



IS P R A

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Organo Cartografico dello Stato (legge n° 68 del 2-2-1960)

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

foglio 204

PORTOMAGGIORE

A cura di:

L. Calabrese¹, M.C. Centineo¹, U. Cibirin¹

Con i contributi di:

I. Di Cocco²

¹ Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

² Dipartimento di Archeologia, Università degli Studi di Bologna

Ente realizzatore:



Regione Emilia-Romagna

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Direttore del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA:
Andrea Todisco

Responsabile del Progetto CARG per il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA:
Fabrizio Galluzzo

Responsabile del Progetto CARG per la Regione Emilia-Romagna:
Raffaele Pignone

PER IL SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - ISPRA:

Revisione scientifica:

C. D'Ambrogi, M. D'Orefice, M. Rossi

Coordinamento cartografico:

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

Revisione informatizzazione dei dati geologici:

C. Cipolloni, M.P. Congi, A. Fiorentino (ASC)

Coordinamento editoriale:

S. Falcetti, M. Vatovec

PER IL SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI - REGIONE EMILIA-ROMAGNA:

Coordinamento informatizzazione:

M. Grandi, A. Martini (direzione lavori), **I. Pellegrino**

Coordinamento allestimento cartografico per la stampa:

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

*Informatizzazione e allestimento cartografico per la stampa
a cura di InfoCartoGrafica - Piacenza*

GESTIONE TECNICO-AMMINISTRATIVA DEL PROGETTO CARG:

M.T. Lettieri - Servizio Geologico d'Italia - ISPRA

G. Falanga, S. Stagni - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna

Si ringraziano i componenti dei Comitati Geologici per il loro contributo scientifico

Stampa:

INDICE

I	- INTRODUZIONE	pag.	5
II	- INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO	»	7
1.	- GEOMORFOLOGIA	»	7
2.	- GEOLOGIA	»	8
III	- STUDI PRECEDENTI	»	11
IV	- METODOLOGIA DI STUDIO	»	15
1.	- CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE	»	15
2.	- CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO ED ANALISI STRATIGRAFICA	»	19
V	- ASSETTO GEOLOGICO - STRUTTURALE	»	25
VI	- STRATIGRAFIA	»	29
1.	- DEFINIZIONE DEL CRITERIO STRATIGRAFICO UTILIZZATO	»	29
2.	- SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	»	30
2.1.	- SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	»	31
2.2.	- SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	»	32
2.2.1.	- <i>Subsintema di Bazzano</i>	»	35
2.2.2.	- <i>Subsintema di Villa Verucchio</i>	»	36
2.2.3.	- <i>Subsintema di Ravenna</i>	»	37
VII	- SISTEMI DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE	»	43
1.	- DEPOSITI ALLUVIONALI	»	43
1.1.	- PIANA ALLUVIONALE	»	43
1.1.1.	- <i>Sabbie di riempimento di canale e di rotta fluviale</i>	»	43
1.1.2.	- <i>Alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale</i>	»	45
1.1.3.	- <i>Argille e limi di piana inondabile</i>	»	45
1.1.4.	- <i>Argille e limi con sostanza organica</i>	»	46
2.	- DEPOSITI DELTIZI, LITORALI E MARINI	»	46
2.1.	- PIANA DELTIZIA	»	46
2.1.1.	- <i>Alternanze di sabbie e limi di canale distributore, di argine e rotta</i>	»	46
2.1.2.	- <i>Alternanze di sabbie e limi di delta minore</i>	»	47
2.1.3.	- <i>Argille e limi di intercanale</i>	»	47
2.1.4.	- <i>Argille, limi e torbe di area interdistributrice</i>	»	47
2.1.5.	- <i>Argille e limi con sostanza organica di palude-laguna</i>	»	48

2.2.	- FRONTE DELTIZIA E PIANA DI SABBIA. »	50
2.3.	- PRODELTA E TRANSIZIONE ALLA PIATTAFORMA. »	51
2.4.	- DEPOSITI FLUVIO-DELTIZI E DI PIATTAFORMA INDIFFERENZIATI »	52
VIII	- CARTOGRAFIA. »	53
1.	- CARTA GEOLOGICA »	54
2.	- FOGLIO ALLEGATO ALLA CARTA GEOLOGICA - GEOLOGIA DI SOTTOSUOLO »	58
APPENDICE 1		
STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI »		63
APPENDICE 2		
L'EVOLUZIONE TARDO PLEISTOCENICA ED		
OLOCENICA DEL TERRITORIO. »		75
APPENDICE 3		
SEZIONI GEOLOGICHE DI SOTTOSUOLO. »		91
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI »		94

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia ENI - Divisione AGIP per la consultazione e la parziale divulgazione dei dati di sottosuolo che hanno consentito lo studio, a scala regionale, dell'architettura dei depositi quaternari di sottosuolo ed hanno contribuito alla costruzione delle sezioni geologiche riportate nel Foglio Allegato ed in Appendice 3.

Per le interessanti discussioni sull'evoluzione storico geologica del territorio del delta padano un vivo ringraziamento va a Marco Stefani.

Si ringraziano tutti gli Enti pubblici, Privati e liberi professionisti che hanno fornito i dati raccolti nella Banca Dati Geognostici del Foglio 204. In particolare, dato il cospicuo numero di dati forniti, si ricordano: la Provincia di Ferrara, i Comuni di Argenta, Masi-Torello, Migliarino, Migliaro, Molinella, Ostellato, e Portomaggiore, i consorzi di bonifica e le Ferrovie dello Stato.

I - INTRODUZIONE

Lo studio geologico del Foglio 204 è stato condotto con l'obiettivo di definire l'architettura tridimensionale dei depositi della pianura e di rappresentarla tramite la Carta Geologica di Superficie (Carta Geologica *sensu stricto*), la Carta di Sottosuolo e numerose sezioni geologiche realizzate con diversi gradi di dettaglio (Foglio Allegato alla Carta Geologica - Geologia di Sottosuolo e Appendice 3). Per questo motivo il rilevamento geologico del Foglio è stato condotto attraverso l'analisi integrata di dati di superficie e di sottosuolo; tale approccio si è rivelato uno strumento imprescindibile per affrontare le analisi stratigrafiche e strutturali delle aree di pianura. Alla base di questo lavoro vi è la Banca Dati Geognostici, realizzata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, attraverso la raccolta presso enti pubblici e privati dei dati stratigrafici pregressi e la successiva integrazione con nuove prove geognostiche, quali sondaggi a carotaggio continuo, prove penetrometriche e trivellate manuali, eseguite *ad hoc* durante il rilevamento del Foglio.

PROGETTO
CARG

II - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

1. - GEOMORFOLOGIA

Il Foglio 204 Portomaggiore comprende un'area situata nel settore centro-meridionale della provincia di Ferrara e, limitatamente allo spigolo sud-occidentale, una piccola porzione della provincia di Bologna.

Nell'area in esame affiorano prevalentemente i depositi di piana deltizia relativi ad un grande lobo deltizio attivo dall'epoca etrusca fino al XII secolo che oggi costituisce un paleodelta incorporato nell'attuale sistema fluvio-deltizio. I corsi d'acqua principali presenti nell'area del Foglio 204 sono il F. Reno nel settore sud-occidentale, il Po di Primaro nel margine occidentale e il Po di Volano nello spigolo nord-orientale; esiste inoltre una fitta rete di canali, fosse e scoli in tutta l'area del Foglio (fig. 1).

La superficie topografica è pianeggiante ed è caratterizzata, da un punto di vista altimetrico, da tre settori distinti: il settore di sud-ovest, il settore centrale e settentrionale e il settore orientale (fig. 1).

Il settore di sud-ovest si distingue per quote comprese tra 4 e 14 m s.l.m. e fa parte del sistema deposizionale della piana alluvionale; è limitato verso nord dal paleoalveo del Po di Primaro ed è contraddistinto dai dossi fluviali del F. Reno. Le quote maggiori si osservano in corrispondenza degli argini artificiali del F. Reno mentre quelle minori si situano nelle aree di piana inondabile e di "valle" presenti ad ovest di Argenta e a sud di Marrara. L'orientazione generale dei dossi è circa E-O.

Il settore centrale e settentrionale è caratterizzato da quote comprese tra 5 e 0 m s.l.m. ed è dominato dai dossi originati dai canali distributori del delta del Po. Le quote maggiori si osservano in corrispondenza degli antichi argini del Po di Primaro e degli argini del Po di Volano; le quote minori sono situate nelle aree di intercanale. L'orientazione dei dossi è molto varia ed irregolare anche se, in linea generale, è ricorrente un andamento NO-SE.

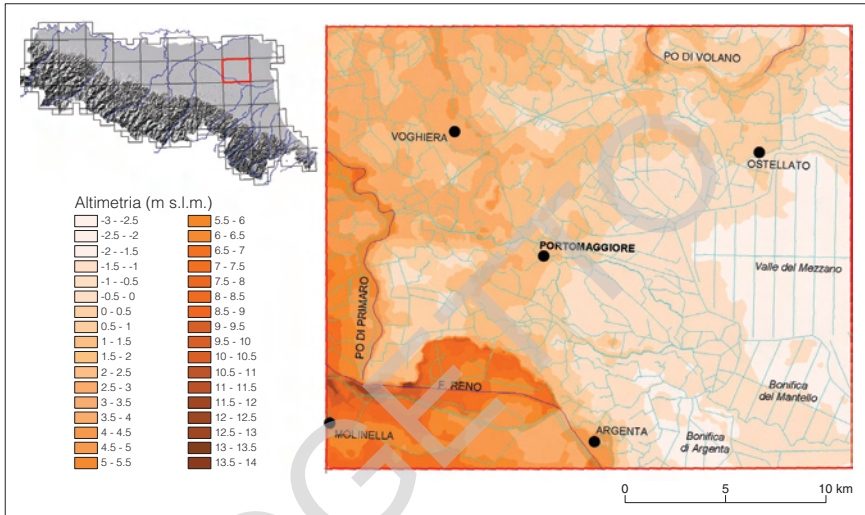


Fig. 1 - Modello digitale del terreno del Foglio 204, ricavato dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:25.000, sul quale è rappresentato il reticolo idrografico. Si osserva che le quote maggiori si registrano nel settore sud-occidentale e in corrispondenza dei principali dossi fluviali mentre appaiono evidenti le zone depresse, al di sotto del livello del mare, nel settore orientale del Foglio.

Il settore orientale presenta quote comprese tra 0 e -3 m s.l.m. e conserva le tracce di ampie aree interdistributrici un tempo occupate da specchi d'acqua e oggi bonificate (Valle del Mezzano, Valle del Mantello e Valle di Argenta).

La rete idrografica, in gran parte artificiale, risente di questa particolare conformazione del territorio, il Po di Primaro, infatti, si configura come una sorta di spartiacque: ad ovest i corsi d'acqua affluiscono principalmente nel F. Reno e nello stesso Po di Primaro; ad est i corsi d'acqua convergono nei settori topograficamente depressi.

Va inoltre aggiunto che l'attuale aspetto geomorfologico del Foglio, come la maggior parte della pianura emiliano-romagnola, è stato pesantemente influenzato dall'attività dell'uomo sin dall'antichità attraverso le opere di regimazione, le arginature artificiali e le modificazioni dei tracciati dei corsi d'acqua (rettificazioni, deviazioni, ecc.). L'Appendice 2 ricostruisce a grandi linee la storia che ha legato l'uomo al territorio del Foglio 204.

2. - GEOLOGIA

Il Foglio 204 si estende in un'area caratterizzata in superficie dall'affioramento dei depositi olocenici della piana deltizia del fiume Po e, subordinatamente, di quelli della piana alluvionale padano-appenninica (fig. 2). Questi depositi

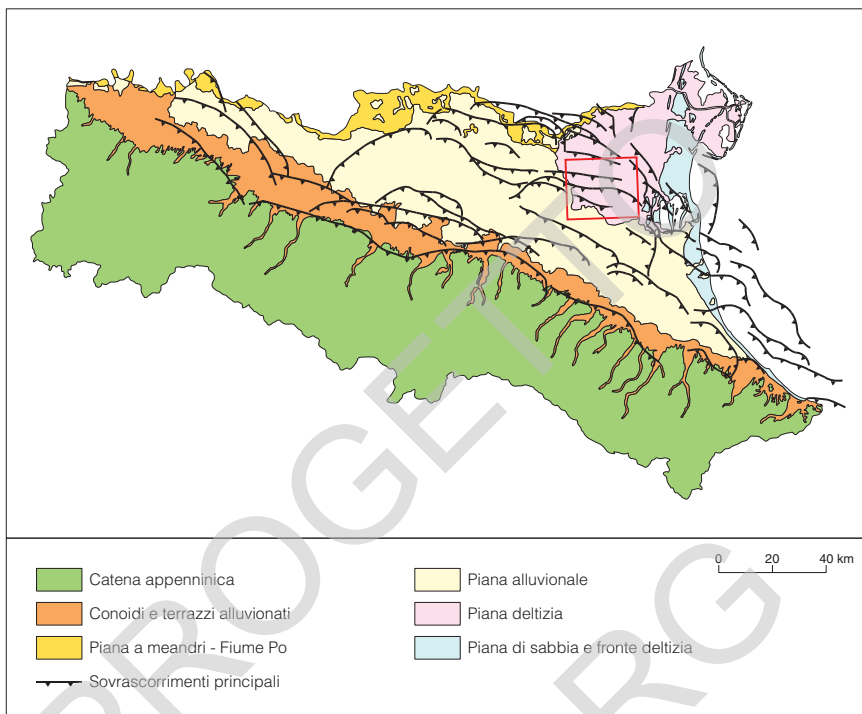


Fig. 2 - Inquadramento geologico-strutturale. Sono riportate le tracce dei principali sovrascorrimenti sepolti; i depositi affioranti del margine appenninico e della Pianura Padana sono distinti sulla base dei principali domini deposizionali (modificato da REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1999 e REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR, 2002).

rappresentano lo stadio attuale del progressivo colmamento che ha interessato i bacini sedimentari plio-pleistocenici dell'avampese padano-adriatico.

L'assetto strutturale di questi bacini è dato da una serie di pieghe e thrust ad andamento parallelo con orientazione circa NO-SE ed è stato descritto a scala regionale nei lavori di PIERI & GROPPi (1981), CNR (1990) e REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR (2002). In particolare, il Foglio 204 (fig. 2) si estende in un settore caratterizzato da una fascia di pieghe e sovrascorrimenti, con forma arcuata ("pieghe ferraresi" in PIERI & GROPPi, 1981), limitato, ad est e ad ovest del Foglio, da importanti discontinuità con orientamento circa NE-SO, trasversale rispetto alle principali strutture sepolte e al margine della catena appenninica (rampe laterali, *tear faults*).

Maggiori dettagli sull'assetto strutturale e sull'organizzazione stratigrafica della successione sedimentaria di questo settore saranno resi rispettivamente nei titoli V e VI.

PROGETTO
CARG

III - STUDI PRECEDENTI

Cartografia geologica

La cartografia geologica ufficiale che precede la realizzazione di questo Foglio è data da: CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:100.000 Foglio 76 Ferrara (1955), Foglio 77 Comacchio (1963), Foglio 88 Imola (1958) e Foglio 89 Ravenna (1956). In questi Fogli viene distinta la litologia di superficie dalla stratigrafia del sottosuolo, ricavata dai dati provenienti dalla prospezione per idrocarburi. La litologia di superficie è classificata sulla base della prevalenza di sabbie ed argille e sono distinti ulteriormente i terreni torbosi e ricchi di materiale organico; le unità stratigrafiche sono definite sulla base delle analisi biostratigrafiche (ad es. il "Miocene", il "Piacenziano" ecc.). Nel Foglio 77 Comacchio e nel Foglio 88 Imola sono riportati anche i siti dei ritrovamenti archeologici e l'età dei reperti.

A questi documenti cartografici si aggiunge la Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna in scala 1:250.000 (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1999) che è stata un riferimento basilare per il Foglio 204; essa rappresenta, in modo riassuntivo, i depositi alluvionali, deltizi e costieri della pianura emiliano-romagnola sulla base sia dei caratteri litologici e degli ambienti deposizionali sia dei caratteri pedostratigrafici.

Si segnala, inoltre, la Carta Geomorfológica della Pianura Padana in scala 1:250.000 (Ministero dell'Università e della ricerca scientifica e tecnologica, 1997) che offre una sintesi delle conoscenze geomorfologiche relative all'intera Pianura Padana.

In questo contesto si ricordano i Fogli geologici della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 limitrofi al Foglio 204 (Fogli 187, 203, 205, 222, 223), molti dei quali in corso di completamento e di stampa, poiché costituiscono un

modello generale di riferimento per la stesura di questo Foglio sia da un punto di vista metodologico sia relativamente alle conoscenze scientifiche.

Studi sedimentologici stratigrafici e archeologici

Nella stesura del Foglio 204 e delle note illustrative ci si è ampiamente basati su alcuni lavori di sedimentologia, geomorfologia e stratigrafia dei depositi alluvionali quaternari (di superficie e di sottosuolo) che non riguardano specificamente questo settore della pianura emiliano-romagnola ma che forniscono un inquadramento regionale dei depositi alluvionali padani.

Per quanto riguarda le conoscenze geomorfologiche dei depositi del delta ferrarese i principali lavori provengono da BONDESAN (1968, 1986, 1988, 1995). A questi va aggiunto l'importante contributo di Antonio Veggiani, di cui si ricordano le sintesi delle conoscenze relative alle relazioni fra eventi climatici e variazioni della rete idrografica nella Pianura Padana sud-orientale (VEGGIANI 1982, 1984, 1986, 1987, 1990 e 1994).

Per quanto riguarda gli aspetti più strettamente stratigrafici va citato il lavoro di RICCI LUCCHI *et alii* (1982) che utilizza un criterio di tipo sequenziale per lo studio della successione quaternaria affiorante nel margine appenninico, suddividendola in due cicli sedimentari principali: uno marino (Qm) e uno continentale (Qc). A questo lavoro si aggiungono quelli di FARABEGOLI & ONOREVOLI (1989) e FARABEGOLI *et alii* (1997) che riconoscono nel sottosuolo della pianura dei cicli deposizionali costituiti da alternanze a scala pluridecimetrica di depositi alluvionali grossolani e fini. I caratteri interni di questi cicli vengono rappresentati tramite carte di sottosuolo con isobate ed isopache.

I lavori di RICCI LUCCHI *et alii* (1982) e di REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) propongono uno schema stratigrafico regionale dei depositi quaternari di sottosuolo per tutto il Pleistocene-Olocene (fig. 3), largamente basato su dati di stratigrafia sismica e prospezioni petrolifere. In questo studio i principali cicli sedimentari Qm e Qc (definiti rispettivamente Supersistema del Quaternario Marino e Supersistema Emiliano-Romagnolo in REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998) vengono ulteriormente suddivisi in sequenze deposizionali di rango gerarchico inferiore che, all'interno del Supersistema Emiliano-Romagnolo, hanno una durata di c.a. 100.000 anni ciascuna e rappresentano l'unità base, a scala regionale, in cui si organizzano i depositi di riempimento della Pianura Padana.

Si ricordano inoltre gli studi di AMOROSI & FARINA (1995) e AMOROSI *et alii* (1996, 2000) per lo studio dei cicli deposizionali pluridecimetrici nel sottosuolo della pianura bolognese e per le ipotesi di correlazione tra questi e i depositi terrazzati affioranti.

Studi specifici relativi all'evoluzione sedimentaria tardo-pleistocenica ed olocenica della pianura costiera romagnola e del delta padano sono stati realizzati da BONDESAN *et alii* (1997, 1999) ed AMOROSI *et alii* (1999a, 1999b, 2003, 2004, 2005). In particolare, a quest'ultimi si deve la ricostruzione di dettaglio dell'architettura deposizionale dell'ultimo ciclo trasgressivo-regressivo di età

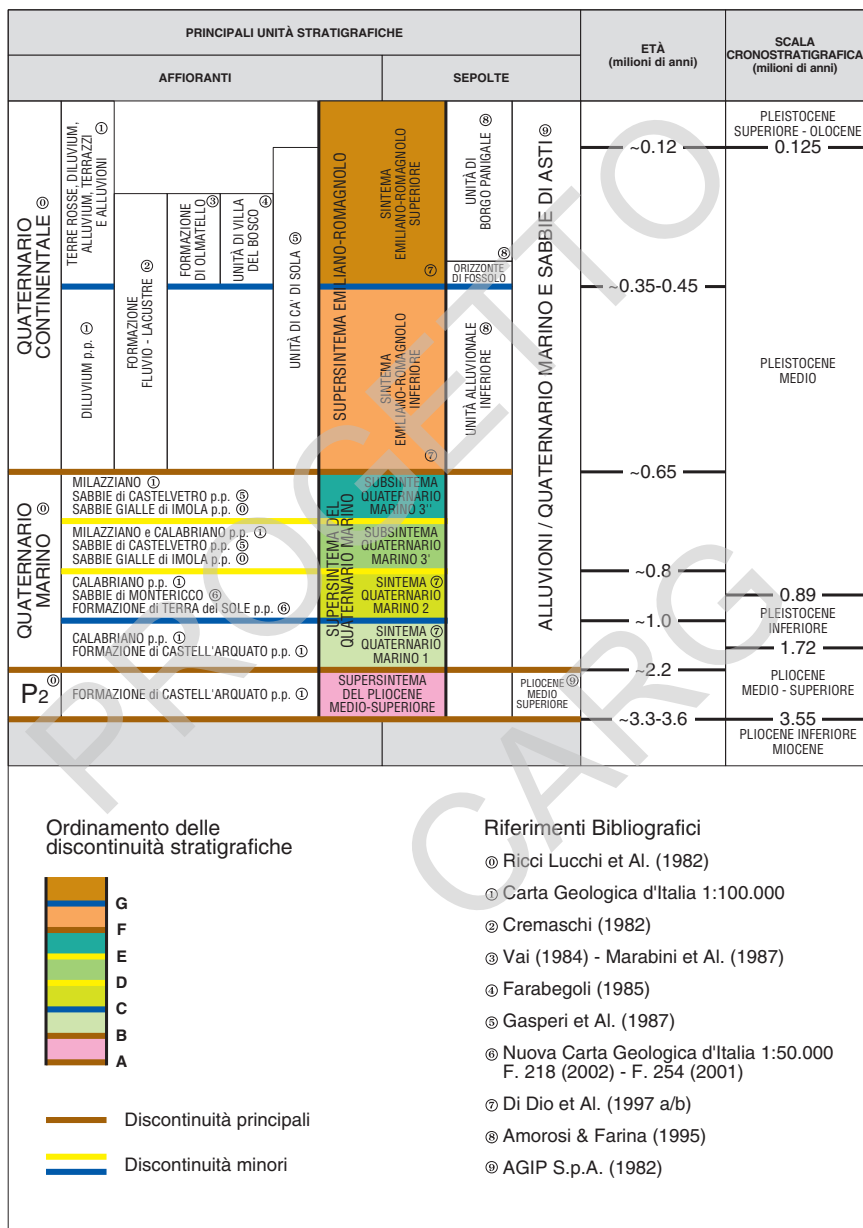


Fig. 3 - Schema stratigrafico dei depositi plio-quadernari del bacino padano, con indicazione delle principali unità stratigrafiche, delle superfici di discontinuità e delle sequenze deposizionali (da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

olocenica e dell'evoluzione paleogeografica di questo settore della pianura emiliano-romagnola. Buona parte dei risultati di questi lavori hanno costituito un importante riferimento per l'analisi stratigrafico-sedimentologica del sottosuolo del Foglio 204.

Infine si sottolinea l'importanza degli studi archeologici, che costituiscono un'importante fonte di informazioni per la datazione dei depositi alluvionali affioranti e del primo sottosuolo. I ritrovamenti archeologici e le notizie relative alla frequentazione dell'uomo nel territorio del Foglio 204 in epoca storica e preistorica, su cui si soffermerà in Appendice 2, sono stati pubblicati in diverse sedi; le raccolte più organiche, per quanto mai relative a tutto il Foglio, si trovano in PATITUCCI UGGERI (1972), DESANTIS (1997) e UGGERI (2002).

IV - METODOLOGIA DI STUDIO

La progettazione dei rilievi delle aree di pianura è stata eseguita nel rispetto delle linee guida per il rilevamento e la cartografia, stabilite dal Comitato Geologico della Pianura Padana (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992).

L'indagine geologica, oltre che interessare le unità superficiali, è stata estesa anche al sottosuolo, con la finalità di definire un quadro stratigrafico e strutturale più ampio e dettagliato, confrontabile con quello dei Fogli limitrofi. Ciò ha reso indispensabile integrare le tecniche di rilevamento dei terreni affioranti con le metodologie di indagine delle successioni sepolte.

1. - CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE

Lo studio dei terreni di superficie è stato effettuato preliminarmente attraverso l'analisi di ortofoto digitalizzate, georeferenziate e geometricamente corrette (volo AIMA 1996). L'analisi del colore, del tono e del suo pattern, della rete e densità del drenaggio, dell'uso del suolo hanno permesso: a) il riconoscimento in via preliminare delle principali unità geomorfologiche quali canali e argini naturali, ventagli di rotta, piane inondabili, ecc.; b) la valutazione della litologia dei sedimenti associati a queste unità; c) la stima del grado di alterazione degli stessi (FAO, 1967; REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1994).

Una seconda fase di lavoro ha riguardato l'analisi di immagini da satellite che ha permesso di verificare ed approfondire i risultati ottenuti dalla fotointerpretazione. In particolare si è fatto uso di un'immagine acquisita il 12 ottobre 1986 dal sensore Thematic Mapper (TM) a bordo del satellite Landsat 5 nelle bande 4,5,3, corretta geometricamente ed elaborata per migliorarne il contrasto cromatico al fine di evidenziare quelle variazioni meglio relazionabili ai caratteri geologici superficiali del terreno (fig. 4).

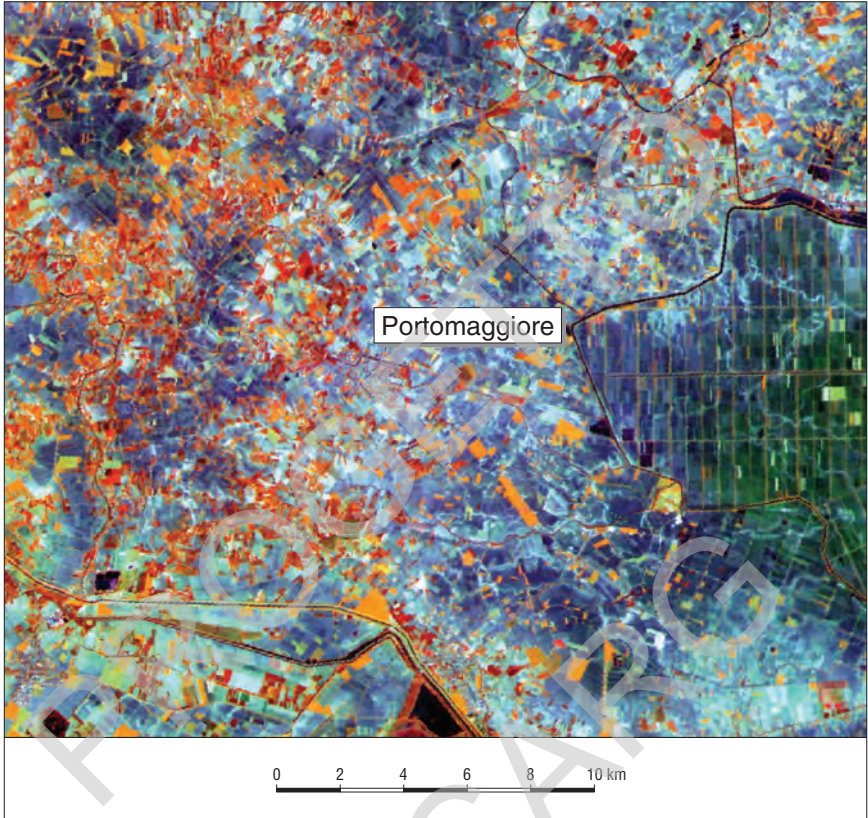


Fig. 4 - Immagine da satellite della pianura emiliano-romagnola dell'area del Foglio 204. Acquisizione del 12 ottobre 1986; sensore Thematic Mapper (TM); satellite Landsat 5; bande 4,5,3; sono state effettuate correzioni geometriche ed elaborazioni cromatiche sull'immagine originaria. Copyright ESA 1986, distribuzione Eurimage, Telespazio per l'Italia. Da un punto di vista litologico le tonalità di blu corrispondono ai depositi fini della piana deltizia e alluvionale mentre le tonalità di azzurro corrispondono ai depositi più grossolani di canale e argine fluvio-deltizio. Nel settore orientale la recente (1963) bonifica della Valle del Mantello è caratterizzata da tonalità blu-verdi.

Gli elementi morfologici definiti dall'interpretazione delle foto aeree e dell'immagine da satellite, quali dossi fluviali e depressioni vallive e di intercanale, sono stati verificati attraverso i dati altimetrici della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000 e un modello digitale del terreno ricavato dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:25.000 (si veda fig. 1).

Le informazioni geomorfologiche, litologiche e pedologiche dedotte dall'analisi delle foto aeree e dell'immagine da satellite sono poi state controllate e completate attraverso dati di trivellate manuali spinte sino alla profondità di

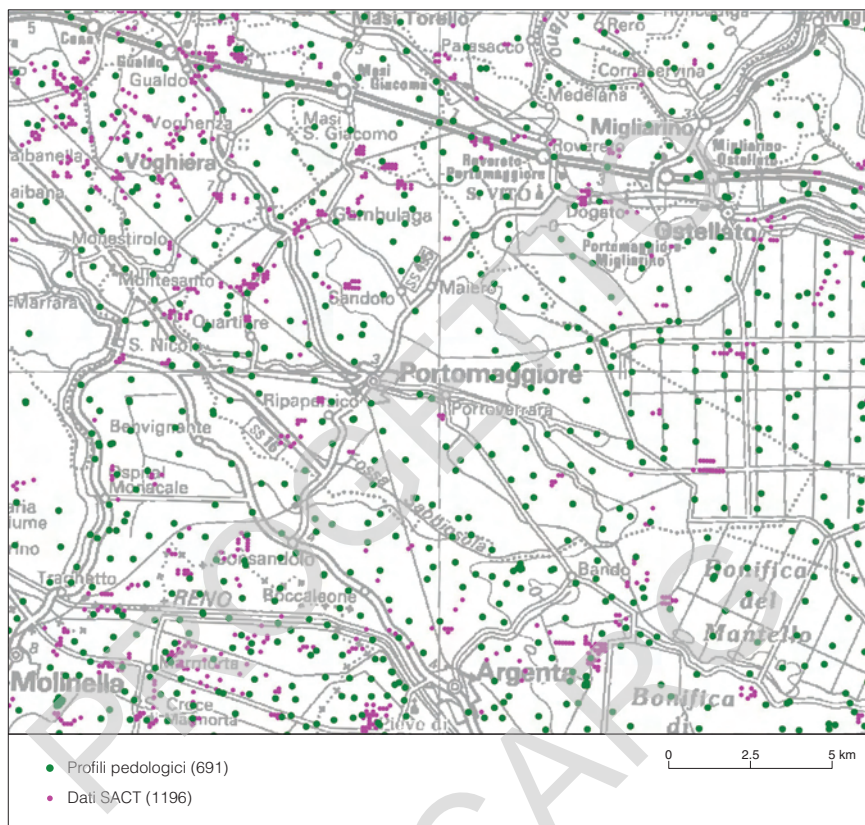


Fig. 5 - Distribuzione in pianta dei dati pedologici utilizzati per la Carta Geologica (Banca Dati dei Suoli della Regione Emilia-Romagna). Dati SACT: a cura del Servizio Analisi e Consulenza Terreni (Servizio Sviluppo Agro-alimentare, RER).

1.5 m dal piano campagna, sondaggi e dati pedologici (fig. 5). Le informazioni pedologiche (tessitura e grado di alterazione dei suoli affioranti) sono state tratte dalla Banca Dati dei Suoli 1:50.000 della Regione Emilia-Romagna. L'analisi delle tessiture ha permesso di verificare e caratterizzare dal punto di vista litologico le unità morfologiche individuate dalle foto aeree e dall'immagine da satellite mentre l'analisi del grado di alterazione ha consentito la stima dell'età minima del sedimento.

Informazioni sull'età effettiva dei sedimenti affioranti sono state dedotte dall'analisi dei reperti archeologici. A tal fine è stata realizzata, con il contributo della dott.ssa I. Di Cocco, una raccolta bibliografica dei reperti archeologici, alla quale è seguita la compilazione di una Banca Dati e una rappresentazio-

ne cartografica degli stessi sul territorio (fig. 6). La struttura del database, specificamente costruito per le esigenze del Progetto CARG, ha permesso una valutazione critica dei singoli dati archeologici raccolti, utilizzati insieme alla letteratura precedente (su cui si vedano in particolare BONDESAN 2001 e UGGERI 2002, con bibliografia) per la ricostruzione dei piani di calpestio di età antica e più in generale dell'evoluzione paleoambientale e della presenza antropica nel territorio (si veda Appendice 2).

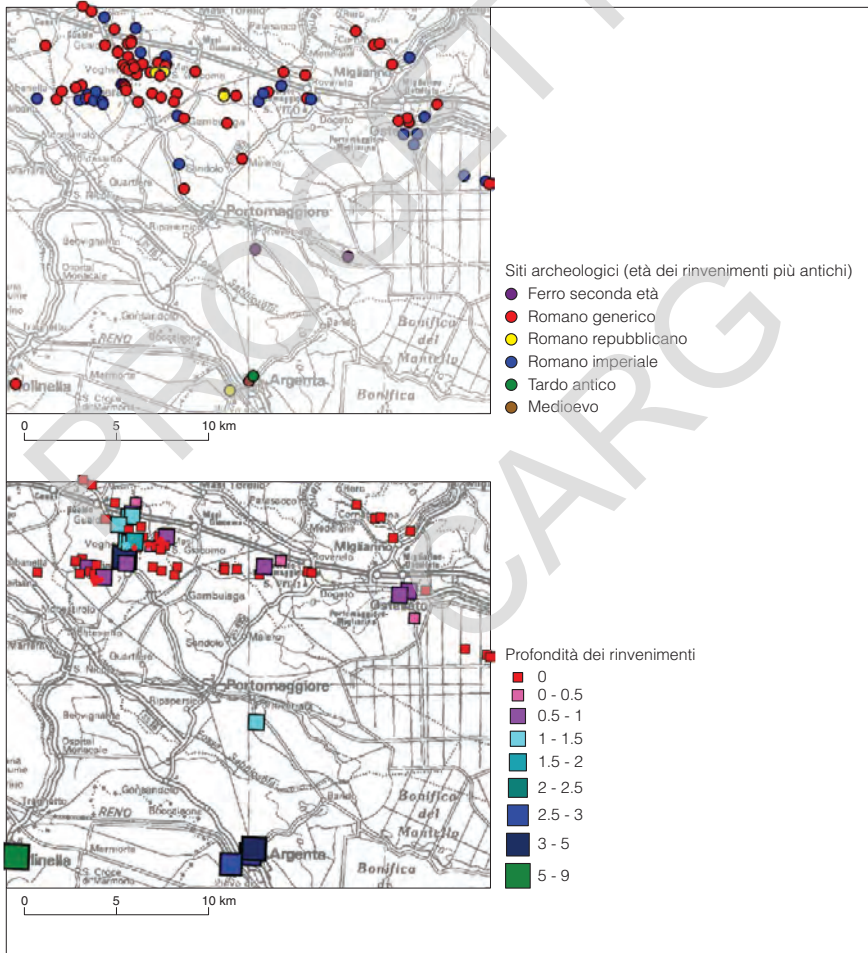


Fig. 6 - Distribuzione in pianta dei siti archeologici utilizzati per la Carta Geologica (raccolta dati a cura di I. Di Cocco). Le classi di datazione sono riportate in modo sintetico, in funzione dell'età delle unità stratigrafiche rappresentate nel Foglio.

2. - CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO ED ANALISI STRATIGRAFICA

Lo studio del sottosuolo si è articolato in più fasi di lavoro comprendenti, nell'ordine, l'analisi dei dati geofisici, l'utilizzazione della Banca Dati Geognostici, l'esecuzione di nuove indagini e la ricostruzione dei rapporti stratigrafici.

Analisi dei dati geofisici

Lo studio del sottosuolo si è basato sulla consultazione delle linee sismiche e dei pozzi per idrocarburi, messi a disposizione da ENI-AGIP ed è stato esteso al di fuori dei limiti del Foglio, con particolare attenzione al settore romagnolo. Esso ha mostrato l'assetto degli elementi strutturali sepolti e ha consentito di mappare le proiezioni in superficie dei principali assi delle sinclinali e delle anticlinali e dei fronti dei *thrust*. Lo schema strutturale così elaborato è stato in parte integrato con la Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo della REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR (2002).

Il riconoscimento di alcuni riflettori presenti nelle prime centinaia di metri del sottosuolo e particolarmente marcati a scala regionale (base AES e base AEI) ha permesso di definire le geometrie delle porzioni più profonde della successione investigata, raggiunte solo marginalmente dalle prove geognostiche puntuali, quali sondaggi e pozzi. Il confronto tra i dati dei pozzi per idrocarburi e le immagini sismiche, ha consentito inoltre di interpretare sommariamente le facies sismiche osservate e di acquisire un quadro regionale sull'evoluzione dei bacini sedimentari della Pianura Padana.

Utilizzazione della Banca Dati Geognostici ed esecuzione di nuove indagini di sottosuolo

La Banca Dati Geognostici della Regione Emilia-Romagna consiste in un archivio organizzato e georeferenziato di informazioni stratigrafiche relative a carotaggi, penetrometrie e pozzi per acqua provenienti da enti pubblici e privati (fig. 7 e tab. 1). Tale Banca Dati è illustrata nel dettaglio nelle note illustrative dei diversi Fogli già realizzati ed in particolare in CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna (2002), a cui si rimanda per ogni precisazione. Per quanto riguarda il Foglio 204 la densità dei dati geognostici disponibili nell'area è di 2,2 dati per km². Come si evince dalla figura 7, la densità delle informazioni è maggiore in prossimità dei principali centri urbani (es. Portomaggiore) ed è inferiore nelle circostanti aree agricole (ad es. nel settore della bonifica della Valle del Mezzano).

Le nuove indagini di sottosuolo, appositamente eseguite per il Progetto CARG, sono i sondaggi a carotaggio continuo e le prove penetrometriche che hanno consentito di definire ed affinare il modello geologico del sottosuolo elaborato dalla Banca Dati. Per la realizzazione di questo Foglio sono stati eseguiti 17 sondaggi a carotaggio continuo. Fra questi 13 hanno profondità comprese fra 35 e 55 m e sono stati utilizzati specificamente per analizzare i primi depositi del sottosuolo (riferibili prevalentemente alle unità AES₈ e AES₇, si veda il titolo

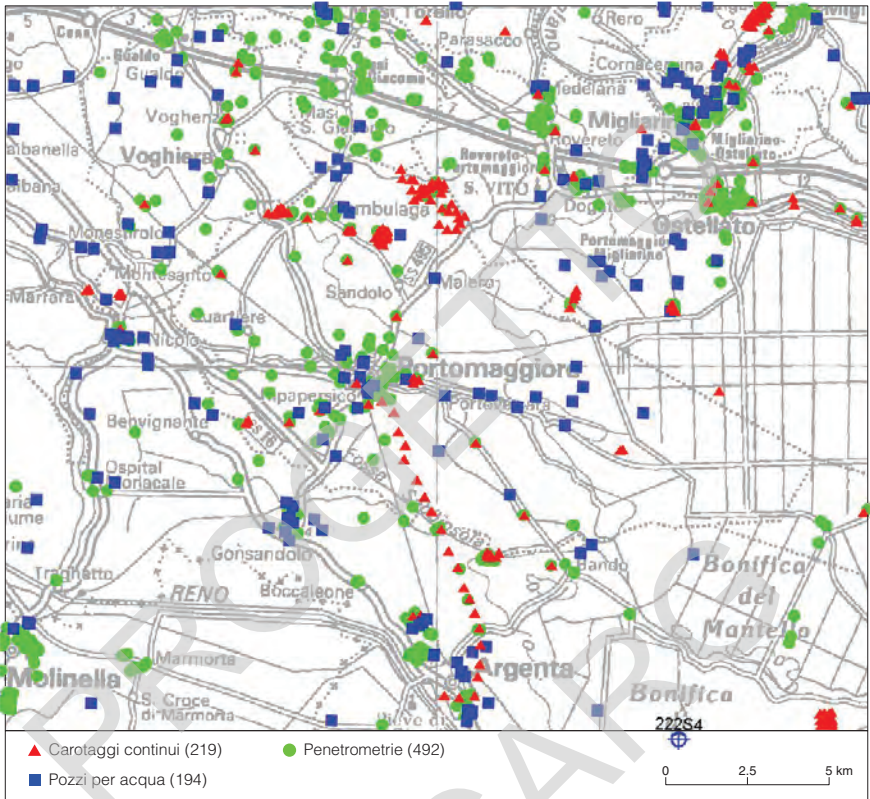


Fig. 7 - Distribuzione in pianta delle indagini geognostiche raccolte nella Banca Dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ed utilizzate per la cartografia geologica del sottosuolo.

Tab. 1 - Banca Dati Geognostici del Foglio 204; i principali enti fornitori dei dati sono i Comuni, le Province, la Regione, i consorzi di bonifica e le Ferrovie dello Stato.

Tipo di dato	Numero di dati	% sul totale (1189)	Prof. media	Prof. minima	Prof. massima
Prove penetrometriche statiche	432	36.4	12.6	4	37
Prove penetrometriche dinamiche	34	2.9	6.4	2.9	8
Sondaggi a carotaggio continuo	219	18.4	9.3	3	45
Pozzi per acqua	194	16.3	103.6	4.3	375.5
Sondaggi esaminati dai rilevatori (Progetto CARG)	17	1.4	68.3	34.5	204.5
Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (Progetto CARG)	266	22.4	34	10	45
Altre indagini	26	2.2			

V), mentre 4 sondaggi hanno profondità variabili da 100 a 200 m e sono stati progettati per caratterizzare anche gli intervalli più profondi della successione sedimentaria. Nell'Appendice 1 sono riportate le descrizioni dei sondaggi con la relativa interpretazione stratigrafico-sedimentologica adottata. Per avere un quadro geologico più completo sono stati considerati anche i sondaggi più significativi delle aree limitrofe ed in particolare quelli dei Fogli 203, 205, 222 e 187.

I sondaggi a carotaggio continuo, oltre a rappresentare l'unico strumento di osservazione diretta dei depositi di sottosuolo, permettono il campionamento dei terreni per analisi specifiche; in particolare, per il rilevamento del Foglio sono state eseguite datazioni ^{14}C (tab. 2), analisi paleontologiche, palinologiche e petrografiche, nonché prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati. L'analisi di facies e la ricostruzione stratigrafica inoltre hanno consentito di interpretare in chiave stratigrafico-sedimentologica i log elettrici dei pozzi per idrocarburi e i log delle prove penetrometriche.

Oltre ai carotaggi sono state realizzate 266 prove penetrometriche (CPT) a spaziatura relativamente regolare e sull'intero areale del Foglio. Le CPT sono state eseguite con punta elettrica e piezocono (CPTU) ed hanno raggiunto una profondità massima di c.a. 40 m. Le prove penetrometriche sono state utilizzate per interpretare le litologie dei terreni attraversati sulla base dei risultati di diversi studi precedenti (AMOROSI & MARCHI, 1999; CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna, 2002) e mediante la taratura con la stratigrafia dei sondaggi a carotaggio continuo ad esse adiacenti. La figura 8 mostra la localizzazione dei sondaggi e delle prove penetrometriche eseguiti appositamente per la realizzazione del Foglio e riportati negli elaborati della Carta Geologica, nonché dei sondaggi dei Fogli limitrofi la cui stratigrafia è stata oggetto di studio durante i rilevamenti.

La ricostruzione dei rapporti stratigrafici - sezioni geologiche

La ricostruzione dei rapporti stratigrafici del sottosuolo si è basata sullo studio di una rete di 22 sezioni geologiche orientate approssimativamente parallelamente e perpendicolarmente alle strutture sepolte e costruite con tutti i dati geognostici disponibili, con particolare attenzione per i più profondi e/o dettagliati. In particolare sono state costruite 3 sezioni profonde, allegate alla Carta di Sottosuolo e in Appendice 3 e 19 sezioni superficiali, delle quali 3 allegate alla Carta di Sottosuolo e 1 in Appendice 3. Le sezioni geologiche profonde si spingono ad una profondità massima di circa 400 m e forniscono informazioni riguardo le geometrie e l'organizzazione stratigrafica della successione a scala regionale. Queste sezioni si collegano, correlandosi, con le sezioni profonde allegate ai Fogli 203, 205, 222 e 187 e sono il prodotto di uno studio regionale che riguarda gran parte del sottosuolo romagnolo e della provincia di Ferrara.

Le sezioni superficiali si spingono ad una profondità massima di circa 40 m e forniscono maggiori dettagli sull'architettura deposizionale dell'ultimo ciclo trasgressivo-regressivo di età olocenica.

Tab. 2 - Risultati ottenuti dalle analisi radiometriche (metodo ¹⁴C) su campioni di materiale organico prelevati da sondaggi del Progetto CARG. L'ubicazione dei sondaggi è illustrata in figura 8 e la stratigrafia dei sondaggi CARG in Appendice 1. La profondità dei campioni è riferita al piano campagna. L'età è espressa in anni e non è calibrata.

Codice Banca Dati	Quota sondaggio	Profondità campione	Unità	Età ¹⁴ C	Range	Tecnica di datazione	Tipo di materiale	Laboratorio
204S1	5	8,8	AES8	1.790	55	Radiometrica	Torba	E.T.H. (ZURIGO)
204S1	5	15,7	AES8	4.127	60	Radiometrica	Torba	E.T.H. (ZURIGO)
204S1	5	23,2	AES7	18.200	1.000	Radiometrica	Suolo	ENE (BOLOGNA)
204S3	-2	42	AES7	35.230	490	Radiometrica	Conchiglia	E.T.H. (ZURIGO)
204S4	1,5	21	AES7	35.500	3.000	Radiometrica	Suolo organico	ENE (BOLOGNA)
204S4	1,5	5,8	AES8	1.780	60	Radiometrica	Torba	BETA ANALYTIC (MIAMI)
204S4	1,5	9,35	AES8	5.280	50	Radiometrica	Torba	BETA ANALYTIC (MIAMI)
204S5	0,5	16,95	AES8	7.735	70	Radiometrica	Legno	E.T.H. (ZURIGO)
204S5	0,5	22,7	AES7	23.320	210	Radiometrica	Torba	E.T.H. (ZURIGO)
204S6	-0,2	6,7	AES8	4.010	60	Radiometrica	Torba	E.T.H. (ZURIGO)
204S6	-0,2	13,8	AES8	6.895	65	Radiometrica	Torba	E.T.H. (ZURIGO)
204S6	-0,2	19	AES8	6.910	95	Radiometrica	Sostanza organica	ENE (BOLOGNA)
204S6	-0,2	30,7	AES7	29.030	330	Radiometrica	Torba e sostanza organica	E.T.H. (ZURIGO)
204S6	-0,2	9,6	AES8	5.340	70	Radiometrica	Sostanza organica	ENE (BOLOGNA)
204S7	-0,5	32,3	AES7	28.890	330	Radiometrica	Torba e sostanza organica	E.T.H. (ZURIGO)
204S8	1,4	11	AES8	5.750	80	Radiometrica	Torba	ENE (BOLOGNA)
204S8	1,4	16	AES8	9.050	85	Radiometrica	Torba	ENE (BOLOGNA)
204S8	1,4	22,3	AES7	23.050	210	Radiometrica	Torba	ENE (BOLOGNA)
204S11	0,5	16,8	AES8	6.961	121	Radiometrica	Sostanza organica	ENE (BOLOGNA)

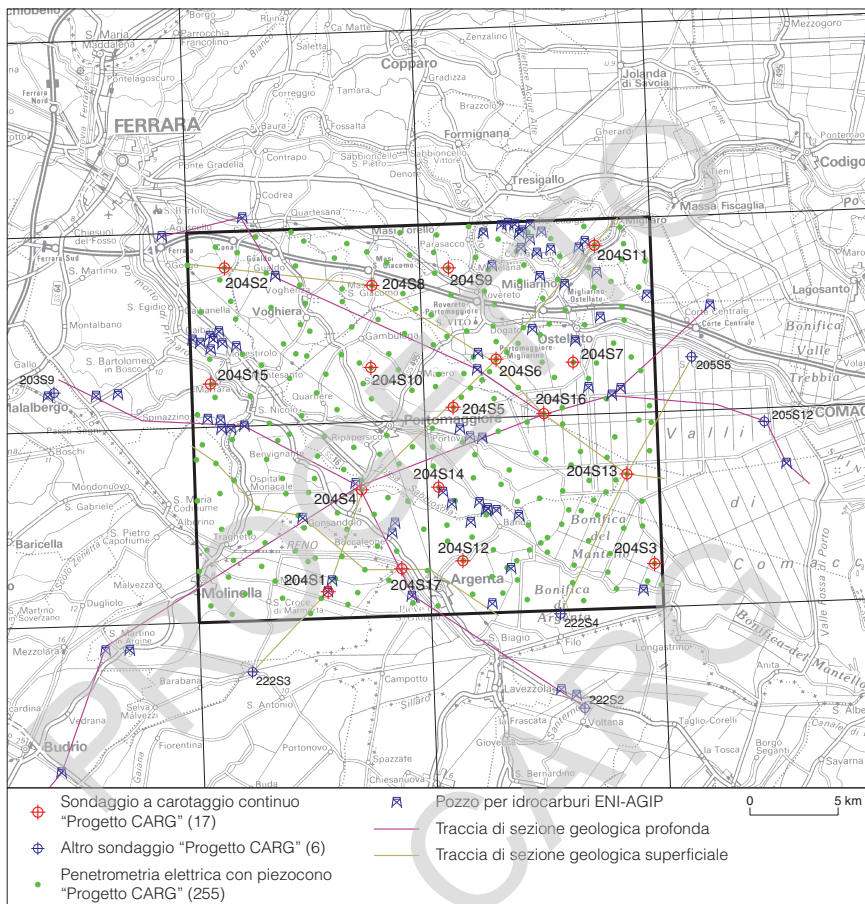


Fig. 8 - Distribuzione delle nuove prove geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo e prove CPTU) eseguite ad hoc per il rilevamento del Foglio 204 e traccia delle sezioni geologiche selezionate per la rappresentazione del sottosuolo nel Foglio Allegato. Sono indicati anche i pozzi ENI-AGIP e i sondaggi utilizzati dei Fogli limitrofi.

Le superfici di correlazione sono state tracciate sulla base di criteri geometrici e litologici, attraverso il riconoscimento di una ciclicità sedimentaria e grazie all'individuazione di orizzonti guida, quali ad esempio, intervalli fini di piana alluvionale ben sviluppati, orizzonti di torba e di argilla organica, corpi sabbiosi litorali.

PROGETTO
CARGO

V - ASSETTO GEOLOGICO - STRUTTURALE

Lo schema tettonico elaborato per il rilevamento del Foglio 204 (fig. 9a) ed esteso ai Fogli limitrofi per un inquadramento a scala regionale, mostra il complesso assetto strutturale del sottosuolo investigato, dominato principalmente da anticlinali e *thrust* e limitatamente da sinclinali, corrispondenti alle “pieghe ferraresi” di PIERI & GROPPI (1981).

A sud del Foglio, si osservano i *thrust* più prossimi al margine appenninico immergenti verso SO e limitati a nord da un settore caratterizzato dallo sviluppo di un'ampia sinclinale, il cui asse è orientato circa NO-SE lungo l'allineamento Conselice (A) - Fusignano (B). Questa sinclinale domina il sottosuolo del sottostante Foglio 222 e si estende verso ovest nelle aree a sud di Molinella (C), chiudendosi nei territori compresi tra Altedo (D) e Baricella (E).

Nel settore meridionale del Foglio, a nord della sinclinale, si riconosce una prima fascia di culminazioni strutturali orientata circa ONO-ESE lungo l'allineamento Argenta (F) - Malalbergo (G); parallelamente a questa segue, immediatamente più a nord, una fascia di culminazioni orientata lungo l'allineamento Longastrino (H) - Bando (I) - S. Bartolomeo in Bosco (L). I piani di sovrascorrimento immergono circa verso SSO. Questo primo settore di alti strutturali è limitato a nord da una sottile fascia di sinclinali poco estese e discontinue che si localizzano frontalmente ai principali *thrust*. L'orientamento degli assi di queste sinclinali è circa ONO-ESE e si riconoscono a sud di Portomaggiore (M) e in corrispondenza di Marrara (N). A nord, questa fascia è limitata sovente da retroscorrimenti con piani di accavallamento immergenti circa verso NNE. Immediatamente a nord di Portomaggiore, si osserva quindi una nuova fascia di culminazioni strutturali, con piani di sovrascorrimento immergenti circa SSO, localmente interrotte da sinclinali (ad est di Portomaggiore), orientate circa ONO-ESE, e limitata a nord da sinclinali discontinue presenti lungo l'allineamento Voghiera (O) - Ostellato (P).



Fig. 9a - Schema dei principali elementi strutturali plio-pleistocenici sepolti, traccia delle sezioni geologiche utilizzate per la costruzione del block diagram.

A nord di queste sinclinali si estende un settore caratterizzato dall'alternanza di anticlinali e sinclinali con orientazione degli assi circa NNO-SSE. Nel settore ad est del Foglio 204 sono presenti importanti discontinuità con un'orientazione circa trasversale (N-S) rispetto all'andamento generale dei lineamenti tettonici, imputate alla presenza delle rampe laterali dei *thrust* e/o di *tear faults*. I dati di letteratura (PIERI & GROPPPI, 1981), riportano che l'attività più intensa delle strutture tettoniche si conclude al termine del Pliocene.

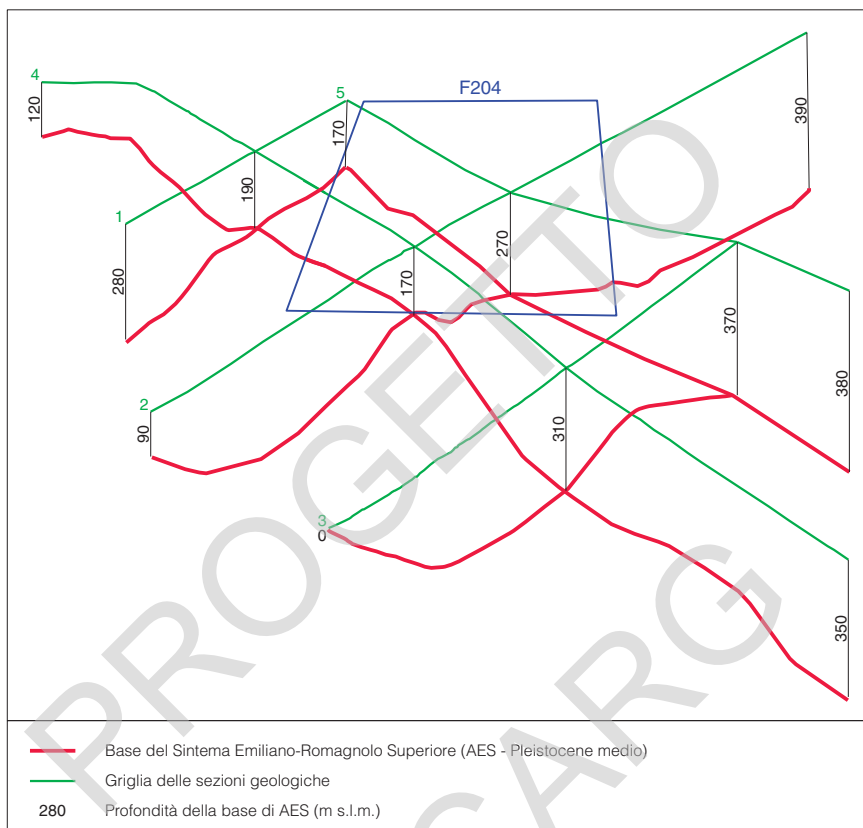


Fig. 9b - Block diagram in cui è evidenziato l'andamento e la profondità della base di AES a scala regionale.

Le sezioni geologiche profonde del Foglio 204 (Foglio Allegato alla Carta Geologica e Appendice 3) mostrano che l'assetto strutturale profondo sopra descritto condiziona in parte anche l'evoluzione dei bacini sedimentari in cui si è deposita la successione del Pleistocene medio-Olocene, che è l'oggetto particolareggiato del rilevamento del Foglio stesso.

La sezione profonda "Budrio-Ostellato" mostra che i maggiori spessori della successione (circa 400 metri), ovvero il depocentro del bacino, che si rilevano a sud di Molinella si posizionano in corrispondenza di una sinclinale profonda (vedi sopra) mentre i settori in corrispondenza di Budrio e Consandolo, in cui si osserva la riduzione di spessore della successione (rispettivamente circa 200 e circa 250 metri), si localizzano al di sopra di una fascia di culminazioni strutturali anch'esse profonde (vedi sopra). E' più difficile da valutare l'influenza

di queste strutture antiche nei settori settentrionali e orientali del Foglio. Nella sezione “Budrio-Ostellato” e nella sezione “Ferrara-Comacchio” si osserva che la successione si espande progressivamente verso est e nord-est (fino a circa 400 metri), senza subire apparentemente alcun disturbo dalla strutture profonde. Si nota, tuttavia, che nel margine NO del Foglio, in prossimità di Gualdo e Cona, la successione si riduce nuovamente (a circa 250 metri) proprio in corrispondenza degli alti strutturali individuati nello schema strutturale.

Per rendere una sintesi del quadro geometrico regionale, in figura 9b, è riportato un *block diagram* costruito sulla base delle sezioni di cui sopra e delle sezioni geologiche profonde allegate ai Fogli 187, 203, 205 e 222. In particolare è rappresentata la base del sintema più superficiale conosciuta con maggior dettaglio ovvero la base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (si veda titolo VI). Si può notare in linea generale come il Foglio 204 si caratterizzi per la risalita di questa superficie verso valori mediamente inferiori a 200 m, mentre tale superficie si approfondisce nei settori meridionali, in corrispondenza della sinclinale Fusignano - Conselice (Foglio 222, profondità fino a 300 m), e nei settori nord-orientali e orientali (rispettivamente Foglio 187 e Foglio 205, profondità fino a 390 m).

L'integrazione dell'analisi strutturale con quella stratigrafica descritta nel titolo seguente suggerisce che la strutturazione tettonica non ha solo preceduto ma anche accompagnato la sedimentazione della successione in esame. In particolare il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES registra un progressivo spostamento verso mare delle facies continentali con un brusco avanzamento dei sistemi deposizionali in corrispondenza del limite fra due suoi subsistemi AES₅ e AES₆ (si veda il titolo VI, par. 2.2.) corrispondente ad un riassetto paleogeografico che non ha relazioni con particolari cambiamenti climatici e quindi verosimilmente imputabile ad un origine strutturale.

VI - STRATIGRAFIA

1. - DEFINIZIONE DEL CRITERIO STRATIGRAFICO UTILIZZATO

La successione sedimentaria, oggetto di studio nel rilevamento del Foglio 204, fa parte della successione post-evaporitica del margine padano-adriatico. Lo studio ha riguardato soprattutto la successione del Pleistocene medio e superiore e quella dell'Olocene. Nel Foglio 204 affiorano unicamente i depositi olocenici; la successione pleistocenica è stata investigata attraverso lo studio del sottosuolo.

L'analisi stratigrafica è stata condotta seguendo i criteri della stratigrafia fisica, in accordo con quanto definito dalle linee guida per il rilevamento della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE 1992) e le successive integrazioni, coerentemente con quanto effettuato nei Fogli limitrofi.

La definizione delle unità si basa sul riconoscimento di una ciclicità sedimentaria e sull'individuazione di superfici più o meno facilmente identificabili attraverso i dati a disposizione e tracciabili con continuità sia localmente sia alla scala del bacino.

Le unità così definite nel sottosuolo del Foglio 204 sono state confrontate ed infine correlate con le UBSU (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units*; SALVADOR, 1994) riconosciute nel margine appenninico e nell'immediato sottosuolo del settore romagnolo ed oggetto della cartografia dei Fogli 221, 222, 239 e 240.

L'individuazione di limiti inconformi nei depositi di sottosuolo della Pianura Padana non è sempre semplice a causa di più fattori: l'assenza di linee sismiche ad alta risoluzione che permettano di individuare la geometria della stratificazione di questi depositi; la difficoltà di tracciare tali superfici a causa di un blando o assente contrasto di facies; il progressivo passaggio delle superfici

di discontinuità alle relative superfici di continuità stratigrafica. Per facilitare l'individuazione delle principali superfici di discontinuità stratigrafica e la loro correlazione a scala di bacino sono stati necessari approfonditi studi sedimentologici e micropaleontologici, che hanno avuto come riferimento i precedenti lavori di AMOROSI *et alii* (1999b, 2004) e la CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna (2002), Foglio 256 Rimini (2005) ed i Fogli 240 Forlì e 241 Cervia (2005).

La nomenclatura stratigrafica utilizzata nelle presenti note si basa largamente su quanto riportato in REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998): i depositi studiati sono stati raggruppati nel Supersintema Emiliano-Romagnolo, suddiviso nel Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e nel Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES, fig. 3). All'interno di quest'ultimo sono state distinte unità di rango inferiore (subsintemi) corrispondenti a cicli sedimentari, generalmente *coarsening-upward*, di tipo trasgressivo-regressivo.

2. - SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di RICCI LUCCHI *et alii*, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi, nel settore orientale, includono depositi alluvionali che passano verso est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. Il limite inferiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo affiora esclusivamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi dove è fortemente discordante sui depositi marini mio-pliocenici e del Pleistocene medio. Verso NE, la superficie di discordanza si immerge in profondità e passa verosimilmente ad una superficie di continuità stratigrafica e/o paraconcordanza.

Il limite superiore coincide col piano topografico. L'età dell'unità è Pleistocene medio - Attuale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

In accordo a quanto riportato nella CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 Foglio 256 Rimini (2005), Foglio 240 Forlì e 241 Cervia (2005), nonché in altri Fogli in corso di completamento o di stampa del margine appenninico (Fogli 180, 181, 199, 219, 220, 239 e 255), nel Foglio 204 il Supersintema Emiliano-Romagnolo comprende due sintemi distinti (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES) che sono stati riconosciuti e tracciati anche nelle porzioni di sottosuolo (AMOROSI & FARINA, 1995; REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Nel Foglio 204 affiorano solo i depositi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati solo nel sottosuolo della pianura.

Per migliorare la ricostruzione delle geometrie e del significato stratigrafico dei principali corpi sabbiosi del Supersintema Emiliano-Romagnolo (la cui

analisi stratigrafica è stata estesa ad un ampio settore comprendente i Fogli 187, 203, 205, 222 e 223) è stata eseguita, in accordo con quanto fatto nel rilevamento dei Fogli limitrofi (es. CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Fogli 240 Forlì e 241 Cervia, 2005), l'analisi petrografica di alcuni campioni di sabbia che ha permesso di individuare l'area di provenienza di tali corpi sedimentari. I corpi sabbiosi lateralmente più continui (scala delle decine di km) e spessi (10-50 m), di granulometria media e grossolana, di geometria tabulare e con tendenza a chiudersi verso il margine appenninico sono stati attribuiti ad un'area di provenienza padana; i corpi sabbiosi più discontinui e sottili, di granulometria più variabile (mediamente intorno alle classi delle sabbie medie e fini), con geometrie più variabili e che mostrano la tendenza a saldarsi verso il margine appenninico con i corpi ghiaiosi di conoide, sono stati attribuiti ad un'area di provenienza appenninica. Tale distinzione è stata operata tramite: a) la facies elettrica dei log AGIP, b) la facies osservata nei carotaggi, c), l'analisi petrografica qualitativa di terreno eseguita sulle carote e quantitativa eseguita in sezione sottile su alcuni campioni di controllo, d) le geometrie di correlazione dei corpi.

Nelle sezioni geologiche profonde del Foglio Allegato alla Carta Geologica di Superficie e in Appendice 3 si osserva che il supersistema si caratterizza, nel suo complesso, per la progradazione dei sistemi deposizionali alluvionali da SO verso NE ed il conseguente arretramento dei depositi deltizi e marini. Tale progradazione mostra due fasi di sviluppo distinte a cui sono stati attribuiti, rispettivamente, i due sistemi in cui il supersistema è stato suddiviso: AEI ed AES. La prima è dominata da facies fluvio-deltizie per lo più costituite da sabbie di provenienza padana, mentre nella seconda si sviluppano le facies francamente fluviali di conoide e di piana alluvionale legate a sistemi di provenienza appenninica.

L'organizzazione spaziale dei depositi viene interpretata come il prodotto del riempimento del bacino Padano che avviene in concomitanza col sollevamento del margine appenninico e col conseguente avanzamento verso NE dei sistemi deposizionali appenninici.

2.1. - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI) (solo sottosuolo)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) costituisce la parte più antica del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Nel Foglio 204 non è presente in affioramento ma è stato individuato nel sottosuolo, sulla base dei log elettrici ENI-AGIP e delle geometrie delle unità stratigrafiche ricostruite attraverso le sezioni geologiche.

Il limite inferiore coincide con quello del supersistema ed è stato descritto nel paragrafo precedente. Al suo interno l'unità è costituita da alternanze cicliche di depositi fini (prevalentemente argille e limi) e depositi grossolani (prevalentemente sabbie) organizzati spesso in sequenze di tipo *coarsening-upward*, spesse circa 30-40 metri, costituite da facies fluvio-deltizie e di piattaforma del

sistema padano (ben evidenti nei log ENI-AGIP Selva 7 e Case Borra 2). Nelle zone depocentrali del bacino (si veda la sez. prof. “Budrio-Ostellato”), l’unità è costituita da tre sequenze sovrapposte con i caratteri sopra descritti.

Lo spessore dell’unità varia in base alla presenza delle strutture tettoniche profonde ed è massimo (circa 120-130 metri) a nord di Budrio, in corrispondenza dell’asse della sinclinale regionale ed è minimo (circa 80-90 metri) in prossimità di Consandolo ovvero delle culminazioni strutturali. L’età dell’unità è attribuita, per posizione stratigrafica, al Pleistocene medio (tra 400-430.000 anni e 650.000 anni, REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

2.2. - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione superiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo. La ricostruzione dell’organizzazione dei corpi litologici attribuiti ad AES è illustrata nelle sezioni geologiche profonde e la figura 10 rappresenta la sintesi dell’architettura stratigrafica dell’unità che ne è stata desunta.

In affioramento AES è costituito da depositi di piana deltizia ed, in parte, di piana alluvionale. Nel sottosuolo è caratterizzato da un’alternanza tra depositi di ambiente deltizio, marino e continentale. Il limite inferiore del sintema non affiora nel Foglio 204: nei Fogli prossimi al margine appenninico è dato da un contatto erosivo e fortemente discordante sui depositi marini mio-pliocenici dell’Appennino e sulle Sabbie di Imola e corrisponde a quello dell’intero supersintema. Nel sottosuolo del Foglio 204 tale limite è meno marcato da un punto di vista litologico, poiché mette a contatto i depositi fluvio-deltizi padani di AES con quelli di AEI ed è riconoscibile solo come superficie di avanzamento verso NE a scala regionale dei sistemi deposizionali più marcatamente continentali (sezioni geologiche profonde del Foglio Allegato e Appendice 3). Il limite superiore corrisponde all’attuale superficie topografica.

La ciclicità sedimentaria

Nel sottosuolo della pianura AES è costituito dalla sovrapposizione di cicli sedimentari di diverso ordine gerarchico. I cicli più facilmente riconoscibili e cartografabili raggiungono nelle zone depocentrali lo spessore di circa 60-100 m, e sono generalmente organizzati verticalmente in sequenze *coarsening-upward* (CU) e in sequenze *fining-upward/coarsening upward* (FU/CU,) entrambe caratterizzate da un’evoluzione di tipo trasgressivo-regressivo (T-R). Come esempi di questo tipo di ciclicità nei depositi fluviali relativi ad altri contesti geologici si vedano: SHANLEY & McCABE (1994), OLSEN *et alii* (1995), KHAN *et alii* (1997) ed, in particolare, BURNS *et alii* (1997) e la sintesi proposta in BLUM & TÖRNQVIST (2000).

Il limite inferiore di ognuno di questi cicli rappresenta una superficie di disattivazione della sedimentazione fluviale grossolana che si correla nel settore

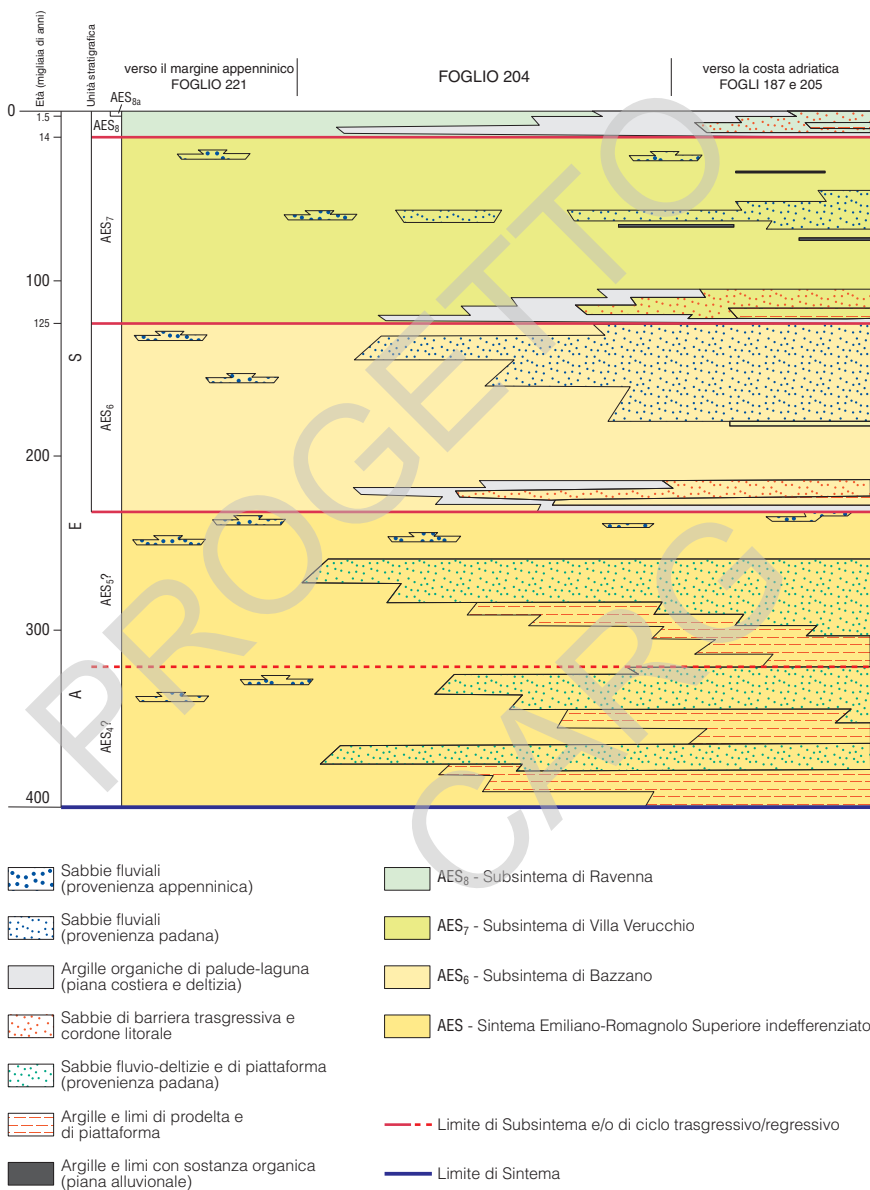


Fig. 10 - Schema cronostratigrafico del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) utilizzato per il Foglio 204 comprendente le relazioni con i Fogli limitrofi.

litorale con una superficie di ingressione marina. Questo limite quindi, nella maggior parte dei casi, ha una espressione fisica evidente ed è riconoscibile nel sottosuolo come un forte contrasto di facies.

In corrispondenza di queste superfici sono state frequentemente individuate lacune stratigrafiche (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA a scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002; Foglio 256 Rimini, 2005 e Foglio 205 Comacchio, in stampa) della durata di diverse migliaia di anni; questo requisito e la loro buona riconoscibilità e cartografabilità ne supporta l'utilizzo come limiti di UBSU.

Il ciclo più recente è l'unico affiorante nel Foglio 204, è costituito dalle associazioni di facies trasgressive ed, in minor parte, da quelle regressive immediatamente successive (unità AES₈, si veda oltre).

Questi cicli sedimentari sono considerati il prodotto della ciclicità elementare climatico-eustatica di quarto ordine che caratterizza la storia del Quaternario (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

La definizione dei subsintemi

Sulla base della prosecuzione fisica e/o geometrica dei corpi ghiaiosi di terrazzo e di conoide alluvionale, i tre subsintemi più recenti (AES₆, AES₇, AES₈) riconosciuti negli affioramenti del margine appenninico del settore romagnolo (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA a scala 1:50.000 Foglio 256 Rimini, 2005; Foglio 240 Forlì e 241 Cervia, 2005; Foglio 239 Faenza e Foglio 221 Bologna, in stampa) sono stati correlati con i tre cicli sedimentari più superficiali riconosciuti nel sottosuolo della pianura. Questi tre cicli più superficiali del sottosuolo sono quelli meglio definiti a scala regionale dato il numero relativamente alto di pozzi che li attraversano, compresi diversi carotaggi appositamente eseguiti per la cartografia geologica (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998; CARTA GEOLOGICA D'ITALIA a scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002; Foglio 256 Rimini, 2005; Foglio 240 Forlì e 241 Cervia, 2005).

Nei depositi sepolti di AES al di sotto dei primi tre cicli/subsintemi sono presenti altri due cicli deposizionali che sono conosciuti in modo più approssimativo dato il numero esiguo di informazioni geognostiche disponibili e sono stati attribuiti ad AES indifferenziato (fig. 10). Questi due cicli hanno caratteri simili ai cicli sovrastanti sebbene presentino potenti corpi sabbiosi fluvio-deltizi di alimentazione padana più spostati verso SO rispetto ad AES₆, AES₇ ed AES₈. In futuro l'acquisizione di nuovi dati, soprattutto cronologici, su questi due cicli inferiori potrebbe avvalorare la correlazione con i subsintemi AES₅ e AES₄ affioranti nel margine appenninico.

Nel Foglio 204 AES è costituito, in affioramento, dal solo AES₈.

Lo spessore di AES varia da circa 300 m nei settori a sud e a nord del Foglio a meno di 200 m in corrispondenza dell'allineamento Argenta - Marrara.

L'età della base del sistema è attribuita, per posizione stratigrafica e per confronto coi cicli climatico-eustatici, al Pleistocene medio (circa 400-430 ka,

REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). I depositi del tetto dell'unità sono attualmente in evoluzione e la loro età è olocenica.

2.2.1. - *Subsintema di Bazzano (AES₆)* (solo sottosuolo)

L'unità è presente nel Foglio 204 solo nel sottosuolo, è attraversata interamente dai sondaggi 204-S4, 204-S15, 204-S16, 204-S17 ed è costituita da un ciclo trasgressivo-regressivo interamente sviluppato.

Alla base il ciclo è costituito da depositi deltizi e litorali che poggiano, a volte con un forte contrasto di facies, su depositi alluvionali del ciclo sottostante (si veda ad es. il sondaggio 204-S16). Verso sud, nei Fogli 221 e 222, le facies marino-marginali passano a facies continentali e il limite con il ciclo sottostante diviene meno netto ed è cartografabile con maggiore difficoltà.

Nella porzione intermedia e superiore il ciclo è costituito da depositi alluvionali, organizzati generalmente in una sequenza di tipo *coarsening-upward*, caratterizzata al tetto dallo sviluppo di uno spesso ed esteso corpo sabbioso di origine padana. Localmente si osserva, intercalato ai depositi alluvionali, un sottile livello di depositi fini palustri e lagunari che registra un'ingressione marina di entità minore rispetto a quella documentata alla base dell'unità.

In prossimità del margine appenninico (Foglio 221, sez. prof. "Budrio-Ostellato" e Foglio 222), questa unità corrisponde ad un ciclo di tipo *coarsening-upward* dei depositi delle conoidi alluvionali appenniniche, caratterizzato al tetto dallo sviluppo delle facies ghiaiose di riempimento di canale fluviale.

La serie pollinica ottenuta dal sondaggio 204-S4, sebbene sia interrotta in più punti da campioni sterili, in corrispondenza di questa unità mostra alcuni spettri pollinici tipici; in particolare, nella porzione inferiore, si registra la diffusione delle latifoglie arboree più termofile e la diminuzione di *Pinus*. Le elevate concentrazioni polliniche sono indicative, oltre che di migliore conservazione, anche di alta produzione pollinica legata allo sviluppo delle foreste per l'instaurarsi di condizioni climatiche temperate. Gli intervalli caratterizzati dalle latifoglie sono separati da altri intervalli caratterizzati dalla dominanza di *Pinus* ed elementi non-arborei e da basse concentrazioni polliniche, che indicano quindi un paesaggio molto diverso, deforestato e occupato da formazioni arboreo-arbustive dovuto a condizioni climatiche nettamente diverse e di tipo glaciale.

Questa alternanza rende questi intervalli confrontabili con quelli del sondaggio 223-S17 attribuiti allo stadio isotopico 7 (cfr. AMOROSI *et alii*, 1999b).

L'unità è sigillata al tetto, con contatto netto, dai depositi trasgressivi marino-marginali e dai depositi alluvionali fini ad essi laterali del ciclo sovrastante.

Lo spessore del subsintema varia da circa 30 metri a circa 70 metri, nei settori settentrionali ed orientali del Foglio. La sua età, desunta dalla posizione stratigrafica, è riferibile al Pleistocene medio. Sulla base della correlazione della successione con la scala dei cicli climatico-eustatici (PETIT *et alii*, 1999) si può presupporre un'età compresa fra c.a. 230-240 ka e 120-130 ka.

2.2.2. - *Subsistema di Villa Verucchio (AES₇)* (solo sottosuolo)

L'unità è presente nel Foglio 204 solo nel sottosuolo, è attraversata interamente dai sondaggi 204-S4, 204-S15, 204-S16, 204-S17 ed anch'essa è costituita da un ciclo sedimentario trasgressivo-regressivo completo.

La porzione basale trasgressiva del ciclo è costituita, nel settore nord orientale ed orientale, da depositi marino-marginali che passano verso sud e verso ovest a depositi lagunari e palustri della piana deltizia e quindi a depositi alluvionali fini, spesso con presenza abbondante di sostanza organica. Il contatto basale di queste associazioni di facies sui depositi alluvionali di AES₆ costituisce il limite inferiore dell'unità.

Nella porzione intermedia e superiore il ciclo è costituito da alternanze di sabbie limose, limi sabbiosi, limi ed argille di piana alluvionale. Questi depositi sono generalmente organizzati in sequenze di tipo *coarsening-upward* (si vedano ad es. i sondaggi 204-S15 e 204-S16), caratterizzate nel settore orientale e settentrionale dallo sviluppo al tetto di corpi sabbiosi di origine padana, estesi, continui e spessi fino ad una decina di metri. Dato il loro particolare interesse dal punto di vista sia stratigrafico sia geologico applicativo, sono oggetto specifico della carta riportata nel Foglio Allegato alla Carta Geologica e sono ampiamente descritti nelle sezioni geologiche superficiali del medesimo Foglio Allegato e dell'Appendice 3.

In prossimità del margine appenninico (Fogli 221 e 222) l'unità è contraddistinta al tetto dall'abbondante presenza di lobi ghiaiosi di conoide alluvionale che passano sottocorrente a corpi sabbiosi e sabbioso-limosi discontinui e di spessore limitato a qualche metro. Le datazioni radiometriche ¹⁴C (tab. 2) eseguite nei depositi organici e nei frammenti legnosi contenuti in questa porzione superiore e grossolana dell'unità hanno dato età comprese fra 18.200 +/- 1.000 e 35.500 +/- 3.000 anni (età B.P. non calibrata, rispettivamente sondaggi 204-S1 e 204-S4).

Il limite di tetto di AES₇ non affiora nel Foglio 204. Esso viene posto, nel sottosuolo, in corrispondenza del tetto dei depositi grossolani di canale fluviale sopra descritti oppure in corrispondenza del tetto dei depositi fini di piana inondabile che ne costituiscono l'equivalente laterale e/o sottocorrente. Nella gran parte del Foglio tale superficie è ricoperta dai depositi organici di piana alluvionale e di palude/laguna, che corrispondono alla base del subsistema sovrastante (AES₈). Nei settori verso mare (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002, Fogli 240 Forlì e 241 Cervia, 2005) il tetto del subsistema è ben definito dal contatto dei depositi trasgressivi di AES₈ sui depositi di piana alluvionale di AES₇ riferibili all'acme dell'ultima glaciazione (18-20.000 anni B.P.). Nelle aree a mare (CARTA GEOLOGICA DEI MARI ITALIANI in scala 1:250.000 Foglio NL 33-10 Ravenna, 2001) questi ultimi affiorano direttamente sul fondo dell'Adriatico; datazioni effettuate su livelli ricchi in materia organica e/o torbe hanno fornito età sempre maggiori di 20.000 anni B.P. (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:250.000 Foglio NL 33-10 Ravenna, 2001; FABBRI *et alii*, in stampa).

Le analisi polliniche eseguite nei depositi di AES₇ del sondaggio 204-S4 riguardano l'intera unità. I dati relativi alla porzione inferiore evidenziano un intervallo caratterizzato da associazioni a forte dominanza delle latifoglie arboree più termofile che testimoniano la diffusione marcata delle foreste temperate a seguito dell'instaurarsi di condizioni climatiche di tipo interglaciale, calde ed umide. In questo intervallo *Pinus* è estremamente ridotto e le concentrazioni polliniche totali mostrano valori medio alti a testimonianza dello sviluppo di una copertura forestale densa. Il passaggio tra questo intervallo e le associazioni tipiche di ambiente freddo glaciale dell'unità sottostante è brusco. Al di sopra di questo intervallo si osserva un generale progressivo declino della foresta temperata, fino ad arrivare, nella porzione superiore, alla completa scomparsa di queste foreste per l'instaurarsi di condizioni climatiche glaciali. La piena affermazione di queste condizioni fredde ed aride quindi è testimoniata dallo sviluppo di una vegetazione dominata da *Pinus* con percentuali alte di elementi non arborei, tra cui in particolare quelle resistenti all'aridità, di ambiente steppico.

L'unità ha uno spessore variabile da circa 40 metri a circa 90 metri, riscontrato nei settori settentrionali e orientali del Foglio.

La natura trasgressivo-regressiva dei depositi del subsistema, la distribuzione pollinica, le età radiometriche, nonché le analogie con aree limitrofe (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna, 2002; Foglio 222 Lugo, in stampa; Foglio 256 Rimini, 2005 e Fogli 240 Forlì e 241 Cervia, 2005) consentono di correlare AES₇ con il ciclo climatico-eustatico compreso fra gli stadi isotopici 5e (Tirreniano *Aucctt.*) e 2 della curva degli isotopi dell'ossigeno di MARTINSON *et alii* (1987). Sulla base di questa considerazione l'età del subsistema è attribuita all'intervallo compreso fra c.a. 120-130 ka e c.a. 17.000 anni BP (Pleistocene superiore).

2.2.3. - *Subsistema di Ravenna (AES₈)*

Tutti i depositi quaternari affioranti nel Foglio 204 sono stati attribuiti a questo subsistema. Esso è attraversato per intero dalla gran parte delle indagini geognostiche della Banca Dati Geologici (figg. 7 e 8) trattandosi dell'unità affiorante e di spessore inferiore ad una trentina di metri, ed è pertanto l'unità meglio caratterizzata fra i depositi quaternari della pianura, per quanto riguarda sia la superficie sia il sottosuolo. La continuità fisica dei suoi depositi e delle superfici che la definiscono lungo tutta la pianura emiliano-romagnola orientale, la posizione stratigrafica e l'età hanno consentito di correlare questa unità con quella affiorante nell'area tipo (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna, 2002).

In quasi tutta l'area affiorante in esame l'unità è caratterizzata da depositi limosi-sabbiosi ed argillosi della piana deltizia del fiume Po. Nel margine SO del Foglio questi depositi passano ad argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di ambiente alluvionale (piana inondabile, argine, rotta, ecc.).

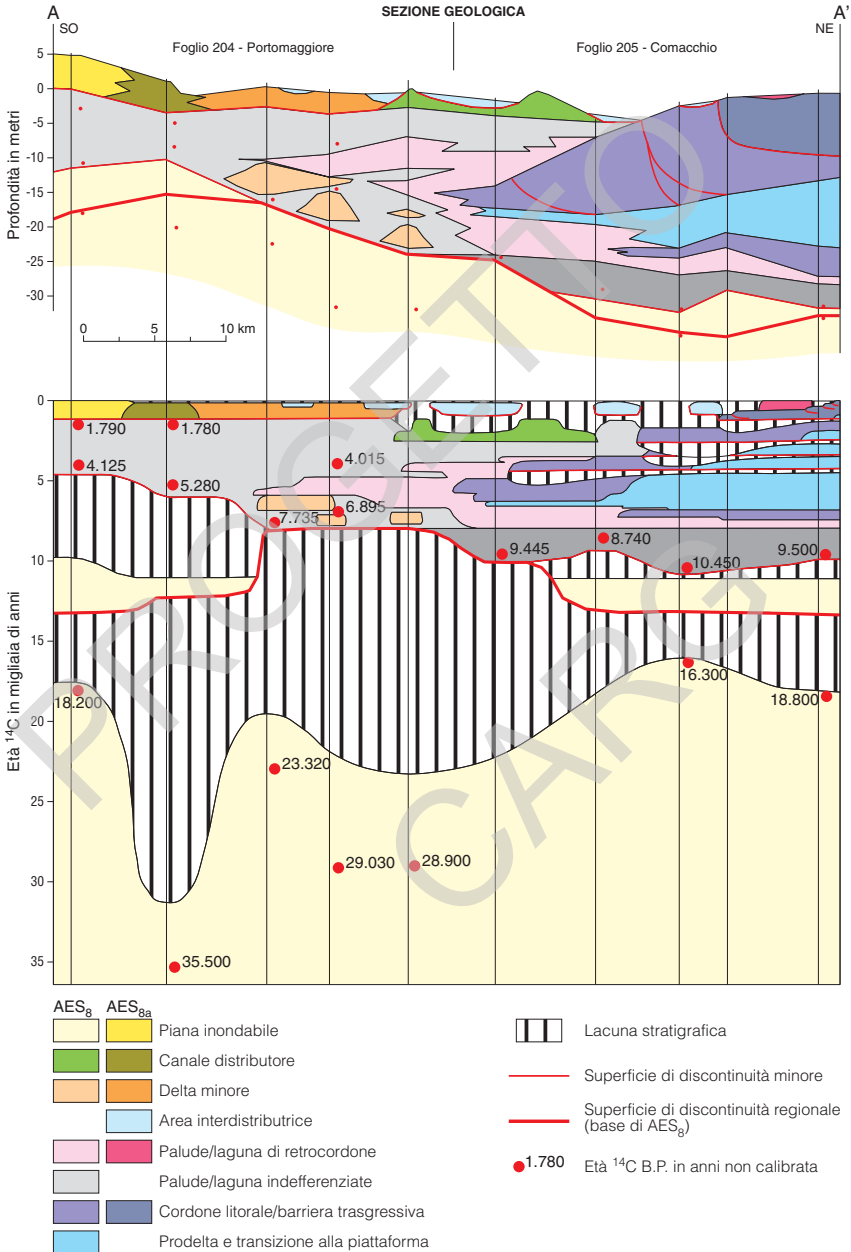


Fig. 11 - Schema litostratigrafico e cronostratigrafico di AES₈ costruito sulla base delle datazioni radiometriche e dell'analisi di facies dei depositi del Foglio 204 e del Foglio 205.

Il tetto del subsistema, che coincide con il piano topografico, presenta suoli con diverso grado di alterazione, i cui orizzonti superiori variano da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei, affiorano prevalentemente nei settori settentrionale ed orientale del Foglio. I suoli del settore orientale sono caratterizzati da un alto contenuto di materiale organico e l'assenza di carbonati è legato alle condizioni riducenti dell'ambiente deposizionale originale piuttosto che dall'invecchiamento del suolo stesso. In altre parole, in questo settore, l'assenza di carbonato non è indicativa dell'età del suolo.

I suoli non calcarei del settore settentrionale si sviluppano frequentemente sulle sabbie e limi dei dossi fluviali antichi; in questo caso l'assenza o la bassa concentrazione di carbonati è verosimilmente collegata all'età del suolo stesso. Ad essi sono associati i principali ritrovamenti di reperti archeologici di età romana (fig. 6). Il popolamento romano, è ben documentato specialmente fra Voghiera e Ostellato e si situa in corrispondenza di antichi dossi fluviali del Po.

I suoli calcarei, che occupano la gran parte della superficie affiorante, appartengono prevalentemente all'unità AES_{8a}. L'analisi di sottosuolo dei depositi di AES₈ indicano che essi costituiscono la porzione trasgressiva e quella iniziale regressiva di un ciclo trasgressivo-regressivo, simile a quelli descritti in precedenza, ma incompleto perchè attualmente in corso di evoluzione. La base di questo ciclo è caratterizzata da un contatto piuttosto netto tra depositi deltizi e depositi alluvionali al tetto del ciclo sottostante (AES₇).

In particolare, nel settore centrale, orientale e settentrionale i depositi basali di AES₈ sono costituiti da argille e limi con abbondante sostanza organica e testimoniano, come supportato anche dalle analisi micropaleontologiche, lo sviluppo di estesi ambienti di palude e laguna della piana deltizia e costiera. In questo caso il limite inferiore dell'unità è facilmente riconoscibile grazie al netto contrasto di facies tra questi depositi e quelli alluvionali sottostanti (AES₇). Nel settore occidentale e meridionale i depositi basali di AES₈ sono costituiti da alternanze di argille limi e sabbie di ambiente alluvionale che sono scarsamente differenziabili dalle facies alluvionali dell'unità sottostante; in questi settori del Foglio 204 il limite inferiore di AES₈ è pertanto di difficile individuazione.

L'età di questo intervallo basale organico, definita su basi radiometriche (tab. 2 e fig. 11), varia da 10.450 +/- 100 (sondaggio 205-S7) a 7.735 +/- 70 (sondaggio 204-S5). Deposit analoghi per facies, posizione stratigrafica ed età sono stati individuati in tutti i Fogli della pianura emiliano-romagnola (in particolare: CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002; Foglio 222 Lugo, in stampa; Foglio 256 Rimini, 2005 e Foglio 240 Forlì e 241 Cervia, 2005).

I risultati delle analisi polliniche sui campioni di questo intervallo stratigrafico e provenienti dal sondaggio 204-S4 mettono in evidenza che, in corrispondenza del limite basale dell'unità, si realizza il passaggio da condizioni climatiche glaciali (AES₇), testimoniate dalla diffusione di *Pinus* e associazioni arbustivo-erbacee di ambiente steppico, a condizioni climatiche interglaciali (AES₈) testimoniate dallo sviluppo marcato delle foreste temperate a latifolia.

Questi depositi fini e ricchi in sostanza organica della piana deltizia sono

presenti nel sottosuolo di quasi tutta l'area del Foglio e rappresentano una parte importante dello spessore complessivo del subsintema. Inoltre essi hanno un grande interesse in ambito applicativo (si veda il titolo VIII par. 2.) e per il loro significato paleogeografico pertanto sono stati uno degli oggetti scelti per la cartografia alla scala 1:50.000 del Foglio Allegato. All'interno di questi depositi sono presenti delle alternanze di sabbie e limi che costituiscono corpi lenticolari, spessi fino ad una decina di metri, attribuibili al riempimento di canali distributori e a complessi di delta minore. Nel margine di sud-est e in quello orientale sono anche presenti sottili livelli di limi e sabbia fine e media fossiliferi (le sabbie sono oggetto della cartografia in pianta alla scala 1:50.000 del Foglio Allegato) che testimoniano lo sviluppo di lagune e paludi salmastre associate ad aree di spiaggia o di foce fluviale, come confermato dalle analisi micropaleontologiche. Questi ambienti più marcatamente marino-marginali e prossimi alla linea di costa documentano le fasi di massima ingressione marina in quest'area.

La transizione alla porzione regressiva del ciclo è generalmente graduale ed è espressa dalla progradazione dei depositi di palude-laguna sui depositi litorali e di retrobarriera nel settore orientale e quindi da quella dei depositi di piana alluvionale sui depositi di palude-laguna nel settore di SO.

Il subsintema ha una geometria complessiva relativamente tabulare con spessori massimi che si aggirano intorno ai 25 metri e spessori minimi di circa 15 metri, riscontrati nel settore di NO.

Sebbene sulla base dei dati radiometrici, a scala regionale (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 222, in stampa; Foglio 256 Rimini, 2005; Foglio 240 Forlì e 241 Cervia, 2005), l'età del subsintema è compresa fra c.a. 14.000 anni (B.P. non calibrata) e l'Attuale (si veda la fig. 11), nel Foglio 204 l'età più antica riscontrata è 9.050+/-85 (BP non calibrata) il che suggerisce che la lacuna stratigrafica alla base del subsintema sia, in quest'area, più marcata che in quelle settentrionali (cfr. con CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna, 2002).

Analogamente a ciò che è stato fatto negli altri Fogli della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 in corso di realizzazione o stampa della pianura emiliano-romagnola, in questo subsintema è stata distinta una unità di rango gerarchico inferiore, l'unità di Modena (AES_{8a}), la quale contiene i depositi più superficiali (sempre affioranti) e più recenti del Foglio, compresi quelli attualmente in evoluzione (si veda il lavoro di CREMASCHI & GASPERI, 1989 per quanto riguarda la descrizione dei depositi rilevati nella località tipo). Essa è ampiamente presente nel Foglio ed include i depositi attualmente in evoluzione (compresi quelli fluviali appartenenti a b₁).

AES_{8a} è un'unità pellicolare, di pochi metri di spessore, che raggiunge i 10 m solo localmente, in corrispondenza dei dossi fluviali. Lo spessore è maggiore nel settore sud-occidentale e tende a diminuire verso il margine settentrionale ed orientale.

La base di AES_{8a} è individuata dal contatto, in discontinuità stratigrafica tra

i depositi alluvionali e il tetto di AES₈, che contiene i reperti di epoca romana o più antica in posto.

Al tetto di AES_{8a} è presente un suolo poco evoluto, non calcareo sviluppato sui depositi deltizi fini con sostanza organica e più o meno calcareo altrove, di pochi decimetri di spessore. Questa superficie di tetto è priva di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati ed è caratterizzata da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie (ad esempio canali distributori e piane interdistributrici).

Nel settore di SO, in corrispondenza del F. Reno, l'unità è costituita da depositi sabbioso-limosi di canale fluviale, argine e rotta e da depositi argilloso-limosi di piana inondabile. Nei restanti settori, AES_{8a} è costituita da depositi limoso-sabbiosi di canale distributore e delta minore e depositi argilloso-limosi ricchi di sostanza organica di intercanale e di area interdistributrice, appartenenti al sistema deltizio padano; in particolare, questa porzione del delta è caratterizzata dall'apparato del Po di Primaro, da più antichi canali distributori attribuiti ad AES₈ (cfr. Po di Spina, Eridano, *Aucctt.*) e comprende nel margine di NE, e solo in parte, il Po di Volano.

L'età di AES_{8a} è riferita all'epoca post-romana, sulla base dei seguenti caratteri:

- 1) la presenza di abbondanti e frequenti reperti romani (e più antichi) al tetto dei depositi sottostanti, fra i quali si segnalano strutture ben conservate che indicano il livello dell'antico piano di calpestio (edifici, strade, ecc.);
- 2) l'assenza di questi reperti all'interno dei depositi di AES_{8a} o la loro presenza esclusivamente come elementi rimaneggiati;
- 3) l'alterazione pedogenetica modesta o del tutto assente della superficie affiorante di AES_{8a}.

Più in dettaglio i dati storici ed archeologici indicano che l'unità si è deposta a partire dal IV-VI secolo d.C., in corrispondenza di un periodo di mutate condizioni climatiche e allentato controllo antropico sul territorio causato dalla crisi dell'Impero Romano e ben attestato a livello nazionale (BONDESAN, 1986; CIABATTI & VEGGIANI, 1990; MONTEVECCHI & NOVARA, 2000; VEGGIANI, 1982, 1987).

Il ciclo trasgressivo-regressivo olocenico

La ciclicità dei depositi tardo-quadernari presenti nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola documenta la stretta relazione esistente tra la sedimentazione e le variazioni eustatiche. L'ultima sequenza deposizionale, depostasi tra l'ultimo acme glaciale (20.000 anni B.P.) e l'attuale periodo interglaciale, registra la fase di risalita relativa del livello del mare e il successivo ed attuale stazionamento alto dello stesso. In corrispondenza dell'acme glaciale il livello del mare si trovava circa 120 metri più in basso rispetto all'attuale; la risalita relativa del livello del mare, avvenuta tra 16.000 e circa 5.500 anni B.P., determinò una rapida migrazione della linea di costa di oltre 250 km verso nord-ovest ed un aumento di circa 8 volte della superficie sommersa nell'area dell'Adriatico centro-settentrionale (TRINCARDI *et alii*, 1994; CORREGGIARI *et alii*, 1996a, b; CATTANEO

& TRINCARDI, 1999). Il ciclo trasgressivo-regressivo, definito come Subsintema di Ravenna (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna, 2002), presenta uno spessore massimo di circa 30 m ed è caratterizzato da una stratigrafia complessa che riflette l'evoluzione dei diversi ambienti deposizionali della Pianura Padana durante l'Olocene. Nell'area del Foglio 204 il Subsintema di Ravenna è costituito da un cuneo di depositi delizio-litorali a geometria retro-progradazionale.

In Adriatico i depositi trasgressivi documentano gli effetti dei cambiamenti avvenuti, in seguito alla rapida risalita di livello del mare, nel regime degli apporti sedimentari e nell'assetto fisiografico e oceanografico (CORREGGIARI *et alii*, 1996b; CATTANEO & TRINCARDI, 1999). Lo studio di dettaglio dei depositi costieri trasgressivi presenti nell'area della piattaforma adriatica è stato avviato nell'ambito del progetto di CARTOGRAFIA GEOLOGICA DEI MARI ITALIANI alla scala 1:250.000 e di altre ricerche condotte dall'ISMAR-CNR (Istituto di Scienze Marine, sezione di Geologia Marina di Bologna). L'ultimo ciclo di fluttuazione di livello del mare ha prodotto risultati erosivo/deposizionali differenziati procedendo dall'area settentrionale dell'Adriatico, caratterizzata da bassa profondità e gradiente ridotto, a quella meridionale che presenta una minore estensione, un maggiore gradiente ed un'elevata complessità morfologica a causa dell'alto strutturale delle Tremiti e di altre strutture sepolte di minore entità. L'analisi del contenuto fossilifero dei campioni di sedimento prelevati e le datazioni radiometriche hanno permesso di ricostruire una curva di variazione del livello del mare relativo all'area adriatica che è stata confrontata con le curve eustatiche estratte da altri archivi geologici (FAIRBANKS, 1989; BLANCHON & SHAW, 1995; BARD *et alii*, 1996; LOCKER *et alii*, 1996). Tutti i depositi datati in Adriatico si trovano a profondità compatibili con le curve pubblicate in letteratura, tranne che i campioni più vecchi di età riferibile all'episodio dello Younger Dryas, che appaiono meno profondi rispetto alla maggior parte delle curve conosciute (CORREGGIARI *et alii*, 1996b). Le fasi di massima velocità di annegamento della piattaforma e migliore preservazione dei depositi trasgressivi coincidono con le fasi di più rapido scioglimento delle calotte glaciali (FAIRBANKS, 1989; FAIRBANKS *et alii*, 1992; CORREGGIARI *et alii*, 1996b). La massima ingressione marina, datata intorno a 6.000 anni B.P., produsse uno spostamento della linea di costa di oltre 25 km ad ovest rispetto all'attuale posizione.

Nella successiva fase di stazionamento alto del mare, l'eccedenza degli apporti sedimentari rispetto allo spazio disponibile per la sedimentazione, determinò una regressione deposizionale (progradazione) con conseguente migrazione verso mare di tutti gli ambienti deposizionali e formazione, attraverso varie fasi, dell'attuale delta del Po. La progradazione non si è realizzata in maniera continua ma è stata caratterizzata da fasi alterne di costruzione e abbandono di sistemi deltizi e litorali in risposta sia a cicli climatici ad alta frequenza, sia a fattori autociclici e antropici. Questi ultimi rivestono una particolare importanza in quest'area di bassa pianura, che ha subito nel corso degli ultimi 3-4.000 anni importanti modificazioni a causa degli interventi antropici volti a controllare e indirizzare il corso dei fiumi per poter sviluppare le proprie attività produttive.

VII - SISTEMI DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE

Secondo la normativa sul rilevamento e la cartografia geologica dei depositi quaternari le UBSU descritte in carta vengono caratterizzate anche sulla base delle litologie e degli ambienti deposizionali (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992). Nella Carta Geologica di Superficie questa caratterizzazione viene rappresentata con l'ausilio di sovrassegni che si accompagnano alla tradizionale colorazione delle unità stratigrafiche. Il presente capitolo è dedicato alla descrizione delle associazioni di facies e dei relativi ambienti deposizionali riconosciuti nell'area del Foglio 204 (sia in superficie sia nel sottosuolo) e completa le informazioni già riportate nel capitolo sulla stratigrafia. Per la caratterizzazione dei depositi non affioranti si è fatto largo uso sia di osservazioni dirette (carotaggi appositamente realizzati) sia di quelle indirette (informazioni contenute nella Banca Dati Geognostici della Regione Emilia-Romagna o nei dati AGIP per l'esplorazione petrolifera). Fra le osservazioni indirette si sottolinea l'importanza delle prove penetrometriche elettriche con piezocono (CPTU) appositamente realizzate per il Progetto CARG e le cui potenzialità per la caratterizzazione dei sistemi deposizionali sepolti è stata già enfatizzata in AMOROSI & MARCHI (1999).

1. - DEPOSITI ALLUVIONALI

1.1. - PIANA ALLUVIONALE

1.1.1. - *Sabbie di riempimento di canale e di rotta fluviale* (solo sottosuolo)

Depositi costituiti da sabbie da medio-grossolane a molto fini, talvolta limose, e da limi con intercalazioni sabbiose e limi da argillosi a debolmente sabbiosi,

localmente con concrezioni arenacee e calcaree (fig. 12). Le sabbie sono generalmente organizzate in sequenze *fining upward* (FU) con base spesso erosiva e presentano al tetto un passaggio, netto o graduale, a limi ed argille ricchi in sostanza organica. Lo spessore del singolo corpo sabbioso è compreso fra 2 e 5 metri. Nelle CPTU questi corpi si caratterizzano per gli alti valori di resistenza alla punta ($> 100 \text{ kg/cm}^2$), il basso rapporto fra l'attrito laterale e la resistenza alla punta, i valori negativi di sovrappressione interstiziale ed il tipico andamento della curva della resistenza alla punta con il brusco aumento dei valori alla base e la progressiva diminuzione verso l'alto (AMOROSI & MARCHI, 1999). Le analisi petrografiche di campioni di sabbia hanno rivelato aree di provenienza per tali sedimenti sia dal bacino padano sia da quello appenninico. I corpi sabbiosi sono presenti solo nel sottosuolo dove si aggregano in corpi nastriformi coalescenti oppure tabulari e sono estesi da varie centinaia di metri a qualche chilometro. I corpi di provenienza padana mostrano una maggiore continuità laterale e spessori superiori (fino a 35 metri circa) rispetto a quelli dei corpi appenninici (fino ad una decina di metri circa). Sono interpretati come sequenze di riempimento di canale fluviale e, localmente, di rotta fluviale.

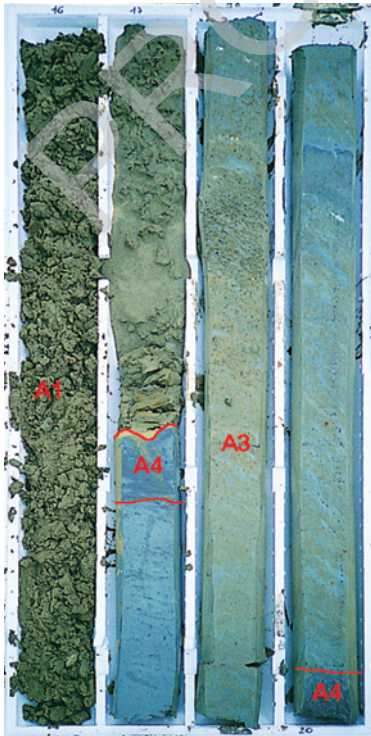


Fig. 12 - Sabbie medie e fini di riempimento di canale fluviale (A1) che si appoggiano con base netta ed erosiva su argille e limi con sostanza organica di palude (A4) che passano verso il basso ad argille e limi grigio-verdastre con aloni ("screziate") ocre di piana inondabile (A3) con alla base ancora depositi di palude (A4). Dettaglio del sondaggio 204-S14 da -16 m a -20 m (Subsistema di Ravenna - AES₈). Le sigle utilizzate fanno riferimento all'Appendice 1.

1.1.2. - *Alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale*

Depositi costituiti da alternanze di sabbie fini e finissime, spesso limose, in strati da sottili a spessi, e limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in strati da molto sottili a medi. Gli strati sono organizzati in sequenze *fining upward* (FU) o *coarsening-fining upward* (CU-FU). Localmente sono presenti sabbie medio-grossolane alla base delle sequenze positive ed intercalazioni di argilla al tetto. Lo spessore massimo è intorno a 5-6 m. Passano lateralmente a depositi di piana inondabile con contatti graduali.

Sono interpretati come depositi di argine e di rotta fluviale; nel caso di strati più spessi e di sabbie grossolane tali depositi sono stati interpretati come sequenze di riempimento di canale fluviale. Sono stati cartografati solo in superficie dove formano dei corpi rilevati a geometria nastriforme e lobata, di larghezza massima di circa 3.5 km e sono formati dalla coalescenza di più dossi fluviali e dei ventagli di rotta ad essi associati. Sulla loro superficie sono spesso visibili le tracce degli alvei abbandonati e dei canali di rotta.

1.1.3. - *Argille e limi di piana inondabile*

Depositi costituiti da argille e limi in strati medi e spessi con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose in strati da molto sottili a medi (fig. 12). Spesso le argille contengono tracce di apparati radicali e sono intensamente bioturbate per cui non sono più visibili la stratificazione e le strutture sedimentarie originarie. Sono stati cartografati solo in superficie dove affiorano nelle aree depresse interposte ai rilievi deposizionali degli argini, dei canali e delle rotte fluviali del settore di SO e fra questi e il dosso fluviale costituito dal Po di Primaro (“valli”). Formano corpi a geometria allungata parallelamente agli assi fluviali, che può divenire più complessa quando diverse aree interfluviali si saldano fra loro costituendo i bacini in cui si chiudono i depositi di argine, canale e rotta dei corsi d’acqua appenninici. Sono spessi generalmente pochi metri. Passano lateralmente a depositi di argine, canale e rotta fluviale con contatti graduali o a depositi di canale distributore con contatti netti. La maggior parte dei campioni prelevati si è rivelata sterile da un punto di vista micropaleontologico ed è caratterizzata da faune antiche rimaneggiate; solo in alcuni campioni sono stati individuati rari esemplari di ostracodi di ambiente ipoalino (*Ilyocypris gibba*) e dulcicolo (*Candona neglecta*) e frammenti di gasteropodi continentali.

Sono interpretati come depositi di piana inondabile.

Nel sottosuolo i depositi di argine e rotta e quelli di piana inondabile sono spesso difficili da distinguere e cartografare separatamente, per cui sono generalmente accorpati in un’unica voce: *argille, limi e sabbie di piana inondabile* (per es. nelle sezioni geologiche superficiali del Foglio Allegato e dell’Appendice 3).

1.1.4. - Argille e limi con sostanza organica (solo sottosuolo)

Depositi costituiti da argille e, in minor misura, da limi con contenuto variabile di sostanza organica indecomposta; si presentano in strati da sottilissimi a medi (raramente spessi) alternati ad argille, limi e, raramente, limi sabbiosi, in cui la sostanza organica è subordinata o assente. La presenza di sostanza organica indecomposta conferisce a questi depositi un colore grigio-nerastro. La sostanza organica può essere presente in lamine millimetriche, come frammenti vegetali o essere diffusa nell'argilla. Talora sono presenti diffusi fenomeni di bioturbazione che hanno obliterato tutte le strutture sedimentarie interne. Spesso sono anche presenti resti di gasteropodi continentali sparsi nella matrice argillosa. Nelle CPTU questi depositi si caratterizzano per i valori particolarmente bassi di resistenza alla punta ($< 10 \text{ kg/cm}^2$) e di attrito laterale, nonché valori molto alti di sovrappressione interstiziale (AMOROSI & MARCHI, 1999).

Lo spessore complessivo dell'associazione di facies varia da pochi decimetri a qualche metro. Questi corpi passano lateralmente e verticalmente a depositi di piana inondabile tracimazione fluviale in contatto da graduale a netto. Verso est nell'attuale area di piana costiera questi depositi passano, con contatto graduale, a depositi organici di palude-laguna.

Sono interpretati come depositi di palude effimera o permanente sviluppatasi in ambiente alluvionale.

2. - DEPOSITI DELTIZI, LITORALI E MARINI

2.1. - PIANA DELTIZIA

2.1.1. - Alternanze di sabbie e limi di canale distributore, di argine e rotta

Depositi costituiti da sabbie fini e finissime in strati da sottili a spessi, alternate a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi, in strati molto sottili e sottili, spesso laminati. Ad essi sono associate, in prossimità dei principali alvei e paleoalvei, sabbie da medie a fini in strati amalgamati, spesso organizzati in sequenze *fining upward* (FU). I frammenti vegetali possono essere localmente abbondanti e si osserva la presenza di intraclasti argillosi e di laminazioni trattive e gradazione diretta mentre i bioclasti sono generalmente assenti. Gli strati sono da sottili a medi, frequentemente gradati, con base netta o erosiva. L'area di provenienza delle sabbie è dal bacino padano. Formano corpi nastriformi (canali/argini), spessi fino ad oltre 10 m e larghi alcune centinaia di metri; localmente la forma è lobata (ventagli di rotta). Passano lateralmente con contatti da netti a gradualmente ai depositi di delta minore, di area interdistributrice e di piana inondabile.

Sono interpretati come depositi di argine e canale distributore sulla base delle relazioni geometriche con gli altri depositi del sistema deltizio padano (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1999) e dei dati storici. Questi depositi affiorano estesamente in tutto il Foglio e sono attribuiti all'attività di rami deltizi di diversa età (*i.e.* Po di Spina, Po di Volano, Po di Primaro).

2.1.2. - *Alternanze di sabbie e limi di delta minore*

Depositi costituiti da sabbie da medie a molto fini (fig. 13) a cui si intercalano limi e argille; sono generalmente organizzati in sequenze di tipo *fining upward* (FU) con base sia netta ed erosiva sia graduale. Si osserva sovente la presenza di sostanza organica e localmente di frammenti conchigliari. Formano corpi a geometria lobata e sezione lenticolare con spessore di circa 4-6 metri, incassati ed isolati nei sedimenti di area interdistributrice. Sulla base dei rapporti stratigrafici laterali e della loro distribuzione areale osservata dalle foto aeree e dalle immagini da satellite, questi depositi sono interpretati come depositi di delta minore in area interdistributrice (*bay-head delta*).

2.1.3. - *Argille e limi di intercanale*

Depositi costituiti da limi e argille limose con subordinate intercalazioni di sabbia fine e sabbia limosa. Si osserva la presenza di concrezioni calcaree ed ossidazioni e di locali orizzonti torbosi di spessore compreso tra 10 e 20 cm. Formano corpi lenticolari allungati e con geometrie complesse, con spessore variabile tra 1 e 4 m, che si sviluppano nelle aree topograficamente depresse.

Questi depositi si sviluppano nell'attuale apparato deltizio padano nella piana deltizia superiore e sono interpretati come depositi di intercanale fluvio-deltizio.

2.1.4. - *Argille, limi e torbe di area interdistributrice*

Depositi costituiti da argille limose, argille e limi argillosi variamente arricchiti in sostanza organica, intercalati localmente ad argille torbose e torba in strati da sottili a spessi e ad argille, limi e, raramente, limi sabbiosi, in cui la sostanza organica è subordinata od assente. Le strutture sedimentarie e la stratificazione sono spesso obliterate dalla bioturbazione; altrove è preservata una fitta laminazione piano-parallela o sottili strati sabbioso-limosi gradati. I resti conchigliari si rinvencono sia interi sia in frammenti ed appartengono ad organismi sia di ambiente salmastro sia di ambiente dulcicolo. Formano corpi a geometria lenticolare o tabulare lateralmente molto estesa, nelle zone depresse, spesso al di sotto del livello del mare, comprese tra i dossi formati dagli argini e dei canali distributori con cui hanno contatti gradualmente. Hanno spessore da pochi

decimetri fino ad un massimo di 3-4 m ed occupano la porzione orientale del Foglio. Sono interpretati come depositi di aree salmastre e/o palustri sviluppatasi nelle aree interdistributrici della piana deltizia inferiore.

2.1.5. - Argille e limi con sostanza organica di palude-laguna (solo sottosuolo)

Depositi costituiti da argille, argille limose e limi variamente arricchiti in sostanza organica indecomposta in strati da sottilissimi a medi (raramente spessi) di colore da grigio-azzurro a nero con intercalazioni argilloso-limose e più raramente sabbiose (fig. 13). La bioturbazione è presente e variabile; sono frequenti i resti conchigliari sia interi sia in frammenti. Comprendono al loro interno diverse litofacies:

- 1) argille e argille limose in lamine millimetriche spesso fortemente arricchite in sostanza organica (aspetto varvato), bioturbazione variabile, generalmente rara o assente, rari livelli con frammenti conchigliari; presenti frammenti di legno e locali intercalazioni di limi e limi sabbiosi in strati sottili (Argille

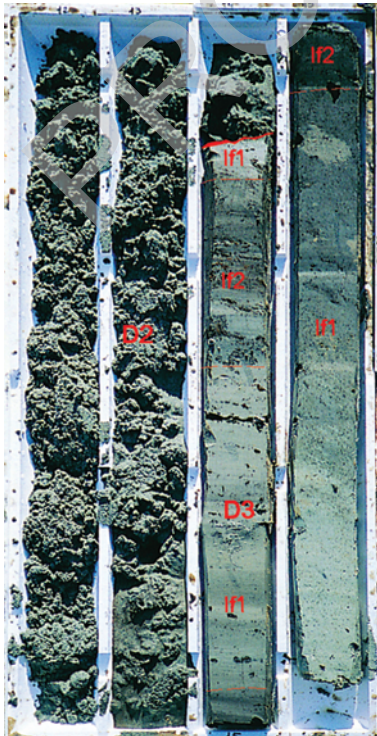


Fig. 13 - *Alternanze di sabbie fini e limi sabbiosi di delta minore (bay head delta) (D2), che si appoggiano con contatto netto ed erosivo su argille e limi con sostanza organica di palude-laguna (D3). Si osservano all'interno di D3: argille e limi bioturbati e localmente laminati ricchi in sostanza organica con diffusi frammenti di legno (litofacies 1, lf1); torbe e argille limose nere organiche (litofacies 2, lf2). Dettaglio del sondaggio 204-S11 da -12 m a -16 m (AES_{8a} - Unità di Modena). Le sigle utilizzate fanno riferimento all'Appendice 1.*

- lacustri);
- 2) argille e argille limose di colore da grigio scuro a nero-marrone con sostanza organica abbondante sia dispersa nel sedimento sia concentrata in livelli torbosi con spessori massimi di circa 1.5 metri (argille organiche e torbe palustri) (fig. 14);
 - 3) argille limose e limi argillosi con subordinate alternanze di sabbia fine e molto fine, con sostanza organica sparsa ma poco abbondante. Frammenti conchigliari e gusci interi di gasteropodi e lamellibranchi molto abbondanti, sia dispersi sia concentrati in livelli, bioturbazione diffusa (limi e sabbie di laguna);
 - 4) sabbie da fini a limose in strati sottili e medi (raramente spessi), bioturbate, con livelli a frammenti conchigliari frequenti (delta di marea o ventaglio di *washover*).

Alle litofacies precedenti si aggiungono, in stretta associazione, quelle corrispondenti alle “argille e limi con sostanza organica palustri” descritti nell’ambito dei sistemi di piana alluvionale.

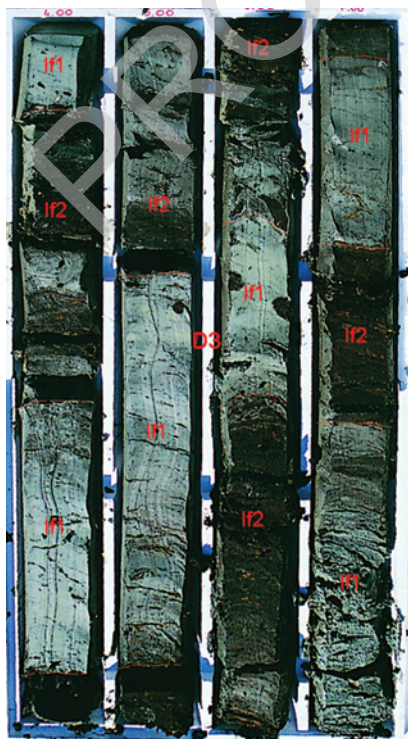


Fig. 14 - Argille e limi argillosi ricchi in sostanza organica di palude-laguna (D3); in particolare si riconoscono le litofacies 1 (lf1) e litofacies 2 (lf2). Dettaglio del sondaggio 204-S6 da -4 m a -8 m (AES_{8a} - Unità di Modena). Le sigle utilizzate fanno riferimento all'Appendice 1.

Nelle CPTU le litofacies 1, 2 e 3 si caratterizzano per i valori particolarmente bassi di resistenza alla punta ($< 10 \text{ kg/cm}^2$) e di attrito laterale (che spesso è al di sotto della risoluzione strumentale), nonché valori molto alti di sovrappressione interstiziale che si accompagnano a tempi di dissipazione particolarmente lunghi (AMOROSI & MARCHI, 1999). La litofacies 4 (riconoscibile dove questi depositi sono particolarmente estesi e spessi) si caratterizza come picchi isolati con base e tetto netti e spessore centimetrico e decimetrico dati da valori relativamente alti di resistenza alla punta, dalla caduta del rapporto fra l'attrito laterale e la resistenza alla punta e dal rapido decremento della sovrappressione interstiziale.

I depositi sono in transizione laterale con i depositi di cordone litorale, in prossimità dei quali raggiungono spessori di 10-15 m; la transizione laterale con questi depositi è sia netta sia graduale. I contatti variano da netti a transizionali con i depositi di piana inondabile e/o di palude. Sono presenti nel sottosuolo in quasi tutto il Foglio e sono oggetto specificamente della cartografia in scala 1:50.000 del Foglio Allegato.

Le analisi polliniche sul sondaggio 204-S1 rivelano in questi depositi l'abbondanza di *Alnus* e *Salix* e la presenza di piante acquatiche (*Potamogeton*, *Sparganium*) che indicano la prossimità di ambienti riparati e la presenza di specchi d'acqua dulcicoli. Si annovera anche la presenza di *Chenopodiaceae*, indicanti prossimità o presenza di ambienti salmastri.

Sono interpretati complessivamente come depositi di palude-laguna da dulcicola a salmastra, e costituiscono un insieme di depositi organici della piana costiera comprendenti i sedimenti di intercanale, di area interdistributrice e di retrocordone, non del tutto differenziabili gli uni dagli altri nei rilevamenti di sottosuolo. In particolare, le litofacies 1 e 2 testimoniano ambienti di piana deltizia a bassa energia e sporadicamente in connessione con il mare aperto (laghi costieri, paludi da dulcicola a salmastre, aree interdistributrici) e sono caratterizzate da faune continentali e raramente salmastre (ad es. l'ostracode *Cyprideis torosa*). Le litofacies 3 e 4 testimoniano ambienti della piana deltizia e di retrocordone, in connessione parziale con il mare aperto (lagune, baie, "sacche"), dove gli episodi di massimo influsso marino sono rappresentati da depositi di *washover* (litofacies 4). Queste ultime litofacies sono caratterizzate da microfaune di ambiente da salmastro (ad es. gli ostracodi *Cyprideis torosa*, *Leptocythere lagunae*, i foraminiferi *Ammonia tepida*, *Ammonia parkinsoniana*) a francamente marino.

2.2. - FRONTE DELTIZIA E PIANA DI SABBIA (solo sottosuolo)

Depositati costituiti da sabbie grigio-giallastre con granulometria da finissima a grossolana e buona cernita, da massive a laminate, con locali intercalazioni di limi sabbiosi, rari ciottoli, un contenuto variabile di bioclasti e con uno spessore massimo di circa 15 m. Al tetto si osservano localmente sabbie massive molto ben cernite, prive di matrice e di bioclasti marini e con evidenze di pedogenesi

mentre alla base possono essere frequenti lag conchigliari di molluschi marini interi od in frammenti, spessi da pochi centimetri a qualche decimetro spesso associati a qualche ciottolo.

Nelle CPTU questi corpi si caratterizzano per i valori relativamente alti di resistenza alla punta (mediamente $> 50 \text{ kg/cm}^2$) anche se fortemente variabili, il basso rapporto fra l'attrito laterale e la resistenza alla punta, i valori negativi di sovrappressione interstiziale ed il tipico andamento della curva della resistenza alla punta dato da valori molto alti al tetto con una progressiva diminuzione verso il basso, dove la curva mostra una brusca caduta in corrispondenza del passaggio ai depositi fini sottostanti (*cf.* AMOROSI & MARCHI, 1999). In base alle analisi micropaleontologiche, le associazioni microfaunistiche che si rinvennero più frequentemente nei depositi sopra descritti sono costituite da fossili fortemente rimaneggiati e di ambiente costiero.

Costituiscono complessivamente un corpo cuneiforme che si ispessisce rapidamente verso mare fino a raggiungere spessori massimi di circa 15 m nel limitrofo Foglio 205 (si veda la sezione D-D', Appendice 3). Sono in contatto netto con le argille e limi con sostanza organica di palude, palude salmastra e laguna o direttamente con le tracimazioni fluviali di piana alluvionale sia alla base (superficie di *ravinement*) sia al tetto. Sono presenti nel sottosuolo limitatamente allo spigolo di SE e sono oggetto specificamente della cartografia in scala 1:50.000 del Foglio Allegato.

Sono interpretati come depositi di cordone litorale organizzati in una sequenza progradante con facies di duna eolica al tetto che passano verso il basso a facies di spiaggia (battigia e spiaggia sommersa) e localmente a depositi residuali trasgressivi.

Ai depositi di cordone litorale s.s. sono associate sabbie fini limose e limi sabbiosi in fitte alternanze centimetriche e decimetriche, localmente sabbie medie e fini mal cernite, da massive a laminate con *clay chips* e rari o assenti bioclasti, con spessore di qualche metro (si veda sondaggio 222-S4); anche questi depositi sono presenti nello spigolo di SE del Foglio e si chiudono rapidamente verso ovest, passando ad associazioni di facies di piana deltizia e fluviali. Essi marcano il limite tra ambienti litorali e ambienti continentali e sono interpretati come facies di fronte deltizia.

2.3. - PRODELTA E TRANSIZIONE ALLA PIATTAFORMA (solo sottosuolo)

Depositi costituiti da argille limose, argille e limi argillosi ricchi di materiale conchigliare, con intercalazioni di sabbie fini e finissime in strati da molto sottili a sottili.

Formano corpi a geometria cuneiforme che si espandono verso mare in direzione E e NE, con spessore massimo di una decina di metri. Passano gradualmente, verso terra, a depositi di cordone litorale. Le associazioni faunistiche che si rinvennero in questi depositi indicano ambienti marino-marginali. Sono

interpretati come depositi di prodelta e transizione alla piattaforma e, in particolare, costituiscono la porzione fine della sequenza di facies progradante e retrogradante-progradante descritta sopra in cui rappresentano le fasi di massima ingressione marina.

Questi depositi sono rappresentati nelle sezioni profonde del Foglio Allegato e dell'Appendice 3.

2.4. - DEPOSITI FLUVIO-DELTAICI E DI PIATTAFORMA INDIFFERENZIATI (solo sottosuolo)

Depositati costituiti prevalentemente da sabbie medie e fini in strati amalgamati di diversi metri di spessore e subordinate sabbie limose e limi, organizzati in sequenze di tipo *coarsening upward* (CU) di spessore complessivo massimo di 30-40 m. Sono frequenti resti conchigliari di organismi marini sia sparsi sia concentrati in sottili livelli. I log elettrici dei pozzi per idrocarburi che attraversano questi corpi hanno un tracciato con valori di resistività progressivamente crescenti procedendo dalla base al tetto della sequenza (si vedano le sezioni geologiche profonde del Foglio Allegato e dell'Appendice 3). Sulla base dei caratteri geofisici, dei dati più profondi della Banca Dati Geognostica e soprattutto dei carotaggi appositamente eseguiti nei Fogli limitrofi che hanno raggiunto questi depositi (si veda sondaggio 203-S9), essi sono interpretati come sequenze di facies regressive passanti da depositi di piattaforma/prodelta alla base a sabbie di fronte deltaico, sabbie litorali e quindi sabbie di canale fluviale al tetto. Queste ultime sono sigillate da depositi fini di pianura alluvionale. Formano corpi a geometria tabulare di grande estensione e continuità laterale, attribuibili al sistema fluvio-deltaico padano ed alla piattaforma adriatica.

VIII - CARTOGRAFIA

Nella cartografia geologica in scala 1:50.000 dell'area padana il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ha scelto di aggiungere 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 diversi documenti 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 un'interpretazione tridimensionale dei corpi sedimentari di maggiore interesse geologico. Per quanto concerne esempi di cartografia geologica di superficie e di sottosuolo in aree di pianura nell'ambito della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA si veda: CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna (2002); Foglio 219 Sassuolo (2005); Foglio 222 Lugo (in stampa); Foglio 256 Rimini (2005); Foglio 240 Forlì e 241 Cervia (2005).

Nei due paragrafi seguenti vengono evidenziati gli elementi più salienti dei prodotti cartografici presentati in questa edizione del Foglio 204 (Carta Geologica e Foglio Allegato). In essi vengono inoltre sintetizzati i principali caratteri delle unità stratigrafiche e dei sistemi deposizionali ampiamente descritti rispettivamente nel titolo VI e nel titolo VII.

1. - CARTA GEOLOGICA

La Carta Geologica, in scala 1:50.000, si basa su rilevamenti di terreno, integrati con l'interpretazione di dati provenienti da fotointerpretazione, analisi di immagini da satellite, trivellate a mano, sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche (si veda titolo IV).

Essa descrive la distribuzione e le caratteristiche litologiche e di facies dei depositi affioranti e subaffioranti nell'area del Foglio 204. Questi appartengono interamente al subsistema più recente (Subsistema di Ravenna - AES₈) del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e sono illustrati in dettaglio nel titolo VI. L'unità cartografica di rango gerarchico più piccolo è l'unità di Modena (AES_{8a}) che costituisce la parte sommitale di AES₈. Essa affiora in gran parte dell'area del Foglio, ad eccezione di alcuni settori del quadrante settentrionale e di quello sud-orientale. Le sezioni geologiche allegare alla Carta Geologica illustrano i rapporti stratigrafici fra AES_{8a} ed AES₈.

All'interno delle unità geologiche sono state distinte le litologie dominanti; interpretate nei termini di associazioni di facies (ad es. argille e limi di piana inondabile), esse riflettono distinti elementi morfologico-deposizionali e caratterizzano i diversi sistemi deposizionali presenti. Sono stati quindi distinti due sistemi deposizionali principali affioranti: (a) la piana alluvionale, presente nel settore sud-occidentale e (b) la piana deltizia, presente nei settori centrale, settentrionale ed orientale.

a) La piana alluvionale

I depositi della piana alluvionale sono riferibili solo ad AES_{8a} dove è stato possibile distinguere fra i depositi di canale ed argine che costituiscono i dossi fluviali di tracciati antichi e attuali dei corsi d'acqua appenninici (per es. F. Reno, T. Idice) e i depositi di piana inondabile a loro adiacenti. Nei territori ad ovest di Argenta le aree di piana inondabile si saldano tra loro fino ad isolare i dossi fluviali abbandonati.

Questa particolare conformazione suggerisce che fino a un recente passato i corsi d'acqua si estinguessero frequentemente in acquitrini continentali (le Valli di Marmorta e di Argenta, in BONDESAN, 1990) piuttosto che immettersi direttamente nei rami deltizi del fiume Po o sfociare in mare.

b) La piana deltizia

Questo sistema deposizionale si sviluppa estesamente in quasi tutto il Foglio e comprende sia i sedimenti di AES_{8a} sia quelli di AES₈. In questo settore del delta padano si riconoscono i depositi di canale distributore, i depositi di intercanale, i depositi di delta minore e quelli di area interdistributrice.

I depositi di canale distributore formano dei dossi di forma nastriforme e di sezione lenticolare, larghi da diverse centinaia di metri a qualche chilometro, quando amalgamati tra loro. Essi identificano i rami deltizi padani e spesso è possibile riconoscere il tracciato degli alvei antichi.

Nel settore occidentale e meridionale questi depositi sono distribuiti lungo una direzione circa NNO-SSE e sono attribuiti all'attività passata del Po di Primario. Questo ramo, oggi abbandonato e parzialmente interrato (fig. 15), si attivò definitivamente nel VIII secolo d.C. (CIABATTI, 1990) e fu utilizzato come collettore dei fiumi appenninici (VEGGIANI, 1974; BONDESAN, 1986; CASTIGLIONI *et alii*, 1990) anche dopo la rotta di Ficarolo (1152 d.C.) che determinò l'abbandono



Fig. 15 - Scorcio dell'antico corso del Po di Primaro a sud di Consandolo, oggi interrato (prato verde); si distinguono gli antichi argini, sede di una vegetazione arborea.

del delta meridionale a favore dei rami deltizi settentrionali.

Nel settore settentrionale si riconoscono dossi orientati in direzione NO-SE e circa E-O, attribuiti ad un ramo antico del delta del Po (Po di Spina, BONDESAN, 2001; *Eridanus*, UGGERI, 2002). In corrispondenza di questo tracciato si localizzano la maggior parte degli affioramenti dei depositi più antichi (AES₈) e si riconosce un piano di calpestio di età romana, caratterizzato dalla presenza di infrastrutture e insediamenti abitativi (per maggior dettagli si rimanda all'Appendice 2). Ad ovest di Voghiera si individua un dosso di canale molto antico (pre-romano) attribuito in questa sede, sulla base di specifiche ricostruzioni paleoambientali (figg. 17, 18, 19 e 20), al sistema deltizio padano mentre ci sono altri autori che lo attribuiscono ad un antico tracciato del F. Reno (BONDESAN, 2001; UGGERI, 2002).

Nel settore centrale, in corrispondenza di Portomaggiore, si identificano dei dossi orientati circa N-S che si fondono a sud con il ramo del Po di Primaro mentre a nord sembrano in parte alimentati dagli antichi canali del Po di Spina. Non è facile attribuire l'età di questi canali ad un preciso periodo storico: BONDESAN (2001) riporta l'esistenza di un ramo del delta padano passante per Portomaggiore già alla fine dell'Età del Bronzo e in età Etrusca e la persistenza di canali distributori in età romana fino all'Alto Medioevo (per maggiori approfondimenti si rimanda all'Appendice 2).

Nel margine nord-orientale sono localizzati i depositi di canale distributore del Po di Volano. Essi si articolano in diversi dossi formati in età diverse tra cui il Po di Volano di età moderna e uno, immediatamente a nord, attribuibile almeno all'età romana (AES₈), sulla base dei rinvenimenti archeologici.

I depositi di intercanale costituiscono corpi irregolari e sottili che si sviluppano nelle aree depresse comprese tra i dossi; essi si sono formati durante gli episodi di tracimazione e rotta dei canali distributori. Sono localizzati nei settori occidentali e settentrionali del Foglio corrispondenti alla piana deltizia superiore dell'apparato deltizio padano. I depositi di intercanale compresi tra i dossi del Po di Spina sono stati attribuiti a AES₈ mentre quelli in prossimità del Po di Primaro e del Po di Volano sono stati attribuiti a AES_{8a}.

I depositi di delta minore si sviluppano nel settore centrale e nel margine SE del Foglio. Sono adiacenti e in rapporto di eteropia con i depositi di canale distributore ad ovest e con i depositi di area interdistributrice ad est (si vedano le sezioni geologiche allegate alla Carta Geologica). In essi sono riconoscibili localmente i tracciati di antichi piccoli alvei di rotta. Questi delta minori si sono formati per rotte significative dei canali distributori che hanno convogliato acqua e sedimenti all'interno degli specchi d'acqua della piana deltizia inferiore per un tempo sufficientemente lungo da consentire la costruzione di corpi spessi fino a 4-6 metri ed estesi per oltre una decina di chilometri quadrati.

Lo sviluppo di questi delta minori sembra riconducibile al Medioevo, in concomitanza con l'attivazione del Po di Primaro e con la configurazione di un'ampia area interdistributrice tra questo nuovo ramo deltizio e il già esistente Po di Volano (BONDESAN, 2001).

I depositi di area interdistributrice si estendono nel settore orientale del Foglio, in corrispondenza di aree attualmente bonificate ma che tra la fine del XIX secolo e la prima metà del XX secolo si presentavano ancora inondate d'acqua (Valle di Argenta, Valle del Mantello, Valle del Mezzano fig. 16). All'interno di questi depositi fini, nel margine orientale del Foglio, sono rilevabili tracce di canali meandriformi, interpretabili come canali distributori minori, canali di rotta, canali di drenaggio e/o canali tidali che costituiscono il reticolo idraulico delle aree interdistributrici. Tra questi sono presenti dossi maggiori attribuibili a canali distributori di importanti apparati deltizi antichi sui quali, dopo il loro abbandono, i depositi di area interdistributrice si sono appoggiati in *onlap*. A sud-est di Ostellato, lungo l'affioramento di uno di questi dossi, sono state rinvenute strutture romane che suggeriscono che esso fosse un ramo secondario del Po di Spina. Nel settore sud-orientale questi dossi sono isolati e parzialmente ricoperti dai depositi di area interdistributrice e di delta minore, sono orientati circa NO-SE e sono stati attribuiti ad antichi corsi del Po di età variabile da quella del bronzo a quella romana (BONDESAN, 2001).

La Carta Geologica del Foglio 204 mostra complessivamente elementi morfo-deposizionali diacroni, che coprono un periodo di tempo che va dall'età pre-romana e romana (AES₈), rappresentata principalmente dai dossi fluviali fossili,

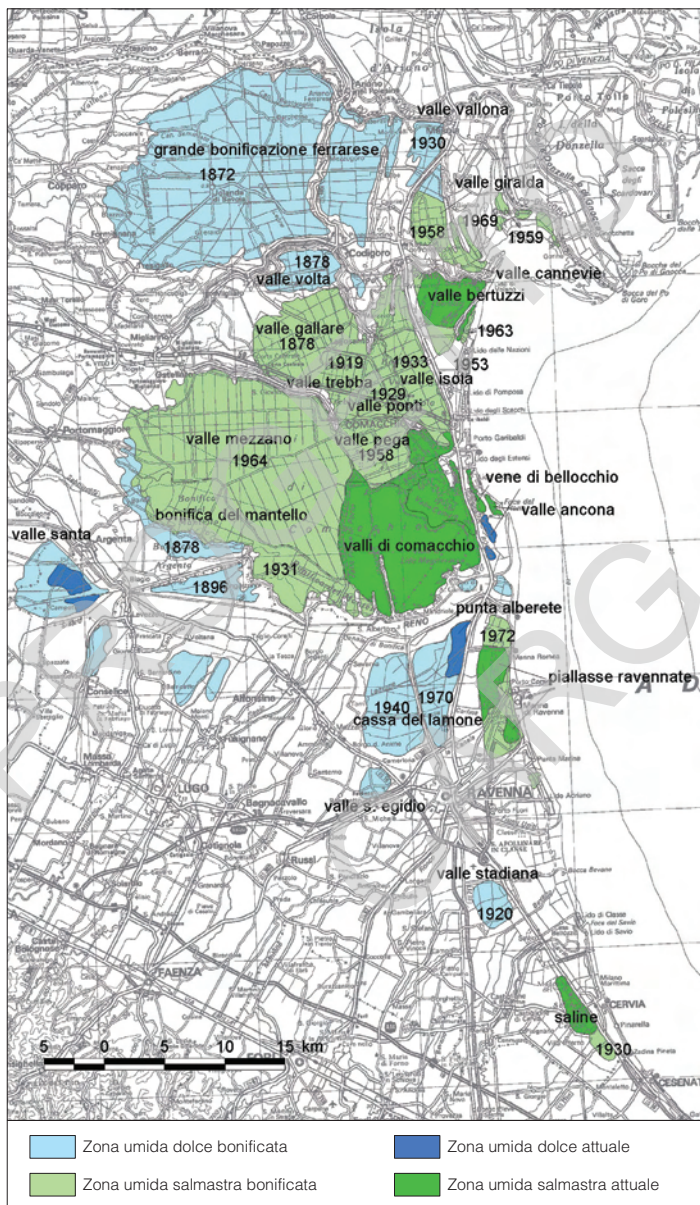


Fig. 16 - Mappa delle grandi zone umide e delle bonifiche del settore orientale della Pianura Padana effettuate a partire dalla seconda metà del XIX secolo. Sono distinte le zone umide dolci da quelle salmaestre, sono rappresentate le zone umide attuali ed è riportata la data di conclusione del prosciugamento per le aree bonificate. Modificato da BONDESAN (1990).

all'epoca attuale, rappresentata dai piccoli e locali ventagli di rotta e dalle ampie zone di intercanale e di area interdistributrice ora bonificate, passando attraverso l'impostazione e l'attività del Po di Primaro in epoca medioevale e moderna (AES_{8a}). La distribuzione in pianta ed in sezione dei depositi di AES₈ e AES_{8a} e l'andamento del limite che le separa riflette la complessa storia deposizionale dell'area e la diversità dei tassi di sedimentazione nei diversi settori del Foglio. Nel settore sud-occidentale si sono concentrati i principali eventi deposizionali recenti e di natura alluvionale, in corrispondenza del Po di Primaro e del F. Reno. Qui affiorano solo depositi appartenenti a AES_{8a} per i quali il Po di Primaro ha costituito un elemento di sbarramento consentendo l'accumulo di una decina di metri di sedimento e isolando questo settore da quelli settentrionale e orientale, mai raggiunti da sedimentazione alluvionale in epoca post-romana. Al contrario a N e a E si è assistito ad una generale sottoalimentazione degli apporti sedimentari per tutti gli ultimi 2.000 anni; questo ha comportato l'attuale depressione della superficie topografica e l'affioramento del limite AES₈ e AES_{8a}, localmente sepolto da pochi metri di sedimenti deltizi di area interdistributrice o da sottili ventagli di rotta. Ne consegue che l'apparato deltizio che affiora nel Foglio costituisce in gran parte l'ossatura del delta romano e pre-romano.

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

Nel Foglio Allegato alla Carta Geologica sono riportati 3 tipi di elaborati:

- a) le “sezioni geologiche profonde” a scala 1:100.000;
- b) le “sezioni geologiche superficiali” a scala 1:50.000;
- c) la carta del “*tetto delle sabbie alluvionali e dei depositi deltizi e litorali - Subsistemi di Ravenna (AES₈) e di Villa Verucchio (AES₇)*” a scala 1:50.000.

Questi prodotti concorrono insieme a definire l'architettura stratigrafica e la distribuzione delle facies nel sottosuolo del Foglio 204. L'acquisizione di una tale conoscenza riveste un'importanza fondamentale a fini pratici, costituendo la base scientifica per studi del territorio a scala regionale che riguardano i problemi della subsidenza, la protezione del suolo, la ricerca e sfruttamento delle risorse idriche, ecc..

Per chiarire adeguatamente le relazioni stratigrafiche fra le unità e le geometrie interne dei corpi cartografati nelle sezioni geologiche profonde sono rappresentati anche alcuni dati e interpretazioni geologiche relative ad aree adiacenti al Foglio 204 (Fogli 187, 203, 205 e 222).

Le tre “sezioni geologiche profonde” alla scala 1:100.000 sono costruite con un'esagerazione verticale di 25x (ovvero la scala verticale è 1:4.000 contro una scala orizzontale di 1:100.000). Di queste sezioni “profonde”, una è allineata approssimativamente lungo la direzione Budrio - Portomaggiore - Codigoro, con orientazione circa SO-NE (ovvero circa perpendicolare agli elementi strutturali

sepoliti), due sono circa parallele, hanno orientazione circa ONO-ESE (ovvero circa parallele ai lineamenti di cui sopra) e sono allineate rispettivamente lungo le direzioni Malalbergo - Marrana - Argenta e Ferrara - Valli di Comacchio. Esse descrivono tutte le unità stratigrafiche relative al Supersistema Emiliano-Romagnolo, con un grado di dettaglio progressivamente inferiore all'aumentare della profondità investigata. Nelle sezioni, oltre alle unità stratigrafiche utilizzate, sono riportate: la geometria dei principali corpi litologici di rilevanza stratigrafica, le stratigrafie schematiche delle indagini geognostiche della Banca Dati Geologici e dei sondaggi appositamente realizzati per il Progetto CARG ed i log elettrici dei pozzi AGIP utilizzati per l'allestimento delle sezioni (AGIP, 1972, 1994; REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). E' riportata anche la provenienza dei sedimenti (padana, appenninica) sulla base delle analisi petrografiche eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi. Queste tre sezioni hanno beneficiato di dati provenienti dai profili sismici e stratigrafie di pozzi per idrocarburi AGIP, soprattutto per ciò che riguarda i limiti basali di AEI e AES e per la ricostruzione a grande scala delle geometrie dei bacini sedimentari oggetto di studio. Esse sono correlate con le sezioni "profonde" dei Fogli adiacenti (Fogli 187, 203, 205 e 222) e contribuiscono alla conoscenza regionale delle unità stratigrafiche di sottosuolo e dei corpi litologici in esse contenuti.

Le quattro "sezioni geologiche superficiali" alla scala 1:50.000 sono caratterizzate da una esagerazione verticale di 50x (ovvero la scala verticale è 1:1.000 contro una scala orizzontale di 1:50.000). Queste sezioni "superficiali" descrivono l'architettura stratigrafica del Subsistema di Ravenna (AES₈) e della parte superiore del Subsistema di Villa Verucchio (AES₇, si veda il titolo VI) in termini di geometrie dei principali corpi litologici ed associazioni di facies. Le quattro sezioni, circa ortogonali fra loro (C-C' e D-D' orientate in direzione SSO-NNE; E-E' e F-F' orientate in direzione ONO-ESE), consentono una visione tridimensionale dei corpi rappresentati. Altre informazioni riportate in queste sezioni riguardano la stratigrafia dei sondaggi appositamente realizzati per il Progetto CARG, le età radiometriche ottenute sui campioni di materiale organico, la curva di variazione della resistenza alla punta delle penetrometrie realizzate per il Progetto CARG e l'ubicazione (con la profondità raggiunta) delle indagini geognostiche della Banca Dati Geologica.

Data la scala e la modalità di rappresentazione, queste sezioni costituiscono la base di partenza per la comprensione e la caratterizzazione del Subsistema di Ravenna e del Subsistema di Villa Verucchio, nonché dei rapporti stratigrafici e geometrici dei principali corpi litologici in essi contenuti e rappresentati nella carta descritta in seguito.

Per quanto riguarda la cartografia in pianta del sottosuolo è stato scelto di dare enfasi a quei corpi litologici che rivestono una particolare rilevanza dal punto di vista stratigrafico, paleogeografico ed applicativo. Essi sono rappresentati nella carta del "tetto delle sabbie alluvionali e dei depositi deltizi e litorali

- Subsistemi di Ravenna (AES₈) e di Villa Verucchio (AES₇). Questa descrive la geometria della superficie sommitale di:

- (1) i principali depositi sabbiosi dell'immediato sottosuolo (profondità massima raggiunta non superiore a -40 m s.l.m.) appartenenti alla parte regressiva sommitale più marcatamente grossolana di AES₇, che è la prima unità stratigrafica, a partire dalla superficie affiorante, in cui sono particolarmente abbondanti i depositi alluvionali sabbiosi. Questi depositi sabbiosi di riempimento di canale fluviale registrano un picco di attività fluviale che ha caratterizzato la storia recente della Pianura Padana (si veda il titolo V). Su di essi si concentra una gran numero di pozzi per acqua presenti nel Foglio 204 ed in quelli limitrofi; essi ricoprono quindi un grande interesse applicativo per quanto concerne la salvaguardia e lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee.
- (2) I depositi prevalentemente argillosi e limosi, ricchi di sostanza organica, di ambiente palustre e lagunare (area o baia interdistributrice) appartenenti ad AES₈. Questi hanno una certa rilevanza dal punto di vista applicativo perché individuano una fascia di sedimenti sepolti contraddistinti da caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti, alta comprimibilità e da una sostanziale impermeabilità (si veda titolo VI e VII).
- (3) I depositi sabbiosi di cordone litorale, appartenenti ad AES₈. Questi sono presenti solo in un ristretto settore dell'angolo SE nel Foglio 204 ed unicamente nel sottosuolo. Rappresentano la chiusura verso ovest del principale corpo sabbioso per spessore, estensione e continuità laterale, presente in superficie e nell'immediato sottosuolo lungo la pianura costiera adriatica.

La carta del Foglio Allegato rappresenta la distribuzione, in pianta, dei suddetti depositi fluviali, deltizi e litorali intercettati nel sottosuolo dalle indagini geognostiche della Banca Dati Regionale. La natura dei depositi è definita sia in modo diretto sulla base delle descrizioni riportate nelle stratigrafie dei pozzi e carotaggi, sia in modo indiretto, sulla base della risposta alla punta dei terreni nelle prove penetrometriche. La carta quindi è costruita interpolando, in pianta, le quote relative a dati puntuali che si riferiscono alla superficie di tetto di depositi riferibili alla medesima associazione di facies, anche aventi differenti età (pur all'interno della stessa unità stratigrafica). Per quanto riguarda i depositi argillosi e limosi, ricchi di sostanza organica (il punto 2 sopra citato), sono state riportate anche le aree del loro affioramento. Queste corrispondono in gran parte con le aree interdistributrici e di intercanale della Carta Geologica di Superficie.

L'attribuzione stratigrafica dei depositi fluviali, deltizi e litorali è stata fatta sulla base del quadro stratigrafico ricostruito nelle sezioni geologiche ed ampiamente illustrato nel capitolo relativo alla stratigrafia dei depositi di pianura. Per questa attribuzione sono stati di fondamentale importanza le datazioni ¹⁴C effettuate sulle carote dei sondaggi a carotaggio continuo appositamente realizzati per il Progetto CARG.

Si riportano di seguito alcuni commenti alla carta che scaturiscono dall'analisi della distribuzione in pianta dei depositi cartografati.

I depositi alluvionali sabbiosi di AES₇ si concentrano nel margine orientale e in quello nord-occidentale. Nel margine nord-occidentale essi rappresentano le frange digitate di lobi sabbiosi spessi una decina di metri che si sviluppano estesamente nell'adiacente Foglio 203. La petrografia dei campioni prelevati nei lobi sabbiosi (sondaggio 204-S2) e in posizione sottocorrente rispetto ad essi (sondaggi 204-S1, 204-S5, 204-S6, 204-S8, 204-S12) indica una provenienza appenninica, in accordo con i recenti studi condotti in occasione del rilevamento del Foglio 203.

Nel settore di NE i depositi alluvionali sabbiosi rappresentano la chiusura verso sud di estesi lobi a geometria tabulare (con sviluppo massimo nei Fogli settentrionali, Fogli 186 e 187), amalgamati tra loro e localmente con spessori complessivi fino a circa 35 m. I campioni di sabbia prelevati dal sondaggio 204-S11, che attraversa questo corpo, indicano una provenienza padana. Nel settore di SE i depositi alluvionali sabbiosi costituiscono un corpo tabulare ad accennata geometria nastriforme. I campioni del sondaggio 204-S3, che attraversa questo corpo, indicano sia una provenienza padana sia appenninica e testimoniano la prossimità, e la probabile interdigitazione, tra il sistema fluviale padano e quelli appenninici.

L'area di sottosuolo complessivamente occupata dai depositi sabbiosi alluvionali è di c.a. 95 km².

I depositi organici palustri-lagunari occupano la quasi totalità del primo sottosuolo del Foglio, con l'eccezione dello spigolo di SO, di una limitata area nel settore settentrionale e di una piccola area a NE di Argenta. Essi si estendono nei limitrofi Fogli 203, 205 e 222. Dal punto di vista paleogeografico la loro distribuzione in pianta rappresenta l'area complessiva di influenza dell'ingressione marina olocenica nell'entroterra padano, in termini di massima estensione della piana costiera e deltizia. Nel settore orientale questi depositi affiorano in corrispondenza delle Valli del Mezzano, di Argenta e del Mantello, messe all'asciutto dalle bonifiche tra la fine del XIX secolo e la prima metà del XX secolo (si veda fig. 16).

Ai depositi palustri-lagunari sono talora associate le sabbie ed i limi di canale distributore e delta minore che, localmente, migliorano le caratteristiche geotecniche della successione sedimentaria in esame. La presenza di questi corpi è ben evidenziata nelle sezioni geologiche e può essere dedotta, in pianta, dalla presenza di inflessioni nella superficie cartografata o da "isole" in cui le argille organiche risultano del tutto assenti.

Nel margine di SE ed estesamente nel Foglio 205 (si vedano le sezioni geologiche superficiali D-D' e E-E'), i depositi palustri-lagunari poggiano al di sopra dei sedimenti di cordone litorale evidenziando così la progradazione verso mare dei sistemi di palude-laguna della piana deltizia tardo olocenica. L'area di sottosuolo complessivamente occupata dai depositi palustri-lagunari, nel Foglio 204, è di c.a. 580 km².

I depositi di cordone litorale occupano una fascia di estensione ridotta presso il margine SE del Foglio 204 e si sviluppano ampiamente verso est, nei limitrofi

Fogli 187, 205, 223 e 240 mentre il loro limite occidentale, mappato in parte nel Foglio 204, è caratterizzato da una brusca chiusura di queste sabbie verso ovest. La terminazione occidentale di queste sabbie rappresenta la posizione più arretrata verso terra che abbia mai raggiunto la linea di costa durante la massima ingressione marina olocenica. L'area di sottosuolo complessivamente occupata dai depositi di cordone litorale è di c.a. 2 km².

PROGETTO
CARG

APPENDICE 1
















STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI

In questa appendice sono riportate le stratigrafie descrittive dei 17 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti appositamente per la realizzazione della Carta Geologica (sondaggi del Progetto CARG).

Nelle stratigrafie riportate in appendice è illustrato il profilo granulometrico in termini di contenuto in argilla, limo, sabbia e ghiaia; il contenuto in sostanza organica; la presenza di alcuni costituenti particolari (es. fossili e legni); la presenza di particolari strutture sedimentarie (es. paleosuoli) ed infine l'età rilevata al carbonio 14. A lato del profilo granulometrico sono riportate le associazioni di facies e le unità stratigrafiche a cui viene riferito il singolo intervallo. Le sigle delle unità si riferiscono a quelle presentate nella Carta Geologica e nel titolo VI. L'ubicazione dei sondaggi è illustrata in figura 8.

LEGENDA DELLE STRATIGRAFIE DEI CAROTAGGI

simboli

4m s.l.m.	quota del piano di campagna riferita al livello del mare
	intervallo non recuperato o fortemente disturbato
	tracce di sostanza organica
	abbondante sostanza organica diffusa e torbe
	frustoli vegetali
	frammenti di legno
	fossili
	fossili continentali
	fossili marini
	radici
	bioturbazione diffusa
	clasti di argilla
	fessure di essiccazione
	fitta laminazione pianoparallela
 20°	laminazione obliqua e angolo massimo osservato
	suolo evoluto (parzialmente o totalmente decarbonatato)
7420 ±60	età ¹⁴ C in ka B.P. non calibrata

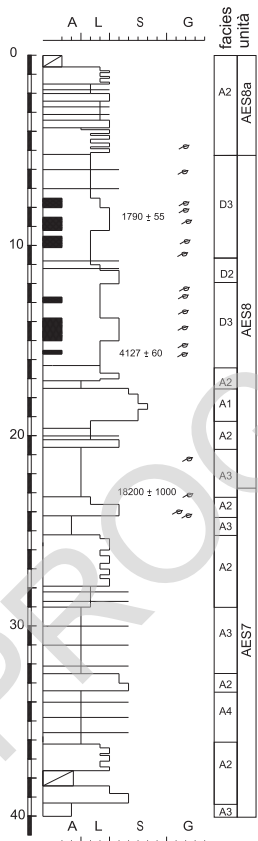
A	argille
L	limi
S	sabbie
G	ghiaie

associazioni di facies

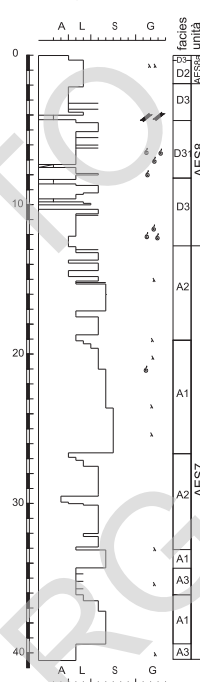
depositi

A1	ghiaie di riempimento di canale fluviale
A2	sabbie di riempimento di canale fluviale
A3	alternanze di sabbie, limi ed argille di argine e di rotta fluviale
A4	argille e limi di piana inondabile
A5	argille e limi con sostanza organica palustri
	<i>depositi deltizi, litorali e marini</i>
D1	sabbie di cordone litorale e di fronte deltizia
D2	alternanza di sabbie e limi di argine e di canale distributore
D3	argille e limi con sostanza organica di palude-laguna
D3 ₁	argille e limi laminati di area interdistributrice, laghi costieri e paludi
D3 ₂	argille e limi con sabbia bioturbati di laguna e baia
M	alternanze di argille, limi e sabbie di prodelta e spiaggia sommersa

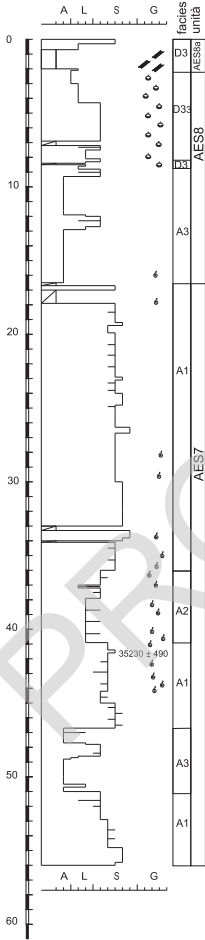
204 - S1
+5m s.l.m.



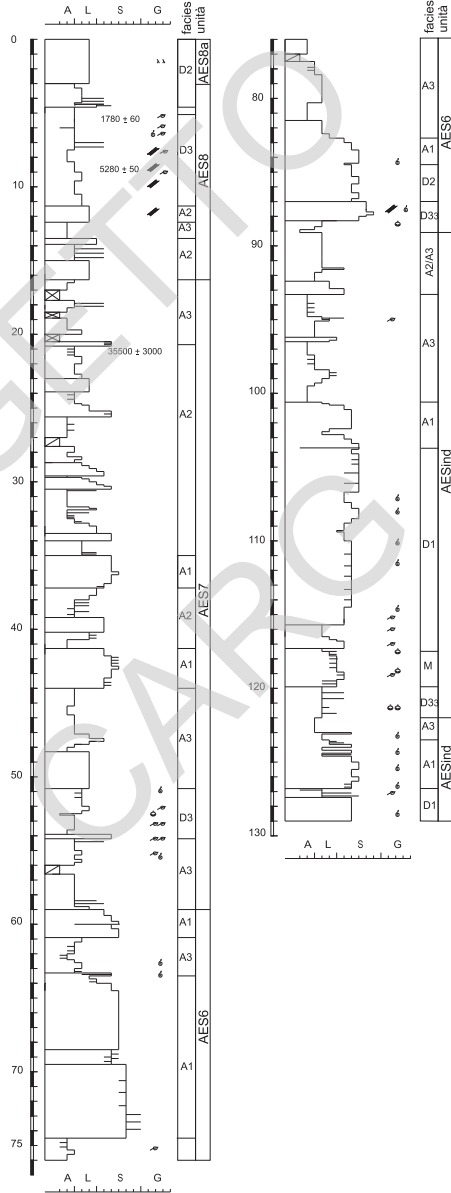
204 - S2
+2,1m s.l.m.



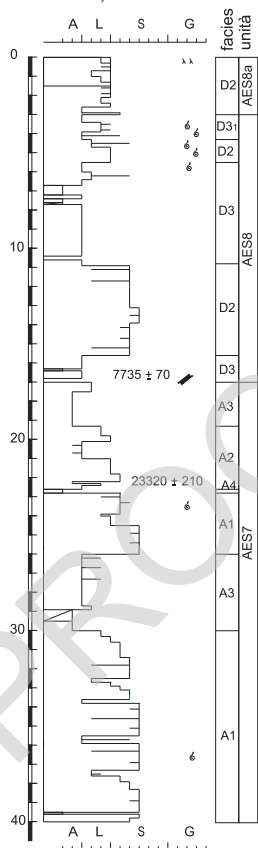
204 - S3
-2m s.l.m.



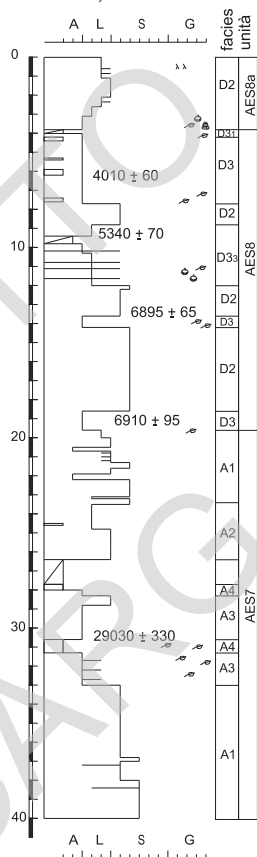
204 - S4
+1,5m s.l.m.



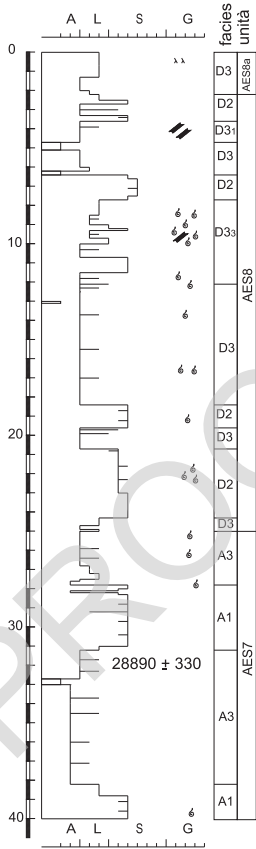
204 - S5
+2,4m s.l.m.



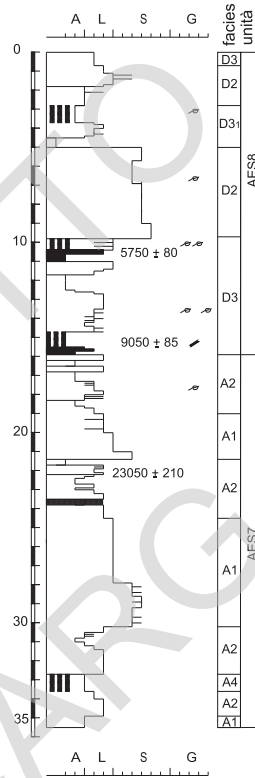
204 - S6
-0,2m s.l.m.



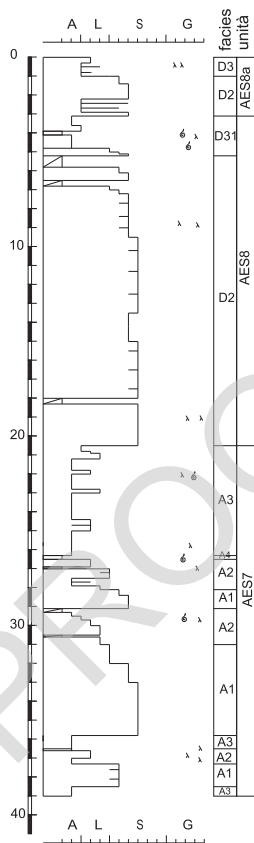
204 - S7
+0,5m s.l.m.



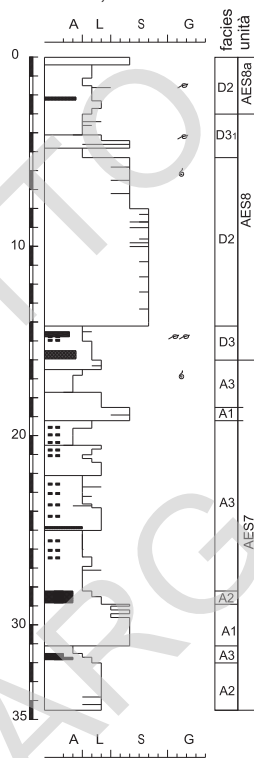
204 - S8
+1,4m s.l.m.



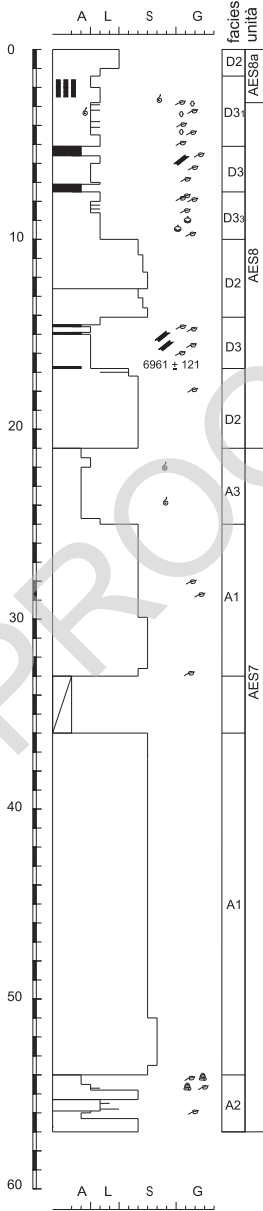
204 - S9
+2m s.l.m.



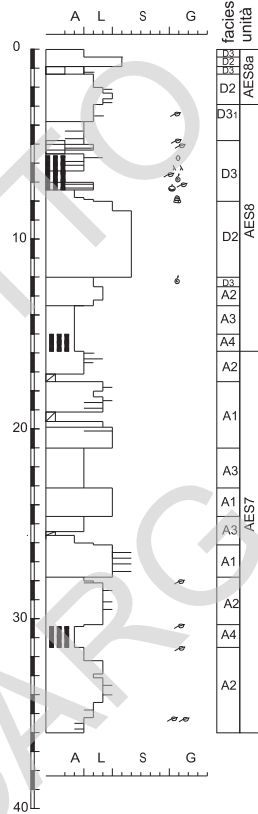
204 - S10
+1,5m s.l.m.



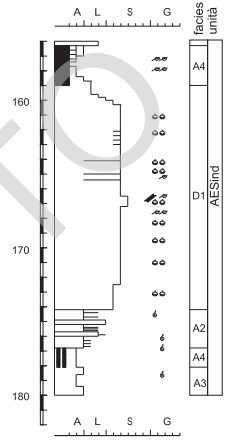
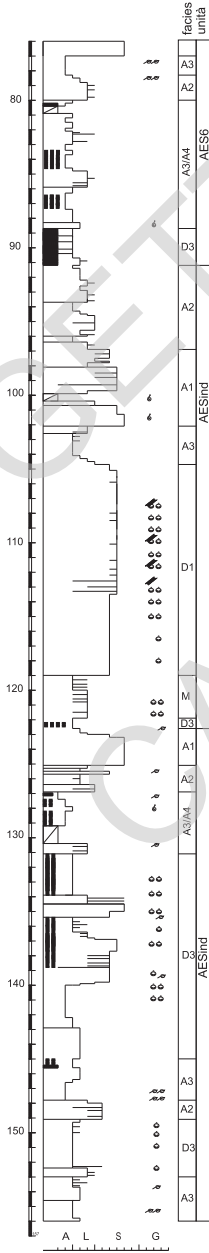
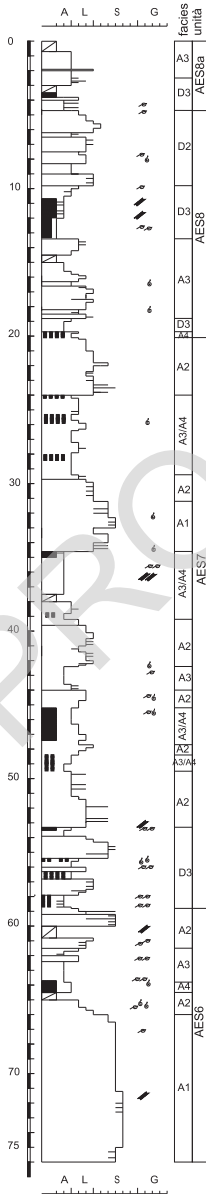
204 - S11
+0,5m s.l.m.



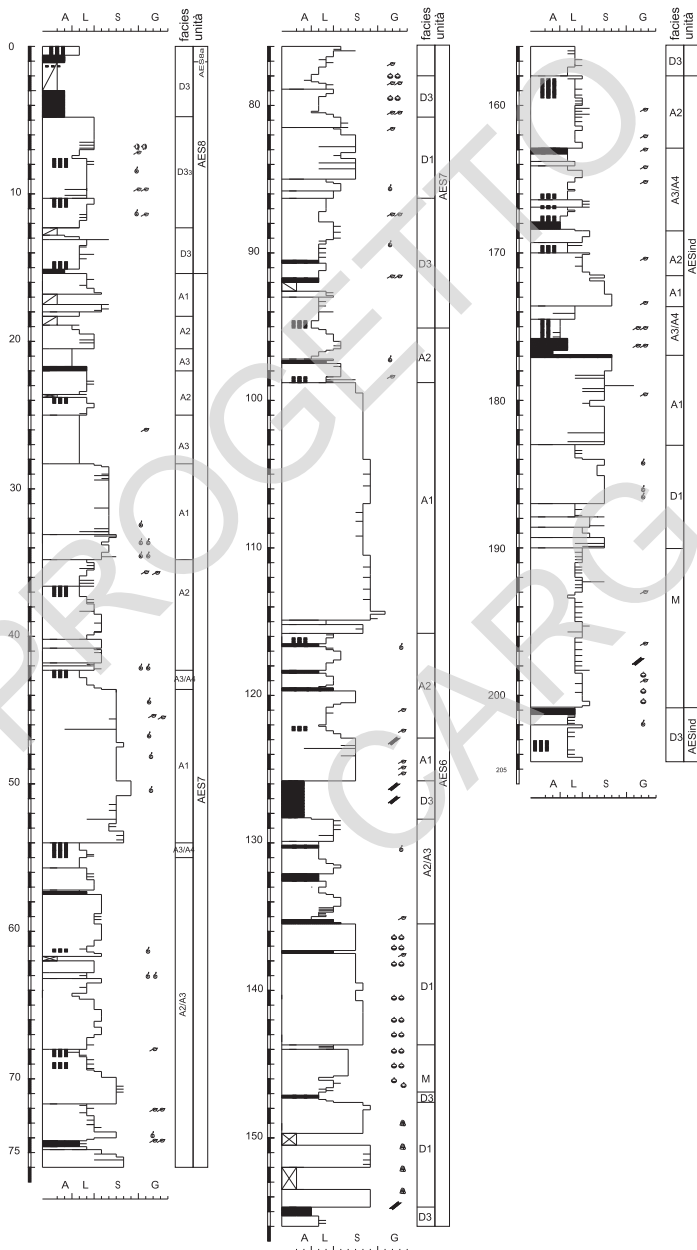
204 - S12
+0,0m s.l.m.



204 - S15
+5,4m s.l.m.



204 - S16
-2,2m s.l.m.



APPENDICE 2**L'EVOLUZIONE TARDO PLEISTOCENICA ED OLOCENICA DEL TERRITORIO****1. - LE RICOSTRUZIONI PALEOAMBIENTALI**
(a cura di L. Calabrese, M.C. Centineo e I. Di Cocco)

L'evoluzione del territorio in cui si estende il Foglio 204 è stata registrata dai depositi tardo-pleistocenici e olocenici (AES₇ e AES₈) presenti nel sottosuolo e affioranti in questo settore della Pianura Padana e della costa adriatica. Quest'area è stata oggetto di numerosi studi sia nel passato (VEGGIANI, 1973; RIZZINI, 1974), sia più di recente (AMOROSI *et alii* 1999a; 1999b; 2003; 2004; 2005) e nella CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna (2002).

Il periodo di tempo considerato è caratterizzato dalle radicali mutazioni delle condizioni climatiche verificatesi al passaggio dall'ultimo periodo glaciale all'attuale periodo interglaciale (rispettivamente stadio isotopico 2 e 1 di MARTINSON *et alii*, 1987) e da un'importante fase di innalzamento del livello del mare (trasgressione flandriana, *Aucctt.*). Da un punto di vista geologico la mutazione climatica e l'ingressione marina sono registrate dalla deposizione di un ciclo sedimentario trasgressivo-regressivo. Questo ciclo testimonia l'invasione da parte del Mar Adriatico di territori che durante il Pleistocene superiore erano occupati da un'estesa pianura alluvionale e dalla successiva fase regressiva che determinò l'accrezione della pianura fluvio-deltizia ad opera dei sedimenti depositi dai fiumi appenninici e soprattutto dal fiume Po.

Per quanto riguarda il territorio del Foglio 204, è stato possibile delineare le principali fasi di variazioni ambientali che ha subito all'interno di questo ciclo trasgressivo-regressivo.

Le ricostruzioni paleoambientali sono state ottenute attraverso l'integrazione dello studio del sottosuolo (si vedano le sezioni geologiche superficiali), con quello di superficie (si veda la Carta Geologica), con le datazioni ^{14}C , i dati petrografici e i dati archeologici e con le informazioni storiografiche antiche riportate in studi precedenti (in particolare si veda VEGGIANI, 1974; BONDESAN, 2001 e UGGERI, 2002).

1.1. - IL PLEISTOCENE SUPERIORE (20.000-18.000 anni BP) (fig. 17a)

Durante il Pleistocene superiore, ovvero durante la fase di acme freddo dell'ultima glaciazione (Würm, *Aucett.*), il settore compreso tra Ferrara, Imola e Comacchio si configura come una piana alluvionale bordata a sud dalle propaggini delle conoidi alluvionali ghiaiose appenniniche. In particolare, lungo l'allineamento Medicina - Lugo si individua il limite delle conoidi del T. Sillaro e del F. Santerno mentre frontalmente ad esse si sviluppano i canali fluviali degli stessi corsi d'acqua con un'orientazione SO-NE, perpendicolare ai lineamenti strutturali sepolti (si veda fig. 9a). Più a nord, immediatamente a sud di Ferrara, si individua un corpo sabbioso originato dalla coalescenza di corsi d'acqua appenninici che si sviluppano in direzione NO-SE, ovvero parallelamente alle principali strutture tettoniche sepolte (si veda fig. 9a), verso le zone vallive a sud-ovest del Foglio 204. I tracciati fluviali appenninici convergono nel settore della Valle del Mantello a cui corrisponde nel sottosuolo profondo la chiusura di importanti culminazioni strutturali e lo sviluppo verso est di depressioni strutturali (si veda fig. 9a).

Il dominio del F. Po è riconoscibile nei settori settentrionali ed orientali e il limite dei suoi depositi si pone lungo l'allineamento Ferrara - Migliarino - Massa Fiscaglia - Comacchio, proseguendo poi verso sud, in prossimità dell'attuale linea di costa.

A sud di Codigoro, in direzione circa N-S, un ramo minore del F. Po si stacca dal corpo principale costituito, nel sottosuolo, dall'amalgamazione di vari corpi sabbiosi di riempimento di canale fluviale. Questo ramo minore converge anch'esso nel settore della valle del Mantello per poi piegare verso SE e svilupparsi nei settori più settentrionali del Foglio 223 (c.f.r. Note della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002). I dati stratigrafici e petrografici suggeriscono che la configurazione paleoambientale rappresentata in figura evolse ulteriormente nelle ultime fasi dell'acme glaciale ("tardo-pleistocene", tetto di AES₇). La piana alluvionale appenninica, caratterizzata da depositi fini piuttosto che sabbiosi, si estese verso nord mentre i rami meridionali del F. Po furono disattivati. Alcune zone furono soggette ad erosione mentre in altre la sedimentazione si ridusse drasticamente; questa condizione portò alla formazione di una lacuna stratigrafica compresa tra i 20.000 e i 15.000 anni tra il tetto di AES₇ e la base di AES₈ (si veda fig. 11).

1.2. - L'OLOCENE (pre storico)

10.000-8.000 anni BP (fig. 17b)

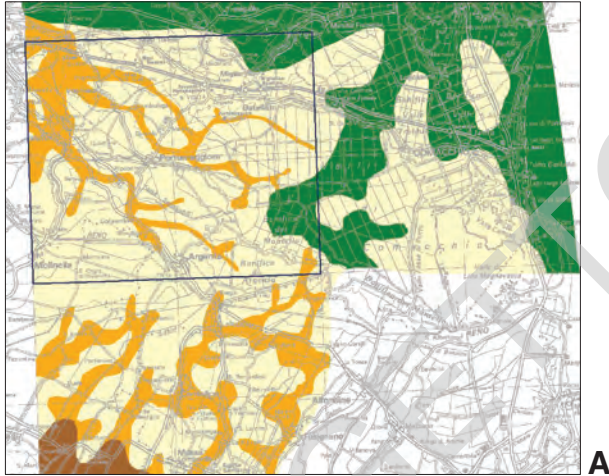
In questo intervallo di tempo si assiste allo sviluppo di ambienti costieri e paralici in buona parte del territorio in esame, in seguito alla trasgressione olocenica. Le precedenti modificazioni ambientali collegate al passaggio Pleistocene-Olocene e quindi alle prime fasi trasgressive non furono radicali poiché alle piane alluvionali pleistoceniche erano seguite quelle del periodo “tardiglaciale” (*Aucctt.*). Il periodo tardiglaciale è caratterizzato da condizioni di forte instabilità climatica in cui si alternano periodi di rapido riscaldamento (evento noto come Bolling-Allerod) e di successivo raffreddamento (Younger Dryas). In queste condizioni, in cui si assiste ad un generale arretramento dei sistemi fluviali, la sedimentazione si concentra nell'area posta frontalmente al margine della catena appenninica dove si accumulano ingenti spessori di sedimenti alluvionali. Nell'area di pianura posta a nord si assiste allo sviluppo di una lacuna di sedimentazione nelle aree più rilevate o meno soggette a subsidenza mentre altrove si sviluppa un ambiente di pianura alluvionale idromorfa, cioè scarsamente drenata. Tale ambiente indica l'approssimarsi della falda freatica alla superficie topografica in seguito all'effetto combinato della risalita relativa del livello del mare, della subsidenza e della riduzione dei tassi di sedimentazione. Più ad est, si assiste ad una retrogradazione degli ambienti deposizionali (si veda fig. 11) che riflette la migrazione verso terra di un sistema barriera-laguna-estuario (*AMOROSI et alii*, 2005). La figura 17b mostra lo sviluppo, ad ovest di Ostellato e di Argenta, di una linea di costa articolata in golfi ed estuari che si instaurano, probabilmente, nelle depressioni morfologiche formatesi durante il tardiglaciale.

L'ambiente di piana alluvionale persiste nei settori meridionali, anche se la trasgressione ha già disattivato la dinamica fluviale appenninica, e si estende verso est nei territori della Valle del Mantello in corrispondenza della zona di convergenza dei corsi d'acqua pleistocenici. Anche nei periodi successivi questo settore si comporterà come un alto relativo, mantenendosi a lungo in condizioni subaeree (continentali) quando le aree circostanti sono invece già invase dal mare.

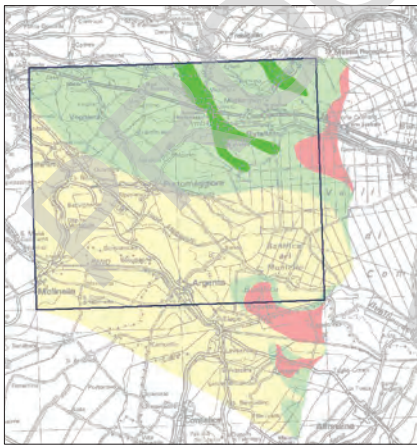
Nei settori a nord di Portomaggiore, con la deposizione, al di sopra dei depositi alluvionali, di argille ricche in sostanza organica si registra lo sviluppo di ambienti paralici e litorali. In questo periodo si individuano due rami deltizi del F. Po provenienti da nord che sfociano internamente alla piana deltizia (delta minori, *bay-head delta*) rispettivamente in prossimità di Ostellato e Migliaro.

8.000-6.000 anni BP (fig. 18a)

In questo periodo, in seguito alla continua risalita del livello marino, si realizza il massimo arretramento della linea di costa e la definitiva configurazione dei sistemi deposizionali marino-marginali. Nel settore orientale si instaurò un sistema di barriera-laguna e la linea di costa si posizionò a circa 30 km ad ovest rispetto a quella attuale.



A



B

AMBIENTI DEPOSIZIONALI

Sistema deposizionale deltizio e costiero

- Piana deltizia e costiera
- Canale distributore - delta del fiume Po
- Delta minore
- Laguna
- Baia - estuario
- Foce fluviale e spiaggia
- Foce fluviale e spiaggia fossili

Sistema deposizionale alluvionale

- Conoide alluvionale appenninica
- Canale fluviale - fiumi appenninici
- Canale fluviale - fiume Po
- Piana alluvionale e "valli"
- Traccia di paleo-cordone litorale attualmente affiorante
- Alluvioni storiche (epoca medioevale-moderna)

Fig 17 - A) Ricostruzione paleoambientale al Pleistocene superiore: 20.000-18.000 BP circa; B) Ricostruzione paleoambientale per l'intervallo 10.000-8.000 BP circa.

Si individuano due principali baie-estuari rispettivamente a sud-est di Ostellato e in corrispondenza della valle di Argenta, mentre la zona della valle del Mantello continuò a comportarsi come un alto relativo. L'area del Foglio 204 è occupata in questo periodo dalla piana deltizia del fiume Po che espanse ulteriormente il suo dominio verso ovest ricoprendo le aree di pertinenza fluviale, ad esclusione del margine sud-occidentale in cui perdurò l'ambiente alluvionale; la linea di riva, individuata nel sottosuolo dalla presenza di depositi litorali correlati alla scala del bacino, non si spinse mai all'interno dei territori del Foglio 204.

Nella piana deltizia si individuano in settori sempre più occidentali canali distributori e delta minori che testimoniano l'allargamento e la migrazione verso ovest dell'intero apparato deltizio padano. In AMOROSI *et alii* (2005) sono stati correlati i sistemi di barriera-laguna con i corpi sabbiosi di delta minore (*bay head-delta*); tale correlazione ha messo in evidenza come a ciascuna pulsazione trasgressiva corrisponda la retrogradazione del sistema barriera-laguna e la deposizione, nelle aree interne del bacino, di un sistema di delta minore. Questa ricostruzione è in accordo con il modello descritto da DALRYMPLE *et alii* (1992) nel contesto di un estuario sbarrato, dominato dalle onde.

6.000-4.000 anni BP (fig.18b)

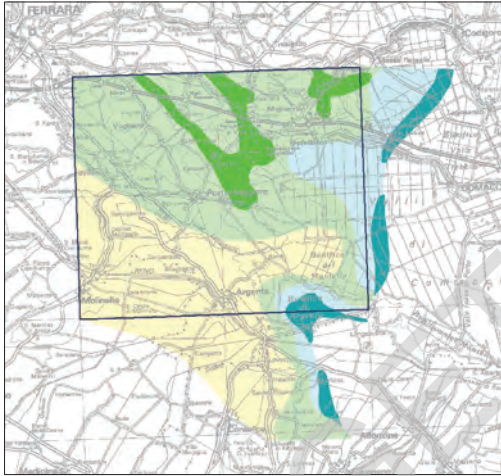
In questo intervallo di tempo il record sedimentario testimonia le ultime fasi della trasgressione, cui corrisponde la massima espansione degli ambienti salmastri verso ovest, e l'inizio della fase di stazionamento alto del livello marino cui segue la progradazione del sistema deltizio padano. La figura 18b, in particolare, ritrae il momento di massima ampiezza degli ambienti lagunari, quando si svilupparono con continuità da nord a sud nel settore orientale dell'area in esame, spingendosi fino ad ovest di Ostellato e nella valle di Argenta e chiudendosi verso sud in prossimità di Fusignano. La fascia dei cordoni litorali si ritrova migrata verso est lungo l'allineamento Codigoro - Longastrino - Fusignano. La piana deltizia si diffuse estesamente occupando quasi interamente l'area del Foglio; verso est si assiste allo sviluppo di estese aree palustri e lagunari alle spalle dei sistemi di cordoni litorali (presenti nei Fogli limitrofi 205, 223, 187). Con l'ampliamento del delta padano, oltre ai canali deltizi settentrionali impostatisi precedentemente (vedi sopra) si individua anche un ramo più meridionale che correva tra Marrara e Consandolo e a nord di Argenta.

Durante le fasi finali di questo intervallo di tempo l'attività deltizia riprese e determinò la riduzione delle aree lagunari, una accentuata progradazione dei cordoni litorali e la riattivazione dei sistemi e dei processi fluviali.

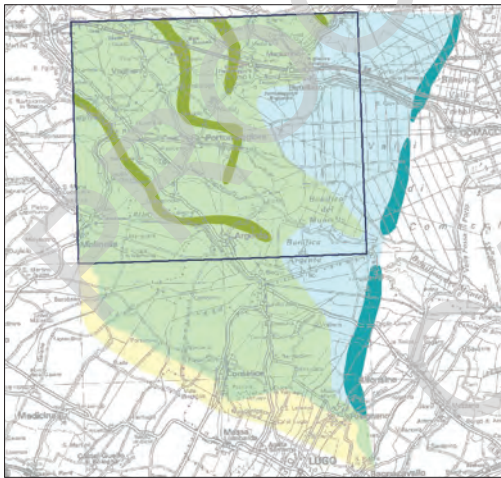
1.3. - L'EPOCA PROTOSTORICA E STORICA

4.000-2.600 anni BP (fig. 19a)

La ricostruzione di questo periodo è sostenuta anche dalle fonti tratte dalla letteratura classica e dagli studi archeologici condotti in questa porzione della



A



B

AMBIENTI DEPOSIZIONALI

Sistema deposizionale deltizio e costiero

- Piana deltizia e costiera
- Canale distributore - delta del fiume Po
- Delta minore
- Laguna
- Baia - estuario
- Foce fluviale e spiaggia
- Foce fluviale e spiaggia fossili

Sistema deposizionale alluvionale

- Conoide alluvionale appenninica
- Canale fluviale - fiumi appenninici
- Canale fluviale - fiume Po
- Piana alluvionale e "valli"
- Traccia di paleo-cordone litorale attualmente affiorante
- ⚡ Alluvioni storiche (epoca medioevale-moderna)

Fig 18 - A) Ricostruzione paleoambientale per l'intervallo 8.000-6.000 BP circa; B) Ricostruzione paleoambientale per l'intervallo 6.000-4.000 BP circa.

Pianura Padana che hanno permesso di integrare le ricostruzioni paleoambientali realizzate sulla base dei dati geologici. Nel settore orientale si riconoscono due complessi principali di cordoni litorali (ancora oggi parzialmente conservati ed affioranti, c.f.r. CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 205 Comacchio, in stampa) alimentati rispettivamente da un ramo deltizio proveniente da ovest e/o da nord che si sviluppava da Voghiera ad Ostellato, fino ad ovest di Comacchio (Po di Spina embrionale) e da un ramo deltizio più meridionale passante da Consandolo (si veda sez. geol. A-A') e Bando e proteso verso le valli del Mantello, a nord di Longastrino (antico Po di Primaro, VEGGIANI, 1974). Tale ramo potrebbe forse essere identificato con la *Padusa*, la maggiore delle diramazioni in destra del Po (UGGERI 2002, p. 24). Nel margine settentrionale si riconosce un tracciato attribuibile ad un Po di Volano embrionale.

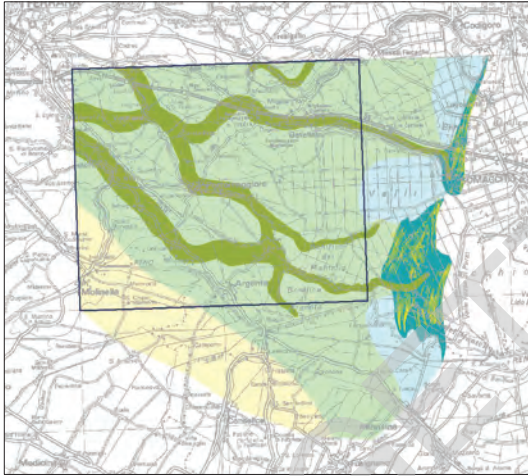
In conseguenza dell'attività di questi canali distributori si realizzò un'avanzamento del delta e una riduzione ulteriore delle aree di laguna; la piana alluvionale avanzò nuovamente sui territori più occidentali occupati precedentemente dalla piana deltizia.

Epoca etrusca (fig. 19b)

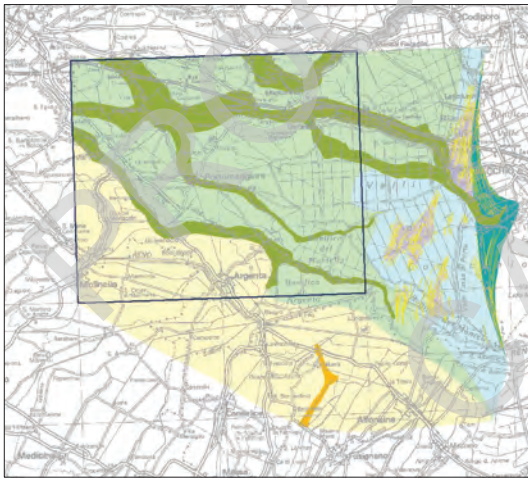
Con l'inizio dell'età del Ferro, il ramo deltizio meridionale si avvia ad un progressivo abbandono mentre i rami di Adria e di Spina divengono predominanti; alla loro foce sorsero, infatti, due importanti città portuali. In particolare, mentre il ramo di Adria volse verso la decadenza, il Po di Spina si configurò come il principale, e ne è la prova il fatto che anche nei secoli successivi esso venne indicato anche come Eridano, perpetuando l'antico nome greco del Po. Lungo il suo corso e le sue diramazioni, come quella per Portomaggiore e Portoverrara, che proseguiva verso Spina con l'andamento conservato dall'argine del Mantello, si attestano la maggioranza degli insediamenti finora noti (BONDESAN 2001, pp. 230-231; UGGERI 2002, pp. 19-24). Il delta principale si sviluppava in corrispondenza dell'antico insediamento di Spina dal quale la linea di costa distava circa 3,5 km (Pseud. Scyl., 18).

Epoca romana (fig. 20a)

Durante questo periodo si assiste alla forte progradazione del delta alimentato dal Po di Spina, definito *Padoa* da Polibio, ed *Eridanus* da Plinio. La linea di costa si trova (Strabone V, 1, 7 C 214) ormai a circa 16 km da Spina (abbandonata forse proprio per questo motivo), distanza calcolata lungo il corso del fiume, e si individuano due foci principali rispettivamente in corrispondenza dell'attuale foce del Reno e di Porto Garibaldi. All'altezza di San Giovanni di Ostellato si staccava in sinistra un braccio minore, corrispondente al paleoalveo segnato dall'Argine delle Gallare, che doveva raggiungere il litorale probabilmente all'altezza di Lagosanto, in corrispondenza della foce detta *Sagis* da Plinio, dove ancora nel IV secolo d.C. era presente una stazione di posta lungo la via Popilia, chiamata *Sacis Ad Padum* (UGGERI 2002, p. 24-30). Il canale del Po già visto in epoca etrusca, che si staccava da Gambulaga per raggiungere Portomaggiore,



A



B

AMBIENTI DEPOSIZIONALI

Sistema deposizionale deltizio e costiero

- Piana deltizia e costiera
- Canale distributore - delta del fiume Po
- Delta minore
- Laguna
- Baia - estuario
- Foce fluviale e spiaggia
- Foce fluviale e spiaggia fossili

Sistema deposizionale alluvionale

- Conoide alluvionale appenninica
- Canale fluviale - fiumi appenninici
- Canale fluviale - fiume Po
- Piana alluvionale e "valli"
- Traccia di paleo-cordone litorale attualmente affiorante
- ⚡ Alluvioni storiche (epoca medioevale-moderna)

Fig 19 - A) Ricostruzione paleoambientale durante il periodo protostorico: 4.000-2.600 BP circa; B) Ricostruzione paleoambientale all'epoca Etrusca. Il ramo distributore principale rappresentato (in verde) con sbocco al mare, corrisponde all'antico tracciato del Po di Spina.

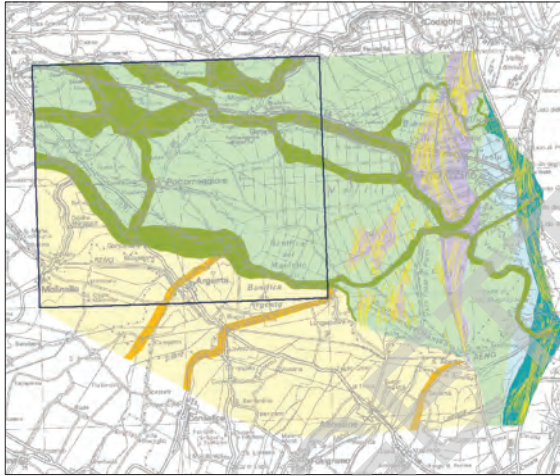
non piegava più verso Portoverrara, ma scendeva a Consandolo, dove si dirigeva ad est verso Bando, lungo un tracciato che si collegava verso ovest ad un antico tracciato del Po di Primaro e che potrebbe verosimilmente corrispondere ad un tratto del canale distributore impostatisi in un periodo precedente (4.000-2.400 BP). Questo ramo doveva essere attivo in epoca augustea, quando al suo ultimo tratto si raccordava la *fossa Augusta*, un canale artificiale che collegava il Po a Ravenna (UGGERI 2002, pp. 24-26). Il corso del ramo meridionale doveva ricevere le acque del Santerno (*Vatrenus* in Plinio) e quindi confluire nuovamente nel corso principale dello Spinetico; sempre Plinio infatti attesta che la bocca meridionale del Po, la più vicina a Ravenna, era chiamata una volta Spinetica o Eridania, e il porto che vi sorgeva di Vatreno. A N-E impostò definitivamente il corso del Po di Volano (“Volane” per Plinio, “Olane” per il greco Polibio ⁽¹⁾), la cui foce, collocata poco a sud di Pomposa, doveva costituire un importante porto fluviale, il più sicuro dell’Adriatico a giudizio di Polibio. Le lagune, delimitate verso il mare dallo spesso cordone sabbioso corrispondente alla linea di costa di epoca etrusca, si restrinsero e si svilupparono solo in prossimità della fascia costiera mentre i depositi fluvio-deltizi si diffusero ampiamente. I corsi della pianura appenninica, come abbiamo visto nel caso del Santerno, furono regimentati e collegati con i canali distributori del delta padano.

Epoca medioevale (fig. 20b)

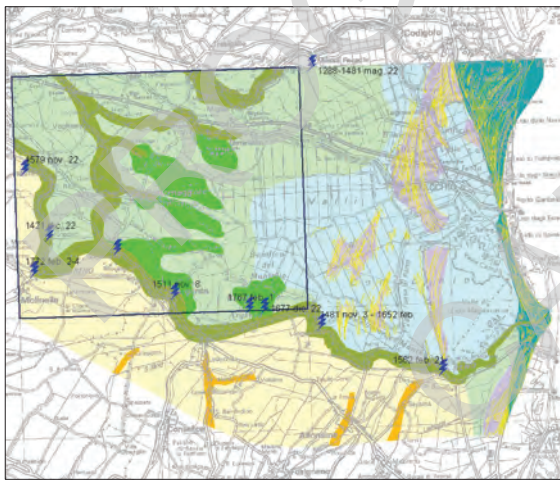
In seguito al periodo classico si assistette ad un profondo riassetto idrografico: si impostò il Po di Primaro e si disattivò il Po di Spina o Eridano, sicuramente decaduto almeno dal IX secolo, periodo a partire dal quale è attestata la denominazione Padovetere, forse ancora più antica (UGGERI 2002, p. 12 e 28). Questa variazione della dinamica del delta padano portò alla configurazione di un’ampia area interdistributrice compresa tra il Po di Primaro e il Po di Volano. Nel settore occidentale di quest’area, in corrispondenza di Portomaggiore, si spegnevano i corsi dei canali deltizi e si formavano delta minori mentre il settore orientale rimaneva escluso da importanti apporti sedimentari; la scarsità degli apporti e la subsidenza naturale di questo settore probabilmente stanno alla base dell’ingressione marina che porto la laguna ad estendersi nuovamente fino alla valle del Mezzano e del Mantello, causando il sostanziale abbandono di tutto il territorio tra Voghenza e Comacchio.

Con l’attività dei due canali distributori principali (Primaro e Volano) si svilupparono estese cuspidi deltizie rispettivamente in corrispondenza dell’attuale foce del Reno e dell’abitato di Volano. Alle spalle di quest’ultimo i benedettini fondarono, forse già nel VI secolo, l’abbazia di Pomposa, posta lungo la via

(1) Polibio ricorda solo due rami del Po, il Padoa e l’Olane, mentre Plinio entra maggiormente nel dettaglio e descrive anche numerose foci minori, ossia Caprasia e Sagis, tra Spinetico e Volano, e Carbonaria, Fossioni e Filistina, a nord di questo.



A



B

AMBIENTI DEPOSIZIONALI

Sistema deposizionale deltizio e costiero

- Piana deltizia e costiera
- Canale distributore - delta del fiume Po
- Delta minore
- Laguna
- Baia - estuario
- Foce fluviale e spiaggia
- Foce fluviale e spiaggia fossili

Sistema deposizionale alluvionale

- Conoide alluvionale appenninica
- Canale fluviale - fiumi appenninici
- Canale fluviale - fiume Po
- Piana alluvionale e "valli"
- Traccia di paleo-cordone litorale attualmente affiorante
- ⚡ Alluvioni storiche (epoca medioevale-moderna)

Fig 20 - A) Ricostruzione paleoambientale all'epoca Romana; B) Ricostruzione paleoambientale all'epoca Medioevale.

Romea che sfruttava il cordone sabbioso corrispondente alla precedente linea di costa di età romana. In corrispondenza della biforcazione del Po di Primaro e del Volano crebbe invece, forte della sua posizione strategica, la città di Ferrara.

I processi fluviali si concentrarono lungo il corso del Po di Primaro e portarono al seppellimento del piano di calpestio romano al di sotto di una coltre spessa fino ad una decina di metri (si veda sez. geol. A-A') mentre ancora ai giorni nostri questo rimane affiorante nei settori settentrionali del Foglio. Le notizie di alluvioni e rotte storiche dal XIII secolo ad oggi raccolte da BONDESAN (2001) riferiscono eventi lungo il corso Po di Primaro, anche quando questo ramo deltizio fu abbandonato, dopo la rotta di Ficarolo (1152 d.C.), ed utilizzato come collettore dei fiumi appenninici (VEGGIANI, 1974; BONDESAN, 1986; CASTIGLIONI *et alii*, 1990).

2. - LA PRESENZA UMANA

(a cura di I. Di Cocco)

Ricostruire la storia della presenza antropica antica nel territorio considerato costituisce una tappa fondamentale per comprendere l'evoluzione del paesaggio mutevole del delta padano, e quindi per interpretare e classificare correttamente le morfologie fossili tuttora individuabili in superficie. Le stesse fonti greche e romane ci parlano del Po e dei suoi affluenti, indicandoci i nomi dei diversi rami padani, non sempre identificabili con sicurezza, e attestandoci l'imponenza di fenomeni come la progradazione della costa nei primi secoli della dominazione romana. Ad esempio Plinio il Vecchio (*Naturalis Historia*, III, 16, 119-122) scrive che il Po, ai suoi tempi, si divideva in 7 rami, di ciascuno dei quali ricorda il nome, e che la foce di Spina aveva la grandezza di un porto. Ancora più interessante risulta confrontare (ALFIERI, 1981; DALL'AGLIO, 1994) i testi dello Pseudo-Scilace (§ 18) e di Strabone (V, 1, 7 C 214). Nel testo del primo, datato al IV secolo a.C., Spina, famoso porto di epoca etrusca alla foce del Po, si trova a 3,5 km dal mare; per il secondo invece, che si basa su fonti della fine del II - inizi del I a.C., essa è a 16,5 km, distanza addirittura superiore all'attuale di circa 11,5 km ⁽²⁾. Si può quindi dedurre che dal IV al I secolo a.C. vi fu un imponente avanzamento della linea di spiaggia, dovuto non solo a fattori ambientali ma anche alle radicali modifiche al paesaggio apportate dalla colonizzazione romana, in particolare dal disboscamento, centuriazione e messa a coltura di ampie zone della Pianura Padana. Queste operazioni infatti causarono, oltre ad altri squilibri ecologici, un

(2) Per spiegare questa distanza si può tenere conto da un lato del fatto che in epoca romana la cuspidè deltizia del ramo spinetico poteva occupare zone oggi riconquistate dal mare, sia che il percorso da Spina al mare con ogni probabilità era misurato seguendo il corso del fiume, come anche quella indicata dallo Pseudo-Scilace (BONDESAN 2001, pp. 230 e 233).

ingente aumento dei materiali detritici trasportati dai fiumi, che rendeva difficile il deflusso dei medesimi a mare, ostruendo di depositi la foce, come ricorda lo stesso Strabone. Il geografo infatti testimonia (V, 1, 5, C 212) che la bocca del Po era ostruita e l'accesso dal mare assai difficoltoso. Il problema doveva essere piuttosto diffuso, poiché l'Adriatico ha di per sé una scarsa capacità di trasporto, diminuita ulteriormente in epoca romana dalla situazione climatica, che riduceva il numero e la violenza delle mareggiate, e quindi la possibilità di redistribuzione degli apporti solidi. Tuttavia lo stretto legame tra il processo di centuriazione e messa a coltura e le difficoltà di deflusso delle acque del Po per l'eccessivo carico di sedimenti è confermato dal fatto che tali difficoltà non sono menzionate né da Polibio (II, 16, 7.12), che scrive quando la romanizzazione era ancora agli inizi, né da Plinio il Vecchio (si veda ancora *Naturalis Historia*, III, 16, 119-122), vissuto in un periodo di intensa risistemazione dell'area deltizia (DALL'AGLIO, 1994, p. 61).

Anche la distribuzione stessa del popolamento antico⁽³⁾ ci testimonia l'importanza del rapporto dell'uomo con le condizioni ambientali e permette di mettere in luce alcune caratteristiche del territorio in esame già ad una prima analisi (fig. 21). Risulta infatti evidente come i siti non siano distribuiti uniformemente, ma si concentrino su alcune strutture morfologiche rilevate, corrispondenti a dossi legati ad antichi alvei fluviali, mentre ampie zone non hanno restituito documentazione o quasi. Tali apparenti "anomalie" non sono imputabili al caso o a lacune della ricerca scientifica⁽⁴⁾, ma trovano spiegazione nelle peculiarità della zona, corrispondente ad un'area sottoposta a forti mutamenti dell'assetto idrografico, con migrazioni dei corsi dei fiumi, in particolare delle ramificazioni del delta padano, e con forti difficoltà nel deflusso delle acque, che hanno portato fino a tempi recenti a diffusi impaludamenti e alla formazione di vere e proprie lagune. L'instabilità di questo paesaggio fece sì che in epoca romana non sorgessero città od agglomerati di grandi dimensioni, ma che il popolamento fosse prevalentemente sparso, con alcuni villaggi di una certa importanza.

Risulta quindi facile immaginare come nelle aree più soggette ad impaludamenti e maggiormente alluvionabili, probabilmente già meno insediate in antico, i siti archeologici presenti risultino frequentemente coperti da ingenti depositi, e quindi siano stati scoperti solo in occasione di lavori che abbiano raggiunto notevoli profondità, come nei casi dei siti scoperti a Molinella (F204_001) e ad

(3) Sono stati censiti 101 siti archeologici; di 73 di questi si conosce o è possibile ricavare la profondità del rinvenimento (si veda fig. 6).

(4) L'area in esame è stata ampiamente studiata nell'ambito delle ricostruzioni dell'evoluzione del delta padano, dagli studi pionieristici di E. Lombardini nell'Ottocento, a quelli di N. Alfieri nella seconda metà del secolo scorso, fino a quelli condotti negli ultimi decenni da G. Uggeri e S. Patitucci Uggeri da un lato e da M. Bondesan dall'altro. A questi ultimi si rimanda per eventuali approfondimenti, e in particolare ai recentissimi BONDESAN (2001) e UGGERI, (2002). A questi studi si aggiunge per il territorio di Ostellato il contributo di DESANTIS (1997).

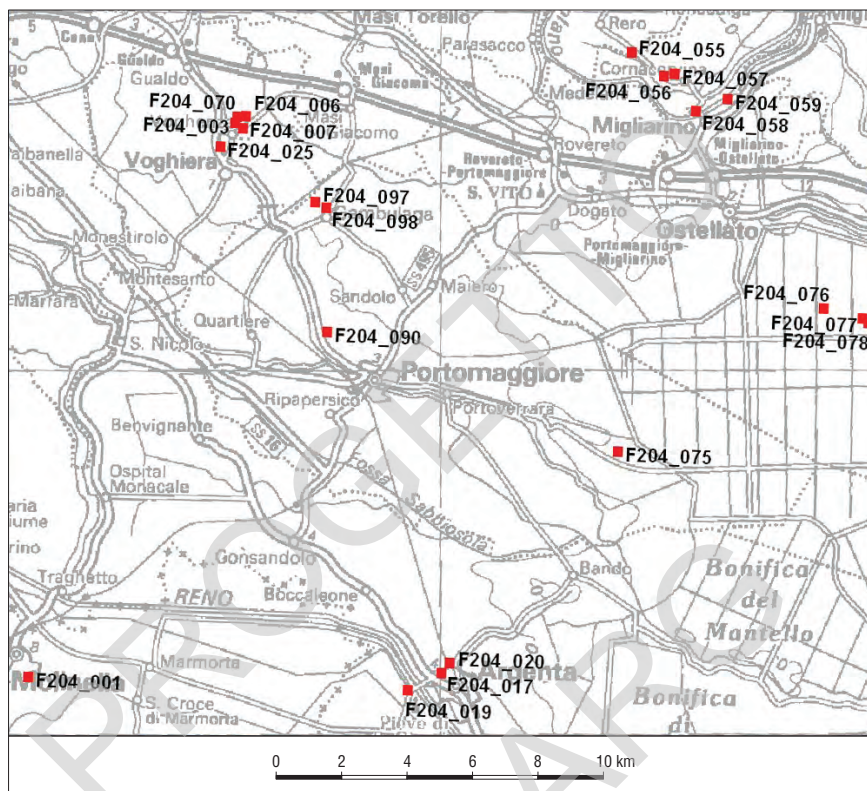


Fig. 21 - Ubicazione dei siti archeologici citati nel testo. La sigla corrisponde a quella della Banca Dati Archeologica della Regione Emilia-Romagna.

Argenta (F204_017, 019 e 020) sepolti da 3-6 metri di alluvioni. Sono invece rimasti sostanzialmente in superficie, come anticipato, gli insediamenti che si disposero lungo i principali dossi fluviali, corrispondenti a degli alti morfologici che non hanno subito lo stesso alluvionamento. Inoltre proprio per questa loro caratteristica di aree sicure e stabili nel contesto di un paesaggio quanto mai mutevole essi ebbero certamente una forte capacità di attrazione del popolamento, sia che si trattasse di dossi di corsi d'acqua ormai estinti ⁽⁵⁾, sia a maggior ragione nel caso in cui i fiumi fossero ancora attivi. Infatti i corsi d'acqua, in particolare

(5) È questo il caso dei siti ubicati sulla sommità del dosso del Parione, in corrispondenza del paleoalveo stesso (F204_076, 077, 078).

il Po, non soltanto assicuravano il rifornimento idrico, ma costituivano una fondamentale arteria commerciale tra l'entroterra padano e la costa adriatica, essendo allora navigabile per quasi tutto il suo corso.

L'importanza della navigazione fluviale è già documentata per l'epoca etrusca, come mostrano ad esempio l'imbarcazione (sito F204_075) sepolta ai margini della valle del Mezzano, che probabilmente fece naufragio con il suo carico di vasi di origine greca mentre risaliva un ramo secondario del Po, o l'insediamento di Voghiera (sito F204_025), sorto alla confluenza di due rami del delta del Po.

Il fenomeno è ancora più evidente in epoca romana, come mostra esemplarmente l'iscrizione sepolcrale di Aufidia Venusta, rinvenuta a S. Margherita di Portomaggiore (sito F204_090) in cui si rivolge un saluto ai "*viatores e velatores*", ossia ai viaggiatori per via di terra e ai naviganti. L'iscrizione è quanto mai significativa dell'ambiente antico di questo settore, in cui vie d'acqua e di terra si affiancavano.

L'importanza dei dossi nell'attrarre il popolamento è esemplificata dalla concentrazione di siti lungo il dosso corrispondente all'allora corso principale del Po, che dalla zona di Cona scendeva verso Voghenza e quindi proseguiva verso est in direzione di Ostellato e San Giovanni (6). Lo stesso fenomeno è osservabile su due rami allora minori del Po, ossia l'antesignano del Po di Volano, nella zona di Migliarino (siti F204_055-059), e lungo il dosso meridionale che passa per Gambulaga, area di rinvenimenti ottocenteschi collegabili ad un'importante necropoli (siti F204_097 e 098). Emblematico infine è il caso del *vicus*, ossia centro demico sorto nell'area di Voghenza e Voghiera (siti F204_003, 006, 007, 070), nato nella zona del sito etrusco già ricordato e che conobbe una notevole importanza in epoca romana e tardoantica, quando divenne precocemente sede episcopale (almeno dal 431 d.C.). Esso si sviluppò infatti in corrispondenza della confluenza di due rami deltizi (7), lungo il cui corso etrusco e romano si verifica un'alta concentrazione di siti archeologici (si veda fig. 21). È quindi evidente come la stessa concentrazione di siti lungo un dosso ne indichi l'importanza nell'epoca considerata, e costituisca un valido elemento datante per tale struttura

(6) Nella zona di San Giovanni di Ostellato, subito all'esterno dei confini del Foglio 204, si sono individuati in affioramento dopo arature profonde diversi siti di epoca romana; uno di questi è stato oggetto di uno scavo archeologico che ha confermato che le strutture romane si trovavano sotto poco più di un metro di interro (CORNELIO CASSAI, 1983-1984, pp. 33-42).

(7) Secondo un'autorevole tradizione di studi (BONDESAN, 2001; UGGERI, 2002; con bibliografia precedente) il dosso orientale che si congiunge all'altezza di Voghiera con il ramo del Po di Spina sarebbe da attribuire al Reno etrusco-romano, che avrebbe ripercorso uno spalto padano; questa lettura sottolineerebbe in modo ancora più significativo l'importanza della posizione del *vicus*, alla confluenza di due fiumi dell'importanza del Po e del Reno. Tale ipotesi potrebbe essere rafforzata anche dallo stesso toponimo latino, spiegabile (UGGERI, 2002, pp. 42-43) come *Vicus Auentia*, ossia villaggio sorto alla confluenza dell'*Auentia* con il Po, analogamente a *Ticinum* (Pavia), città sorta alla confluenza del Ticino nel Po. *Auentia* corrisponde all'antico nome, Avesa, dell'Aposa, affluente bolognese del Reno.

morfologica. Lo scavo della necropoli romana di Voghenza ha inoltre permesso di datare un evento di rotta legato al paleoalveo del Po, perché il piano di campagna antico, posto a 3 m di profondità, risulta coperto da oltre due metri di sabbia di grana media dovuta ad un'alluvione, coperta a sua volta da un sottile strato di limi alluvionali dovuti alla progressiva senescenza del fiume, ancora attestato in età medievale con il nome di Sandalo (BONDESAN & MASÈ, 1984, pp. 18-20). Al corso romano del Po sono dovuti quindi non solo il formarsi del dosso stesso, ma anche alcune alluvioni che seppellirono il piano di campagna antico, ma che sono da porsi ancora nell'orizzonte cronologico del Sintema di Ravenna (AES₈), e in particolare che sembrano da datare al III-IV secolo d.C. Tali esondazioni infatti sono da ricondurre ad un ramo padano ancora in piena attività, mentre con la senescenza del corso del Po di Spina la morfologia rilevata del dosso lo pose sostanzialmente al riparo da ulteriori ricoprimenti del piano di campagna. Per questo motivo non appare sbagliato includere in AES₈ anche settori in cui strutture romane sono state trovate sepolte da 2-3 m di depositi, come nel caso della necropoli di Voghenza, proprio perché sigillate precocemente, come provato anche dal loro ottimo stato di conservazione. La stessa situazione è stata riscontrata anche nel Foglio 203, per quello che riguarda il dosso corrispondente al corso romano del Reno, anch'esso protagonista di alluvioni già nel III-IV secolo, prima di essere progressivamente abbandonato in epoca tardoantica.

PROGETTO
CARG

APPENDICE 3

SEZIONI GEOLOGICHE DI SOTTOSUOLO (INTEGRAZIONE DEL FOGLIO ALLEGATO)

Lo studio del sottosuolo del settore orientale della pianura emiliano-romagnola condotto dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna nell'ambito del Progetto CARG ha prodotto numerose sezioni geologiche che descrivono l'assetto stratigrafico e strutturale dei Fogli di questo territorio. L'introduzione di questa appendice consente di riportare le sezioni geologiche che, per i limiti di dimensione, non erano rappresentabili nel Foglio Allegato.

In figura 22 è illustrata per esteso la sezione profonda Budrio-Ostellato, in parte presente anche nel Foglio Allegato, che mostra le variazioni stratigrafiche di AES sia verso il margine della catena sia verso mare. La figura 23 rappresenta la sezione profonda Malalbergo-Argenta, che, con orientazione NO-SE, descrive l'architettura stratigrafica del Supersistema Emiliano-Romagnolo in corrispondenza dell'alti strutturali del Foglio 204 (si veda fig. 9). In figura 24 è riportata la sezione superficiale D-D' la cui peculiarità è quella di intercettare le sabbie fluviali padane (AES₇) e di mostrare, insieme alla sezione E-E' del Foglio Allegato, la distribuzione delle sabbie litorali di AES₈ nel Foglio 204.

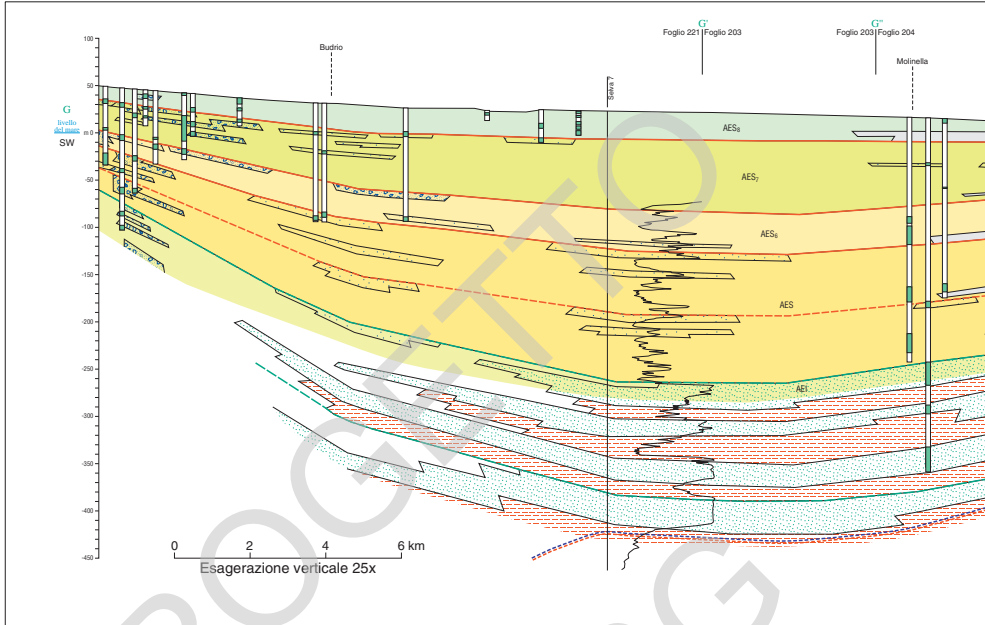
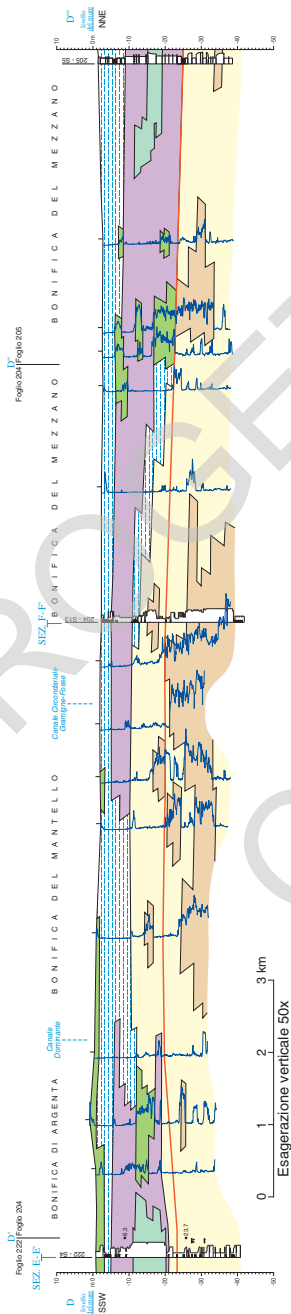


Fig. 22 - Sezione geologica profonda estesa Budrio-Ostellato; la traccia è riportata nel Foglio Allegato.

POZZI E CAROTAGGI		UNITÀ STRATIGRAFICHE	
	Argille, limi e limi sabbiosi		AES ₈ - Subsistema di Ravenna
	Sabbie e sabbie ghiaiose		AES ₇ - Subsistema di Villa Verucchio
204 - S4	Carotaggio "Progetto CARG"		AES ₆ - Subsistema di Bazzano
	Campioni di sabbia di provenienza:		AES - Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore indefferenziato
	padana		AEI - Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore
	appenninica		Limite di Subsistema e/o di ciclo trasgressivo-regressivo
	mista		Limite di Sistema
	Log elettrici pozzi AGIP		H ₂ O _d
			H ₂ O _s
			Interfaccia acqua dolce/salmastro
LITOLOGIE DEI PRINCIPALI AMBIENTI DEPOSIZIONALI			
	Ghiaie di conoide alluvionale appenninica		Sabbie di barriera trasgressiva e cordone litorale
	Sabbie fluviali (provenienza mista)		Argille e limi organici di palude-laguna (piana costiera)
	Sabbie fluviali (provenienza appenninica)		Argille e limi di prodelta e piattaforma
	Sabbie fluviali (provenienza padana)		Argille e limi con sostanza organica (piana alluvionale)
	Sabbie fluvio-deltizie e di piattaforma indefferenziata (provenienza padana)		



CAROTAGGI

- 204 - S4 Carotaggio "Progetto CARG"
- Profilo granulometrico del carotaggio
- Indagini geognostiche della banca dati RER
- Penetrometrie elettriche "Progetto CARG" (resistenza alla punta)
- 40 Età ¹⁴C B.P. (in ka non calibrati)

DEPOSITI DI PIANA DELTIZIA

- Sabbie e limi di canale distributore e delta minore
- Argille e limi con sostanza organica di palude/laguna
- Argille e limi laminati di area interdistributrice, laghi costieri e paludi
- Argille e limi con sabbia bioturbati di laguna e baia
- Sabbie di cordone litorale/barra di foce

DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE

- Sabbie di riempimento di canale e rotta fluviale
- Argille, limi e sabbie di piana inondabile
- Base del Subsistema di Ravenna - AES₈

Fig. 24 - Sezione geologica superficiale D-D'; la traccia è riportata nel Foglio Allegato.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AGIP (1972) - *Acque dolci sotterranee*. Grafiche Palombi, Roma, 914 pp.
- AGIP (1994) - *Acque dolci sotterranee*. Graf 3, Roma, 515 pp.
- ALFIERI N. (1981) - *Strabone e il delta antico del Po*. In: "Padusa" XII, pp. 3-11.
- AMOROSI A., ASIOLI A., BONDESAN M., CIBIN U., COLALONGO M.L., CORREGGIARI A., PASINI G., PRETI D., ROVERI M., SARTI G., SEVERI P., STEFANI M., TRINCARDI F., VAIANI S.C. & VINCENZI S. (2000) - *Dalle conoidi pedemontane al mare aperto: l'architettura stratigrafica tardo-quadernaria dell'Adriatico settentrionale e della pianura costiera emiliano-romagnola*. Atti del convegno: Le Pianure Conoscenza e salvaguardia, Ferrara (8-11 Novembre 1999), 191-194.
- AMOROSI A., CENTINEO M.C., COLALONGO M.L., CORREGGIARI A., PASINI G., SARTI G. & VAIANI S.C. (2003) - *Facies architecture and latest Pleistocene-Holocene depositional history of the Po delta (Comacchio Area), Italy*. *Journal of Geology*, **111**: 39-56.
- AMOROSI A., CENTINEO M.C., COLALONGO M.L. & FIORINI F. (2005) - *Millennial-scale depositional cycles from the Holocene of the Po Plain, Italy*. *Marine Geology*, 222-223 Mediterranean prodelta systems, 7-18.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., CORREGGIARI A., FIORINI F., FUSCO F., PASINI G., VAIANI S.C. & SARTI G. (2004) - *Palaeogeographic and palaeoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records*. *Global and Planetary Change*, **40**: 55-78.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., FUSCO F., PASINI G. & FIORINI F. (1999b) - *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., COLALONGO M.L., PASINI G. & PRETI D. (1999a) - *Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy)*. *Sedimentology*, **46**: 99-121.
- 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**: 3-16.
- AMOROSI A., FARINA M., SEVERI P., PRETI D., CAPORALE L. & DI DIO G. (1996) - *Genetically Related alluvial deposits across active fault zone: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy*. *Sedimentary Geology*, **102**: 275-295.
- BARD E., HAMELIN B., ARNOLD M., MONTAGGIONI L., CABIOCH G., FAURE G. & ROUGERIE F. (1996) - *De-glacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge*. *Nature*, **382**: 241-244.
- BLANCHON P. & SHAW J. (1995) - *Reef drowning during the last deglaciation; evidence for catastrophic sea-level rise and ice-sheet collapse*. *Geology*, **23**: 4-8.
- BLUM M.D. & TÖRNQVIST T.E. (2000) - *Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward*. *Sedimentology*, **47** (Suppl. 1): 2-48.
- BONDESAN M. (1968) - *Nuovi dati sull'evoluzione dell'antico delta padano in epoca storica*. *Atti Acc. Scienze Ferrara*, **43/44** (2): 1-26.
- BONDESAN M. (1986) - *Lineamenti di geomorfologia del basso ferrarese*. In: *La civiltà comacchiese e pomposiana dalle origini preistoriche al tardo medioevo*. Atti del Convegno nazionale di studi storici, Comacchio (1984), 17-28.
- BONDESAN M. (1988) - *Aspetti e problemi geomorfologici del territorio deltizio padano*. In: *Riunione annuale del Gruppo Nazionale di Geografia Fisica e Geomorfologia, Guida alle escursioni, Riccione-Delta (21-24 giugno 1988)*, 31-58.

- BONDESAN M. (1990) - *Le zone umide salmastre dell'Emilia-Romagna: aspetti geografici e geomorfologici*. In: *Aspetti naturalistici delle zone umide salmastre dell'Emilia-Romagna*, pp. 23-56, Regione Emilia-Romagna.
- BONDESAN M. (1995) - *New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene*. *Quaternary International*, **29/30**: 105-110.
- BONDESAN M. (2001) - *L'evoluzione idrografica e ambientale della pianura ferrarese negli ultimi 3.000 anni*. In: BROGLIO A., BONDESAN M. (a cura di), *Storia di Ferrara, I. Territorio e preistoria*, Ferrara (2001), pp. 228-263.
- BONDESAN M., CALDERONI G., CATTANI L., FERRARI M., FURINI A.L., SERANDREI BARBERO R. & STEFANI M. (1999) - *Nuovi dati stratigrafici, paleoambientali e di cronologia radiometrica sul ciclo trasgressivo-regressivo olocenico nell'area deltizia padana*. *Annali dell'Università di Ferrara*, **8** (1): 1-34.
- BONDESAN M., FERRARI M. & STEFANI M. (1997) - *Evoluzione deposizionale della sequenza olocenica nella regione deltizia padana*. In: *Atti del GEOITALIA, I Forum FIST (1997)*, **2**: 223-224.
- BONDESAN M. & MASÈ G. (1984) - *Geomorfologia del territorio di Voghenza e Voghiera*. In: AA.VV., *Voghenza: una necropoli di età romana nel territorio ferrarese*, Ferrara (1982), pp. 11-21.
- BURNS B.A., HELLER P.L., MARZO M. & PAOLA C. (1997) - *Fluvial response in a sequence stratigraphic framework: example from the Montserrat fan delta, Spain*. *Journal of Sedimentary Research*, **67**: 311-321.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:100.000, Foglio 76 - Ferrara (1955) - Servizio Geologico Nazionale.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:100.000, Foglio 89 - Ravenna (1956) - Servizio Geologico Nazionale.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:100.000, Foglio 88 - Imola (1958) - Servizio Geologico Nazionale.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:100.000, Foglio 77 - Comacchio (1963) - Servizio Geologico Nazionale.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 254 - Modigliana (2001) - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 218 - Castelnovo ne' Monti (2002) - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 223 - Ravenna (2002) - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 199 - Parma sud (2005) - APAT - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 219 - Sassuolo (2005) - APAT - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 240/241 - Forlì/Cervia (2005) - APAT - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 256 - Rimini (2005) - APAT - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 180 - Salsomaggiore (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 181 - Parma nord (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.

- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 187 - Codigoro (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 202 - San Giovanni in Persiceto (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 203 - Poggiorenatico (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 205 - Comacchio (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 220 - Casalecchio di Reno (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 221 - Bologna (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 222 - Lugo (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 239 - Faenza (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 255 - Cesena (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA DEI MARI ITALIANI ALLA SCALA 1:250.000 Foglio NL 33-10 Ravenna (2001) - Servizio Geologico d'Italia - CNR.
- 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.
- CATTANEO A. & TRINCARDI F. (1999) - *The late-Quaternary transgressive record in the Adriatic epicontinental sea: basin widening and facies partitioning*. In: BERGMAN K.M., SNEDDEN J.W. (Eds.), *Isolated Shallow Marine Sand Bodies: Sequence Stratigraphic Analysis and sedimentologic Interpretation*. SEPM Special Publication **64**: 127-146.
- CIABATTI M. & VEGGIANI A. (1990) - *Caratteri ed evoluzione del litorale emiliano-romagnolo*. In: *Il Mondo della Natura in Emilia-Romagna: la Pianura e la Costa*. Federazione Casse Risparmio e Banche del Monte dell'Emilia-Romagna, Milano, 77-94.
- CNR (1990) - *Structural model of Italy and gravity map*. Quaderni della Ricerca Scientifica **144**, S.EL.CA., Firenze.
- CORNELIO CASSAI C. (1983-1984) - *Saggi di scavo a San Giovanni di Ostellato*. In: "Musei Ferraresi" **13/14** (1983-1984): pp. 33-42.
- 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 DE BATIST M. & JACOBS P.), 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.
- CREMASCHI M. & GASPERI G. (1989) - *L' "alluvione" alto-medievale di Mutina (Modena) in rapporto alle variazioni ambientali oloceniche*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **42**: 179-190.
- DALL'AGLIO P.L. (1994) - *Topografia antica e geomorfologia*. In: "Journal of Ancient Topography" **IV** (1994): pp. 59-68.
- DALRYMPLE R.W., ZAITLIN B.A. & BOYD R. (1992) - *Estuarine facies model: conceptual basis and stratigraphic implication*. *Journ. Sed. Petrol.*, **62-6**: 1130-1146.

- DESANTIS P. (1997) - *Per una carta archeologica del territorio di Ostellato: appunti preliminari*. In: BERTI F. (a cura di), *Percorsi di archeologia*, Migliarino (1997), pp. 15-31.
- FABBRİ A., ARGNANI A., BORTOLUZZI G., CORREGGIARI A., GAMBERI F., LIGI M., MARANI M., PENITENTI D., ROVERI M. & TRINCARDI F. (in stampa) - *Cartografia dei mari italiani alla scala 1:250.000: Note Illustrative Foglio Sperimentale JOG NL33 Ravenna*. Servizio Geologico Italiano - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- FAIRBANKS R.G. (1989) - *A 17.000 year glacio-eustatic sea level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation*. *Nature*, **342**: 637-642.
- FAIRBANKS R.G., CHARLES C.D. & WRIGHT J.D. (1992) - *Origin of global meltwater pulses*. In: TAYLOR R.E., LONG A. & KRA R.S. (Eds.): "Radiocarbon after four decades: an interdisciplinary perspective". Springer-Verlag, New York, 473-500.
- FAO (1967) - *Aerial photo interpretation in soil survey*. *Soils Bulletin*, **6**: 54 pp.
- FARABEGOLI E. & ONOREVOLI G. (1989) - *Introduzione all'analisi dei depositi alluvionali quaternari del margine appenninico-padano. Il fiume Savio*. *Giornale di Geologia*, **51**: 119-146.
- FARABEGOLI E., ONOREVOLI G., RUFFINO C. & COSTANTINI B. (1997) - *Struttura del sottosuolo quaternario della Pianura Padana meridionale (Provincia di Ravenna - Italia)*. 12 Tavv.
- KHAN I.A., BRIDGE J.S., KAPPELMAN J. & WILSON R. (1997) - *Evolution of Miocene fluvial environments, eastern Potwar plateau, northern Pakistan*. *Sedimentology*, **44**: 221-251.
- LOCKER S.D., HINE A.C., TEDESCO L.P. & SHINN E.A. (1996) - *Magnitude and timing of episodic sea-level rise during the last deglaciation*. *Geology*, **24**: 827-830.
- MARTINSON D.G., PISIAS 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.
- MONTEVECCHI G. & NOVARA P. (2000) - *In agro decimano: per un catalogo del patrimonio storico archeologico del territorio a sud di Ravenna. Comune di Ravenna*. Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia-Romagna. Danilo Montanari Editore, 222 pp.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (1983) - *North American Stratigraphic Code*. AAPG Bulletin, **67**: 841-875.
- OLSEN T., STEEL R., HOGSETH SKAR T. & ROE S.L. (1995) - *Sequential architecture in a fluvial succession: sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous Mesaverde Group, Price Canyon, Utah*. *Journal of Sedimentary Research*, **B65**: 265-280.
- PATITUCCI UGGERI (1972) - *Il popolamento di età romana nell'antico Delta Padano I - Valle del Mezzano*. In: "Atti e memorie della Deputazione Provinciale Ferrarese di Storia Patria", s. III, vol. **XI** (1972).
- PETTIT J.R., JOUZEL J., RAYNAUD D., BARKOV N.I., BARNOLA J.M., BASILE I., BENDER M., CHAPPELLAZ J., DAVIS M., DELAYGUE G., DELMOTTE M., KOTLYAKOV V.M., LEGRAND M., LIPENKOV V.Y., LORIUS C., PEPIN L., RITZ C., SALTZMAN E. & STIEVANARD M. (1999) - *Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from the Vostok ice core, Antarctica*. *Nature*, **399**: 429-436.
- PIERI M. & GROPPİ G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*. CNR Publ. 414 Progetto Finalizzato Geodinamica, 13 pp.
- POAG C.W. & WARD L.W. (1993) - *Allostratigraphy of the U.S. Middle Atlantic Continental Margin - Characteristics, distribution, and depositional history of principal unconformity-bounded Upper Cretaceous and Cenozoic sedimentary units*. U.S. Geological Survey Professional Paper, **1542**: pp. 81.

- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1994) - *I suoli dell'Emilia-Romagna. Carta alla scala 1:250.000 e Note Illustrative*. Bologna, pp. 383.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1999) - *Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna alla scala 1:250.000*. Bologna.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR (2002) - *Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo alla scala 1:250.000*. S.EL.CA., Firenze.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. Bologna.
- RICCI LUCCHI F., COLALONGO M.L., CREMONINI G., GASPERI G.F., IACCARINO S., PAPANI G., RAFFI S. & RIO D. (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico*. In: Guida alla geologia del margine appenninico padano (a cura di CREMONINI G. & RICCI LUCCHI F.). Guide Geologiche Regionali S.G.I, Bologna, 17-46.
- RIZZINI A. (1974) - *Holocene sedimentary cycle and heavy mineral distribution, Romagna-Marche coastal plain, Italy*. *Sedimentary Geology*, **11**: 17-37.
- SALVADOR A. (1994) - *International stratigraphic guide, second edition - International Subcommittee on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy*. IUGS and GSA, pp. 214.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1992) - *Cartografia geologica del Quaternario continentale*. In: Carta Geologica d'Italia - 1:50.000. Guida al rilevamento. Quaderni SGN, Serie III, **1**: 67-86.
- SHANLEY K.W. & MCCABE P.J. (1994) - *Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata*. *AAPG Bulletin*, **78**: 544-568.
- 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.
- UGGERI G. (2002) - *Carta archeologica del territorio ferrarese (F. 76)*. Galatina (LE) 2002.
- 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 3.000 anni*. *Padusa, Rovigo*, **1-2**: 39-60.
- VEGGIANI A. (1982) - *La piccola età glaciale e gli impaludamenti tra Conselice e Alfonsine*. *Studi Romagnoli*, **33**: 1-18.
- VEGGIANI A. (1984) - *Il deterioramento climatico dei secoli XVI-XVIII e i suoi effetti sulla bassa Romagna*. *Studi Romagnoli*, **35**: 109-124.
- VEGGIANI A. (1986) - *L'ottimo climatico medievale in Europa. Testimonianze lungo la fascia costiera padano-adriatica*. *Studi Romagnoli*, **37**: 1-26.
- VEGGIANI A. (1987) - *Stratigrafie archeologiche e abbassamento del suolo nella pianura emiliano-romagnola*. *Studi Romagnoli*, **38**: 331-352.
- VEGGIANI A. (1990) - *Fluttuazioni climatiche e difesa del suolo nella Pianura Padana orientale, tra i secoli XIV e XVII*. Atti del convegno "Uomini, Terra e Acque", Rovigo (19-20 novembre 1988), 25-47.
- 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.