posizione intermedia tra mare ed entroterra, si può pensare che il significato paleoambientale del comportamento di questi gruppi di piante in successioni come quella della S17 risieda nella dinamica migratoria degli ambienti al seguito delle oscillazioni paleoclimatiche del livello del mare.

APPENDICE 4

PETROGRAFIA DELLE UNITÀ SABBIOSE

(a cura di L. Marchesini., E. Spadafora, U. Cibin e G.G. Zuffa)

Sulla base della composizione principale e del contenuto in minerali pesanti è possibile riconoscere tre distinte petrofacies nei depositi sabbiosi litorali e fluviali di superficie e di sottosuolo del Foglio 223 (AP, AO e PO), ognuna riferibile ad una definita provenienza dei clasti: appenninica, mista alpino-orientale e padana, padana s.s. I principali indicatori petrografici che permettono questa distinzione sono: a) il contenuto di frammenti di dolomie nello scheletro e b) la quantità relativa di granato, pirosseni ed anfiboli fra i minerali accessori pesanti.

Il lavoro analitico è stato svolto su 32 campioni di sabbia di cui 14 sono relativi a depositi di superficie e 18 sono relativi a depositi di sottosuolo, campionati nei sondaggi S2, S4, S5 ed S8. Su tutti i campioni è stata eseguita l'analisi dei minerali pesanti e su 23 sono state effettuate analisi della composizione principale dello scheletro. Per una esposizione più dettagliata dei metodi e dei risultati analitici si rimanda a MARCHESINI *et alii* (1999). L'attribuzione delle diverse petrofacies a specifiche aree sorgenti del sedimento (provenienze) è stata basata, oltre che su considerazioni geologico-regionali, sul set di dati petrografici di letteratura relativi alle sabbie attuali dei fiumi e delle spiagge adriatiche illustrati in RIZZINI & VEGGIANI (1970), GAZZI *et alii* (1973) e GANDOLFI & PAGANELLI (1988).

Le principali caratteristiche delle tre petrofacies possono così essere riassunte (Tab. 15 e Fig. 44):

TAB. 15 - Valori medi delle principali classi petrografiche per ciascuna petrofacies.

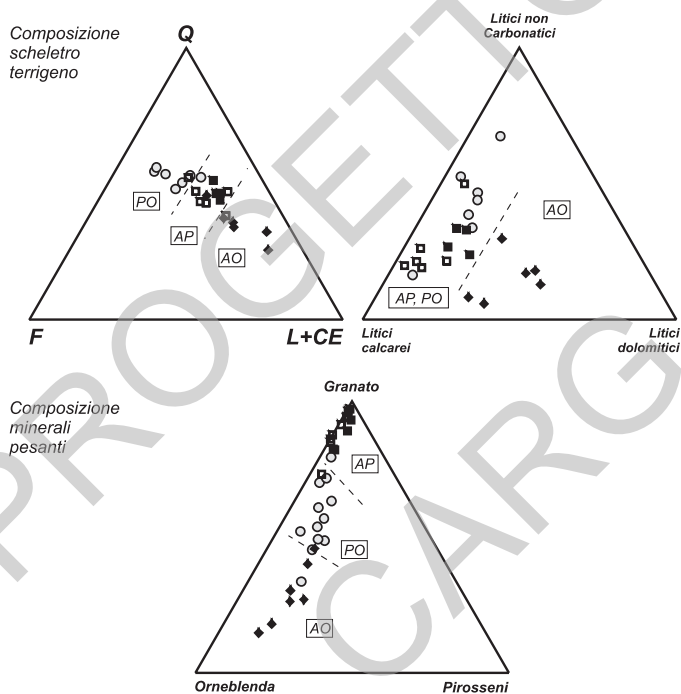
	Composizione principale						Minerali pesanti				
	Q	F	L+CE	Litici non carbonatici	Litici calcarei	Litici dolomitici	Orneblenda	Pirosseno	Granato	Epidoto	Altri
AP	45,6	18,8	35,6	9,7	21,8	3,9	6,5	1,2	60,3	19,0	13,0
AO	35,1	15,7	49,2	7,3	22,2	19,8	30,8	9,6	31,1	16,6	12,0
PO	52,4	27,2	20,4	7,9	10,1	2,5	19,2	6,5	27,8	35,6	10,9

Petrofacies "AP": Caratterizzata da composizioni modali litico-arcosiche con abbondanti clasti carbonatici extrabacinali di natura prevalentemente calcarea e calcareo marnosa, presenza di frammenti di rocce sedimentarie e minori quantità di frammenti di roccia metamorfici. Tra i minerali pesanti è molto abbondante il granato, sono scarsi l'anfibolo e l'epidoto ed è estremamente scarso, o assente, il pirosseno. Questa petrofacies contraddistingue le sabbie fluviali pleistoceniche, i cordoni litorali recenti (sec. XV-Presente) nei pressi di Punta Marina (SE del foglio) ed il cordone attuale lungo tutto l'areale del foglio. La petrofacies AP è considerata di derivazione da riciclo di formazioni sedimentarie affioranti nell'Appennino romagnolo, come indicano le marcate affinità con i sedimenti degli attuali fiumi appenninici (RIZZINI & VEGGIANI, 1970; GAZZI *et alii*, 1973).

Petrofacies "AO": Caratterizzata da composizioni litico-arcosiche o litarenitiche con abbondanti clasti dolomitici e carbonatici. Le associazioni dei minerali pesanti sono caratterizzate da alti quantitativi di orneblenda ed epidoto ed una significativa percentuale di pirosseno, uniti a quantità relativamente modeste di granato. Questa petrofacies caratterizza esclusivamente i depositi trasgressivi olocenici del sottosuolo ed i primi depositi regressivi. La petrofacies AO è interpretata come proveniente dalle Alpi orientali (provincia veneta in GAZZI *et alii*, 1973; GANDOLFI & PAGANELLI, 1988) con contributi di sedimento padano. I due tipi di detrito sarebbero stati mescolati da processi costieri.

Petrofacies "PO": Caratterizzata da composizione arcossico-litica ricca in quarzo, feldspati e frammenti di roccia plutonica. I frammenti litici a grana fine sono leggermente arricchiti in metamorfiti (scisti cloritici e muscovitici, ad epidoto

o a glaucofane), mentre le dolomie ed i calcari sono presenti in quantità molto minori. L'associazione dei minerali pesanti è caratterizzata da uguali proporzioni di epidoto, granato ed orneblenda con subordinati pirosseni rombici. Questa petrofacies è presente nei cordoni sabbiosi di spiaggia affioranti nel settore centrale del foglio (sec. VII-XVI) e nelle porzioni intermedie e sommitali degli intervalli regressivi attraversati dai sondaggi. La petrofacies PO è interpretata di provenienza padana legata al fiume Po (GAZZI *et alii*, 1973).



Subsistema di Ravenna	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cordoni litorali (HST - post XVI Sec.) ○ Cordoni litorali (HST) ◆ Barriera trasgressiva (TST) e cordoni litorali (base HST)
Sistema Emiliano-Romagnolo superiore	<ul style="list-style-type: none"> ■ Riempimenti di canale fluviale

Fig. 44 - Diagrammi triangolari relativi ai componenti principali ed ai parametri petrografici più significativi dei campioni di sabbia analizzati. Q = quarzo, F = feldspato, L+CE = frammenti litici a grana fine non carbonatici e carbonati extrabacinali; AP, AO e PO si riferiscono alle petrofacies discusse nel testo.

PROGETTO
CARG

APPENDICE 5**CARATTERISTICHE GEOCHIMICHE DEI SEDIMENTI**

(a cura di E. Dinelli)

1. MATERIALI E METODI

Le indagini geochimiche sono state effettuate su 29 campioni raccolti nei sondaggi S1 e S7 (v. Fig. 31). Sono stati campionati ed analizzati sedimenti a granulometria fine (limi argillosi, argille limose), corrispondenti a depositi di piana inondabile, retrobarriera, laguna e palude. La campionatura e l'analisi hanno incluso anche orizzonti arricchiti in materiale organico e livelli con concrezioni carbonatiche direttamente associate ai livelli organici. Il principale utilizzo dei dati geochimici, in questo contesto, riguarda la possibilità di caratterizzare diverse provenienze all'interno dei sedimenti fin altrimenti difficilmente valutabili. Sedimentazione in ambienti particolari o possibili rimobilizzazioni post-deposizionali possono modificare le distribuzioni di alcuni elementi, che è stato cura evitare di considerare come traccianti di provenienza.

La composizione chimica è stata determinata tramite spettrometria per fluorescenza a raggi X utilizzando i metodi di correzione degli effetti di matrice proposti da FRANZINI *et alii* (1972, 1975), LEONI & SAITTA (1976) e LEONI *et alii* (1982). Le analisi sono state svolte su materiale lavato con acqua deionizzata al fine di eliminare possibili residui di soluzioni salate. Il contenuto in sostanze volatili è stato determinato gravimetricamente dopo riscaldamento a 950°C.

2. FATTORI DI CONTROLLO GENERALI

I sedimenti risultano miscele, in proporzioni variabili, di silicati e carbonati, come testimoniato dall'andamento negativo dei punti nel diagramma CaO-Al₂O₃ (Fig. 45b). La buona correlazione osservata tra K₂O e Al₂O₃ (Fig. 45a) suggerisce una stretta associazione con la componente argillosa, così come per SiO₂, Fe₂O₃ e TiO₂, non riportati in figura. Anche MgO mostra una certa correlazione positiva con Al₂O₃ (Fig. 45c), il che suggerirebbe un suo legame con la componente argillosa del sedimento. Alcuni campioni del sondaggio S1 si scostano da questo tipo di andamento definendo una correlazione negativa per la presenza di dolomite nel sedimento (DINELLI & LUCCHINI, 1998).

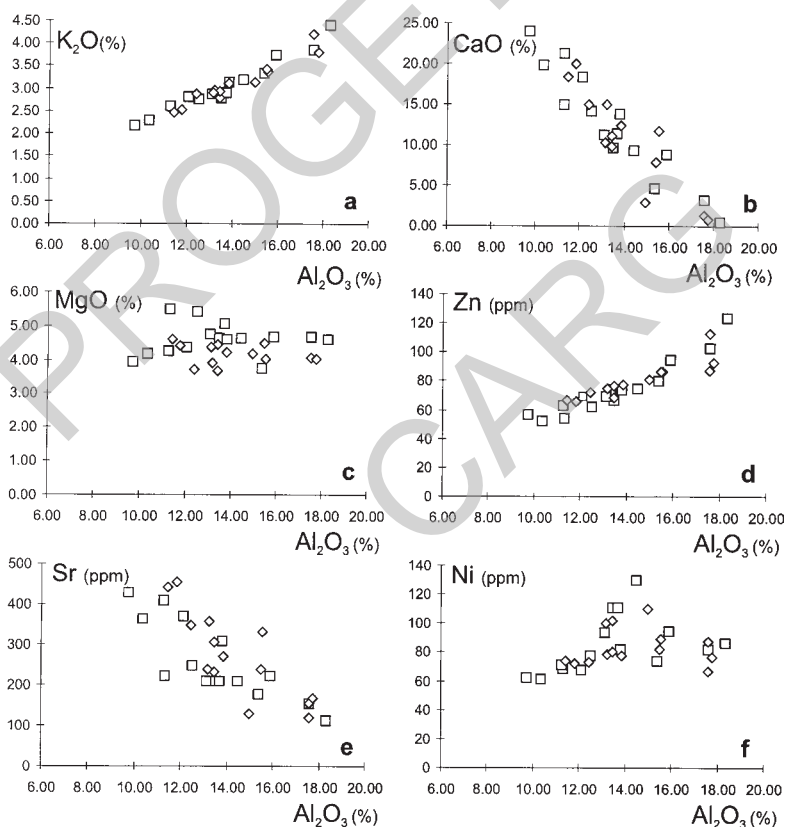


Fig. 45 - Diagrammi di correlazione tra Al₂O₃ e alcuni elementi maggiori. I quadrati per il sondaggio S1, i rombi per il sondaggio S7.

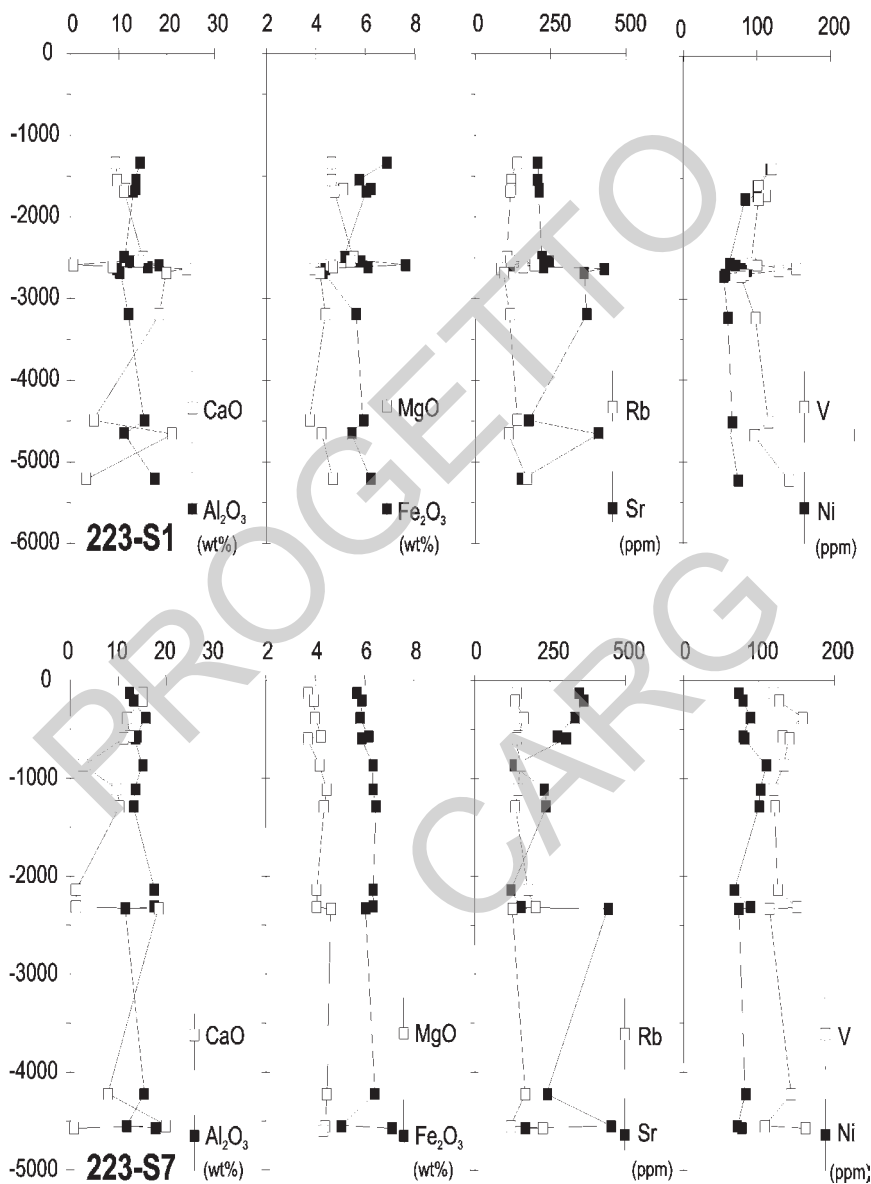


Fig. 46 - Variazione concentrazione/profondità per alcuni elementi selezionati nei sondaggi S1 e S7.

Buona parte degli elementi in traccia risulta associata alla componente fillosilicatica del sedimento: V, Cr, Ni, Zn, Co, Rb, Ba e Pb, mostrano in generale ottime correlazioni positive con Al_2O_3 (Zn in Fig. 45d). Lo Sr, sostituendo il calcio in tutti i minerali presenti, mostra correlazione negativa con Al_2O_3 (Fig. 45e). Alcuni elementi (Cr, Ni, Co), pur mantenendo una sostanziale correlazione positiva con Al_2O_3 (Fig. 45f), mostrano almeno due andamenti con diverso rapporto metallo / Al_2O_3 . Questa particolarità, come già riportato nel Cap. IV, § 4, è stata interpretata (cfr. DINELLI *et alii*, 1998; AMOROSI *et alii*, 1999d) come variazione nella provenienza del sedimento: gli alti valori dei metalli in questione starebbero ad indicare un aumento degli apporti di origine padana (DINELLI *et alii*, 1998, 1999). Questi elementi deriverebbero dallo smantellamento degli affioramenti di rocce mafiche ed ultramafiche affioranti nel bacino padano sia nelle Alpi Occidentali che nell'Appennino settentrionale.

3. VARIAZIONI CON LA PROFONDITÀ

I diagrammi concentrazione/profondità (Fig. 46) permettono di valutare differenze tra ambienti di sedimentazione diversi. Valori elevati di Cr, Ni e Co sono associati ai sedimenti marini olocenici in entrambi i sondaggi. Nel sondaggio S1 i tenori raggiunti sono particolarmente elevati (Ni in Fig. 46), anche se mancano informazioni sulla parte alta del sondaggio. Nel sondaggio S7 valori relativamente elevati si osservano nei sedimenti marini, mentre diminuiscono nei depositi di piana alluvionale della parte alta del sondaggio.

Il magnesio ha una distribuzione particolare (Fig. 46): alte concentrazioni nella porzione olocenica del sondaggio S1, assenza di variazioni significative nel sondaggio S7. Come già suggerito al § 2, CaO e Sr hanno comportamento e distribuzioni con la profondità coerenti ed opposte rispetto agli elementi associati alla componente silicatica (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Rb e V in Fig. 46). I valori più bassi di CaO marcano gli orizzonti arricchiti in materiale organico.

4. CONCLUSIONI

Le indagini geochimiche sui sedimenti fini di due sondaggi del Foglio 223 (S1 e S7) hanno permesso l'identificazione di importanti traccianti di provenienza del sedimento, integrando e confermando quanto ricavato dalla petrografia dei sedimenti sabbiosi (Cap. IV, § 4 e Appendice 4).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AHARON P. & CHAPPELL J. (1986) - *Oxygen isotopes, sea level changes and the temperature history of a coral reef environment in New Guinea over the last 10⁵ years*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **56**, 337-379.
- AMOROSI A. & FARINA M. (1995) - *Large-scale architecture of a thrust-related alluvial complex from subsurface data: the Quaternary succession of the Po Basin in the Bologna area (northern Italy)*. *Giornale di Geologia*, **57/1-2**, 3-16.
- AMOROSI A., FARINA M., SEVERI P., PRETI D., CAPORALE L. & DI DIO G. (1996) - *Genetically related alluvial deposits across active fault zones: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy*. *Sedimentary Geology*, **102**, 275-295.
- AMOROSI A., BARBIERI M., CASTORINA F., COLALONGO M.L., PASINI G. & VAIANI S.C. (1998a) - *Sedimentology, micropalaeontology, and strontium-isotope dating of a lower-middle Pleistocene marine succession ("Argille Azzurre") in the Romagna Apennines, northern Italy*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **117**, 789-806.
- AMOROSI A., CAPORALE L., CIBIN U., COLALONGO M.L., PASINI G., RICCI LUCCHI F., SEVERI P. & VAIANI S.C. (1998b) - *The Pleistocene littoral deposits (Imola Sands) of the northern Apennines foothills*. *Giornale di Geologia*, **60**, 83-118.
- AMOROSI A. & MARCHI N. (1999) - *High-resolution sequence stratigraphy from piezocone tests: an example from the Late Quaternary deposits of the SE Po Plain*. *Sedimentary Geology*, **128**, 69-83.
- AMOROSI A., DI DIO G. & RICCI LUCCHI F. (1999a) - *Sequence stratigraphy, stratal patterns and groundwater reservoirs of the southern Po Basin*. EAGE 61st Conference and Technical Exhibition, Helsinki, 7-11 June 1999, 540.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., PASINI G. & PRETI D. (1999b) - *Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy)*. *Sedimentology*, **46**, 99-121.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., FUSCO F., PASINI G. & FIORINI F. (1999c) - *Glacio-eustatic control of continental-shallow marine cyclicity from Late Quaternary deposits of the south-eastern Po Plain (Northern Italy)*. *Quaternary Research*, **52**, 1-13.
- AMOROSI A., CENTINEO M.C., DINELLI E., LUCCHINI F. & TATEO F. (1999d) - *Provenance changes across the Pleistocene - Holocene boundary in the south-eastern Po Plain*. Proceedings of the 5th International Symposium on Geochemistry of the Earth's Surface, Reykjavik, Iceland, 16-20 August 1999, 23-26.
- BALIGH M.M., AZZOUZ A.S., WISSA A.Z.E., MARTIN R.T. & MORRISON M.J. (1981) - *The piezocone penetrometer*. In: *Cone Penetration Testing and Experience*. Am. Soc. Civ. Eng., St. Louis, October 1981, 247-263.
- BARD E., HAMELIN B. & FAIRBANKS R.G. (1990) - *U-Th ages obtained by mass spectrometry in corals from Barbados: sea level during the past 130000 years*. *Nature*, **346**, 456-458.
- BASSETTI M.A. & SARTI G. (1997) - *Stratigraphy of terraced fluvial deposits of Conca River (northern Apennines, Italy)*. *Giornale di Geologia*, **59**, 81-90.
- BERRY K.M., OLSON S.M. & LAMIE M. (1998) - *Cone penetration testing in the Mid-Mississippi River Valley*. In: P.K. Robertson and P.W. Mayne (Editors) *Geotechnical Site Characterization*, Balkema, 983-987.
- BERTOLDI R. (1995) - *Palinostratigrafia dei bacini intermontani dell'Appennino nord-orientale*. *Il Quaternario*, **8**, 61-70.
- BLUM M.D. & VALASTRO S. JR. (1994) - *Late Quaternary sedimentation, Lower Colorado River, Gulf Coastal Plain of Texas*. *Geological Society of America Bulletin*, **106**, 1002-1016.
- BONDESAN M. & BUCCI V. (1972) - *Gli antichi cordoni litoranei del settore sud-occidentale delle Valli di Comacchio*. *Atti Acc. Sc. di Ferrara*, **48**, 1-48.
- BONDESAN M. (1985) - *Quadro schematico dell'evoluzione geomorfologica olocenica del territorio compreso fra Adria e Ravenna*. In: *Atti della Tavola Rotonda Il Delta del Po*, 24 novembre, 1982, Bologna. *Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna*. 21-36.
- BONDESAN M. (1986) - *Lineamenti di geomorfologia del basso ferrarese*. Estratto da: *La civiltà comacchiese e pomposiana dalle origini preistoriche al tardo Medioevo*. *Atti del Convegno nazionale di studi storici, Comacchio*, 1984. 17-28.
- BONDESAN M., FAVERO V. & VINALS M.J. (1995) - *New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene*. *Quat. Int.*, **29/30**, 105-110.
- BRAMBATI A. & VENZO G.A. (1967) - *Recent sedimentation in the Northern Adriatic Sea between Venice and Trieste*. *Studi Trentini Scienze Naturali*, **44**, 202-274.

- BRUNETTI A., DENÈFLE M., FONTUGNE M., HATTÉ C. & PIRAZZOLI P.A. (1998) - *Sea-level and subsidence data from a Late Holocene back-barrier lagoon (Valle Staudiana, Ravenna, Italy)*. Marine Geology, **150**, 29-37.
- CAMPANELLA R.G., GILLESPIE D. & ROBERTSON P.K. (1982) - *Pore pressures during cone penetration testing*. Proceedings, 2nd European Symposium on Penetration Testing, ESOPT II, 507-512.
- CAMPANELLA R.G. & ROBERTSON P.K. (1988) - *Current status of the piezocone test*. First International Conference on Penetration Testing, ISOPT - 1, Balkema, 93-116.
- CASTIGLIONI G.B., BONDESAN M. & ELMI C. (1990) - *Geomorphological mapping of the Po Plain (Italy), with an example in the area of Ravenna*. Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. **80**, 35-44.
- CATALANO R., BARTOLINI C., FABBRI A., LEMBO P., MARANI M., MARSELLA E., ROVERI M. & ULZEGA A. (1996) - *Norme generali delle linee guida di rilevamento geologico nelle aree marine da sottoporre al Servizio Geologico Italiano - Rapporto finale*. Commissione di studio per la cartografia geologica marina, 48 pp.
- CIABATTI M. (1966) - *Ricerche sull'evoluzione del Delta Padano*. Giornale di Geologia, **34-2**, 381-410.
- CIABATTI M. (1990) - *Geomorfologia ed evoluzione del Delta Padano*. In: *Il Mondo della Natura in Emilia-Romagna: la Pianura e la Costa*. Federazione Casse Risparmio e Banche del Monte dell'Emilia-Romagna, Milano, 57-76.
- COLANTONI P., GALLIGNANI P. & LENAZ R. (1979) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic continental shelf*. Marine Geology, **33**, 41-50.
- COLANTONI P., PRETI M. & VILLANI B. (1990) - *Sistema deposizionale e linea di riva olocenica sommersi in Adriatico e al largo di Ravenna*. Giornale di Geologia, **52**, 1-18.
- COLEMAN J.M. & WRIGHT L.D. (1975) - *Modern river deltas: variability of processes and sand bodies*. In: *Deltas, Models for Exploration* (Ed. by M.L. Broussard), Houston, Geol. Soc. Houston, 099-149.
- CORREGGIARI A., FIELD M.E. & TRINCARDI F. (1996a) - *Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf*. In: *Geology of Siliciclastic Shelf Seas* (Ed. by M. De Batist e P. Jacobs), Geol. Soc. Amer. Sp. Publ., **117**, 155-169.
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F. (1996b) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. Il Quaternario, **9**, 697-704.
- DALLA S., ROSSI M., ORLANDO M., VISENTIN C., GELATI R., GNACCOLINI M., PAPANI G., BELLI A., BIFFI U. & CATRULLO D. (1992) - *Late Eocene-Tortonian tectono-sedimentary evolution in the western part of the Padan basin (northern Italy)*. Paleont. y Evol., **24-25**, 341-362.
- DE BEAULIEU J.J. & REILLE M. (1992) - *The last climatic cycle at La Grand Pile (Vosges, France). A new pollen profile*. Quaternary Science Review, **11**, 431-438.
- DI DIO G., LASAGNA S., PRETI D. & SAGNE M. (1997) - *Carta geologica dei depositi quaternari della Provincia di Parma*. Il Quaternario, **10**, 443-450.
- DINELLI E., AMOROSI A., CENTINEO M.C., TATEO F. & PRETI D. (1998) - *Preliminary results on composition of fine-grained sediments from cores of the Romagna coastal plain (northern Italy)*. Atti della Riunione Scientifica Annuale del Gruppo di Sedimentologia - CNR, Bologna, 6-9 ottobre 1998, Giornale di Geologia, **60**, 293-294.
- DINELLI E., AMOROSI A., CENTINEO M.C. & LUCCHINI F. (1999) - *Natural backgrounds in the Po Plain (northern Italy) evaluated through subsurface sediments*. J.Conf. Abs. **4** (1), 568.
- DINELLI E. & LUCCHINI F. (1998) - *Element dispersion patterns in the Reno river valley (northern Italy) evaluated by means of stream sediment geochemistry*. Miner. Petrogr. Acta, **41**, 145-162.
- DONDI L., MOSTARDINI F. & RIZZINI A. (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nella Pianura Padana*. In: G. Cremonini and F. Ricci Lucchi, eds., *Guida alla Geologia del margine appenninico-padano*. Guida Geol. Reg., S.G.I., 205-236.
- DONDI L. & D'ANDREA M.G. (1986) - *La Pianura Padana e Veneta dall'Oligocene superiore al Pleistocene*. Giornale di Geologia, **48**, 197-225.
- FABBRI A., ARGNANI A., BORTOLUZZI G., CORREGGIARI A., GAMBERI F., LIGI M., PENITENTI D., ROVERI M. & TRINCARDI F. in prep. *Cartografia Geologica dei mari italiani scala 1:250000: Foglio NL 33-10 Ravenna*.
- FAEGRI K. & IVERSEN J. (1992) - *Textbook in pollen analysis*. J. Wiley & Sons Publ., Chichester, 328 pp.
- FAO (1967) - *Aerial photo interpretation in soil survey*. Soil Bulletin 6, 54 pp.
- FARABEGOLI E. & ONOREVOLI G. (1989) - *Introduzione all'analisi dei depositi alluvionali quaternari del margine appenninico-padano. Il fiume Savio*. Giorn. Geol., **51/1**, 119-146.
- FARABEGOLI E. & ONOREVOLI G. (1991) - *La sezione di S. Mamante (Faenza) nel quadro evolutivo neotettonico ed eustatico del Quaternario dell'Appennino romagnolo*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **46**, 417-432.

- FARABEGOLI E., ONOREVOLI G., RUFFINO C. & COSTANTINI B. (1997) - *Struttura del sottosuolo quaternario continentale della Pianura Padana meridionale (Provincia di Ravenna - Italia)*. Università degli Studi di Bologna e Agip.
- FARINA M. (1994) - *Contributo allo studio della successione quaternaria sepolta mediante una banca dati di pozzi e sondaggi geotecnici* - 1st european Congress on Regional Geological cartography and Information Systems, Bologna 13-16 Giugno 1994, Vol. 5 Workshop 1.
- FOLLIERI M., MAGRI D. & SADORI L. (1988) - *250,000-year pollen record from Valle di Castiglione (Roma)*. Pollen et Spores, **30**, 329-356.
- FOLLIERI M., MAGRI D. & SADORI L., 1989. *Pollen stratigraphical synthesis from Valle di Castiglione (Roma)*. Quaternary International, **3-4**, 81-84.
- FRANZINI M., LEONI L. & SAITTA M. (1972) - *A simple method to evaluate the matrix effects in X-Ray fluorescence analysis*. X-Ray Spectrom. **1**, 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*. Rend. Soc. It. Min. Petrol. **31**, 365-378.
- GANDOLFI G. & PAGANELLI L. (1988) - *Composizione e dispersione delle sabbie del Po e dell'Adige dal periodo etrusco ad oggi*. Boll. Soc. Torr. Sc. e Lett. Faenza, **39**, 25-46.
- GAZZI P., ZUFFA G.G., GANDOLFI G. & PAGANELLI L. (1973) - *Provenienza e Dispersione Litoranea delle Sabbie delle Spiagge Adriatiche fra le Foci dell'Isonzo e del Foglia: Inquadramento Regionale*. Mem. Soc. Geol. It., **12**, 1-37.
- HELLAND-HANSEN W. & GJELBERG J.G. (1994) - *Conceptual basis and variability in sequence stratigraphy: a different perspective*. Sedimentary Geology, **92**, 31-52.
- HUNT D. & TUCKER M.E. (1992) - *Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall*. Sedimentary Geology, **81**, 1-9.
- IDROSER S.P.A. (1981) - *Piano progettuale per la difesa della costa adriatica Emiliano-Romagnola, Relazione generale*.
- IDROSER S.P.A. (1996) - *Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna, Relazione generale*.
- LENZI G. (1993) - *Ricostruzione del modello geologico del sottosuolo delle Valli di Comacchio sulla base di sondaggi eseguiti all'interno ed al contorno delle residue valli: considerazioni stratigrafiche, litologiche, geotecniche e mineralogiche*. ENEA, Studio ambientale integrato delle Valli di Comacchio, AMB, MON. AMCOS, 123.
- LEONI L., MENICHINI M. & SAITTA M. (1982) - *Determination of S, Cl, and F in silicate rocks by X-Ray fluorescence analyses*. X-Ray Spectrom. **11**, 156-158.
- LEONI L. & SAITTA M. (1976) - *X-ray fluorescence analysis of 29 trace elements in rock and mineral standard*. Rend. Soc. It. Min. Petrol. **32**, 497-510.
- MARABINI S., LENAZ R. & VAI G.B. (1987) - *Pleistocene superiore e Olocene del margine pedeappenninico romagnolo: rapporto preliminare*. Rendiconti della Società Geologica Italiana, **10**, 33-37.
- MARABINI S., TAVIANI M., VAI G.B. & VIGLIOTTI L. (1995) - *Yellow sand facies with Arctica islandica: low stand signature in an early Pleistocene Front-Apennine Basin*. Giornale di Geologia, **57**, 259-275.
- MARCHESINI L., AMOROSI A., CIBIN U. & ZUFFA G.G. (1999) - *Changes in provenance within the late Quaternary depositional sequence of the Romagna coastal plain, Italy*. 19th Regional European Meeting of Sedimentology, August 24-26, Copenhagen, 161.
- MARTINSON D.G., PISLAS N.G., HAYES J.D., IMBRIE J., MOORE T.C. & SHACKLETON N.J. (1987) - *Age dating and the orbital theory of the ice ages - development of a high-resolution 0 to 300,000 year chronostratigraphy*. Quaternary Research, **27**, 1-29.
- MCCLENNEN C.E., AMMERMAN A.J. & SCHOCK S.G. (1997) - *Framework stratigraphy for the Lagoon of Venice, Italy: revealed in new seismic-reflection profiles and cores*. Journal of Coastal Research, **13**, 745-759.
- MOORE P.D., WEBB J.A. & COLLINSON M.E. (1992) - *Pollen analysis*. II Ed., Blackwell Sc. Publ, Oxford, 276 pp.
- MUTTI E., DAVOLI G., MORA S. & SGAVETTI M. (1994) - *Conceptual stratigraphic framework*. In: E. Mutti, G. Davoli, S. Mora and M. Sgavetti, eds., *The Eastern Sector of the South-Central Folded Pyrenean Foreland: Criteria for Stratigraphic Analysis and Excursion Notes*. Second High-Resolution Sequence Stratigraphy Conference, 20-26 June 1994, Tremp, Spain, 1-16.
- NELSON B.W. (1970) - *Hydrography, sediment dispersal and recent historical development of the Po river delta, Italy*. In: *Deltaic Sedimentation, Modern and Ancient* (Ed. by J.P. Morgan), Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., **15**, 152-184.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (1983) - *North American Stratigraphic Code*. Amer. Assoc. Petroleum Geol. Bull. **67**, 841-875.

- NUMMEDAL D. & SWIFT D.J.P. (1987) - *Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples*. In: *Sea-Level Fluctuation and Coastal Evolution* (Ed. by D. Nummedal, O.H. Pilkey and J.D. Howard), Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., **41**, 241-260.
- ORI G.G. (1993) - *Continental depositional systems of the Quaternary of the Po Plain (northern Italy)*. *Sediment. Geol.*, **83**, 1-14.
- PIERI M. & GROPPI G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*. Pubbl. 414 P.F. Geodinamica, C.N.R., 23 p.
- PIRAZZOLI P.A. (1993) - *Global sea-level changes and their measurement*. *Global and Planetary Change*, **8**, 135-148.
- POSAMENTIER H.W., JERVEY M.T. & VAIL P.R. (1988) - *Eustatic controls on clastic deposition I: Conceptual framework*. In: *Sea Level Changes: An Integrated Approach* (Ed. by C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross and J.C. Van Wagoner), Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., **42**, 109-124.
- POSAMENTIER H.W., ALLEN G.P., JAMES D.P. & TESSON M. (1992) - *Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples and sequence stratigraphic significance*. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **76**, 1687-1709.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio, S.EL.C.A., Firenze, 120 p.
- REILLE M. & DE BEAULIEU J.-L. (1990) - *Pollen analysis of a long upper Pleistocene continental sequence in a Velay maar (Massif Central, France)*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **80**, 35-48.
- RICCI LUCCHI F., COLALONGO M.L., CREMONINI G., GASPERI G., IACCARINO S., PAPANI G., RAFFI I. & RICO D. (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica del margine appenninico*. In: Cremonini G. and Ricci Lucchi F. (Editors) *Guida alla geologia del margine appenninico-padano*. Guide Geologiche Regionali Soc. Geol. Ital., 17-46.
- RIZZINI A. (1974) - *Holocene sedimentary cycle and heavy mineral distribution, Romagna-Marche coastal plain, Italy*. *Sedimentary Geology*, **11**, 17-37.
- RIZZINI A. & VEGGIANI A. (1970) - *Studio della Distribuzione delle Sabbie a Mezzo dei Minerali Pesanti. Litorale Adriatico tra Ravenna e Fano*. Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura, Forlì, 47 pp.
- ROBERTSON P.K., CAMPANELLA R.G., GILLESPIE R.G. & GREIG J. (1986) - *Use of piezometer cone data*. Proceedings, *In-situ '86*, ASCE Specialty Conference, Blacksburg, VA.
- ROBERTSON P.K. (1990) - *Soil classification using the cone penetration test*. *Can. Geotech. J.*, **27**, 151-158.
- ROVERI M., CORREGGIARI A., ASIOLI A. & TRINCARDI F. (1997) - *Evoluzione dei sistemi deltizi e costieri tardo-olocenici in Adriatico settentrionale*. GEOITALIA: Forum Italiano di Scienze della Terra, Bellaria, 5-9 ottobre 1997. Abs. vol., 41-42.
- SELLI R. & CIABATTI M. (1977) - *L'abbassamento del suolo della zona litoranea ravennate*. *Giornale di Geologia* **42**, 1, 1-47
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1999) - *La Carta Geologica di Pianura in scala 1:50.000 - Linee guida per il rilevamento e la cartografia*. Quaderni SGN, Serie III, 1-13. Pre-stampa a cura della Regione Emilia-Romagna - Ufficio Geologico.
- SGAVETTI M. & FERRARI C. (1988) - *The use of TM data for the study of a modern deltaic depositional system*. *Int. J. Remote Sensing*, **9**, 1613-1627.
- STOCKMARR J. (19719) - *Tablets with spores in absolute pollen analysis*. *Pollen et Spores.*, **XIII**, 4, 615-621.
- STUIVER M. & REIMER P.J. (1993) - *Radiocarbon Calibration program rev.4.1.2*. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.
- SWIFT D.J.P. (1968) - *Coastal erosion and transgressive stratigraphy*. *J. Geol.*, **76**, 444-456.
- THORNE J.A. & SWIFT D.J.P. (1991) - *Sedimentation on continental margins, VI: a regime model for depositional sequences, their component systems tracts, and bounding surfaces*. In: *Shelf Sand and Sandstone bodies: Geometry Facies and Sequence Stratigraphy* (Ed. by D.J.P. Swift, G.F. Oertel, R.W. Tillman and J.A. Thorne), Spec. Pub. Int. Ass. Sediment., **14**, 189-255.
- TOSI L. (1994) - *L'evoluzione paleoambientale tardo-quadernaria del litorale veneziano nelle attuali conoscenze*. *Il Quaternario*, **7**, 589-596.
- TRINCARDI F., CORREGGIARI A. & ROVERI M. (1994) - *Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: the Adriatic Semienclosed Basin*. *Geo-Marine Letters*, **14**, 41-51.

- TZEDAKIS P.C. (1993) - *Long-term tree population in northwest Greece through multiple Quaternary climatic cycles*. *Nature*, **364**, 437-440.
- TZEDAKIS P.C. (1994) - *Vegetation change through glacial-interglacial cycles: a long pollen sequence perspective*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B*, **345**, 403-432.
- TZEDAKIS P.C., ANDRIEU V., DE BEAULIEU J.-L., CROWHURST S., FOLLIERI M., HOOGHIEMSTRA H., MAGRI D., REILLE M., SADORI L., SHACKLETON N.J. & WIJMSTRA T.A. (1997) - *Comparison of terrestrial and marine records of changing climate of the last 500,000 years*. *Earth and Planetary Science Letters*, **150**, 171-176.
- VAIL P.R. (1987) - *Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure*. In: *Atlas of Seismic Stratigraphy, Vol. 1* (Ed. by A.W. Bally). *Am Assoc. Petrol. Geol. Stud. Geol.*, **27**, 1-10.
- VALPREDI E., VINCENZI D., LENZI G. & UNGARO S. (1990) - *Considerazioni stratigrafiche in un'area palustre bonificata: la "Valle del Mezzano" in provincia di Ferrara*. *ENEA*, 1-28.
- VEGGI L. & RONCUZZI A. (1970) - *Contributi a nuove ricerche sull'antica idrografia padana*. In: *Studi Idrogeologici dei Terreni Padani Inferiori I°*, 7-27.
- VEGGI L. & RONCUZZI A. (1973) - *Sul problema delle più antiche foci padane e dell'evoluzione delle linee costiere alto-adriatiche occidentali nell'Olocene*. In: *Studi Idrogeologici dei Terreni Padani Inferiori II°*, 7-20.
- VEGGIANI A. (1973) - *Le trasformazioni dell'ambiente naturale del Ravennate negli ultimi millenni*. *Studi Romagnoli*, **24**, 3-26.
- VEGGIANI A. (1974) - *Le variazioni idrografiche del basso corso del fiume Po negli ultimi 3000 anni*. *Padusa*, 1-2, Rovigo, 39-60.
- VEGGIANI A. (1976) - *Le variazioni della linea di costa del Ravennate dall'età preromana al medioevo*. "XXIII Corso di Cultura sull'arte ravennate e bizantina, Ravenna 28 marzo - 10 aprile 1976", Ravenna 1976, 331-344.
- VEGGIANI A. (1985) - *Il delta del Po e l'evoluzione della rete idrografica padana in epoca storica*. *Atti della Tavola Rotonda su Il Delta del Po*, Bologna 24 novembre 1982, Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, 37-68.
- VEGGIANI A. (1994) - *I deterioramenti climatici dell'età del ferro e dell'alto medioevo*. *Bollettino della Società Torricelliana di Scienze e Lettere, Faenza*, **45**, 3-80.
- WIJMSTRA T.A. (1969) - *Palynology of the first 30 m of a 120 m deep section in Northern Greece*.