



ISPR 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 187

CODIGORO

A cura di:

U. Cibi², M. Stefani¹

Con i contributi di:

**M. Bondesan³, L. Cattani⁴, A. Ceriani⁵, M.L. Colalongo⁶,
A. Di Giulio⁵, L. Marchesini², N. Pugliese⁷, F. Serra⁶,
E. Tsakiridis⁷, S.C. Vaiani⁶, S. Vincenzi²**

¹ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara

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

³ Parco Regionale del Delta del Po, Emilia-Romagna

⁴ Centro di Ricerche Archeobotaniche di Ravenna, Dipartimento di Archeologia, Università di Bologna

⁵ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia

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

⁷ Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine, Università di Trieste

Ente realizzatore:



Regione Emilia-Romagna

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Direttore del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA: A. Todisco

**Responsabile del Progetto CARG per il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA:
F. Galluzzo.**

**Responsabile del Progetto CARG per la Regione Emilia-Romagna:
R. Pignone.**

PER IL SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - ISPRA

Revisione scientifica

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

Coordinamento cartografico

D. Tacchia (coord.), V. Pannuti

Revisione informatizzazione dei dati geologici

L. Battaglini, C. Cipolloni, D. Delogu, A. Fiorentino (ASC)

Coordinamento editoriale

M. Cosci, V. Pannuti

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: **A.T.I.** - **S.EL.CA.** srl - **L.A.C.** srl - **SYSTEMCART** srl - 2009

INDICE

	- RINGRAZIAMENTI	pag. 7
I	- INTRODUZIONE	» 9
II	- INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	» 13
1.	- IL CONTESTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO . . .	» 13
2.	- INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO . .	» 14
3.	- STUDI PRECEDENTI	» 17
III	- METODI DI INDAGINE	» 21
1.	- CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE	» 21
1.1.	- ACQUISIZIONE DEI DATI PREGRESSI	» 21
1.2.	- TECNICHE DI TELERILEVAMENTO	» 22
1.3.	- RILEVAMENTI E CAMPIONAMENTI DI TERRENO	» 24
2.	- CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO	» 26
2.1.	- REALIZZAZIONE DELLA BANCA DATI GEOGNOSTICI	» 26
2.2.	- ELABORAZIONE DI UNO SCHEMA GEOLOGICO PRELIMINARE	» 28
2.3.	- ESECUZIONE DI NUOVE INDAGINI DI SOTTOSUOLO	» 28
2.4.	- VALUTAZIONE DELL’AFFIDABILITÀ DEI DATI E SINTESI GEOLOGICA TRIDIMENSIONALE	» 31
IV	- STRATIGRAFIA	» 35
1.	- IL CONTESTO CONCETTUALE	» 35
2.	- LE UNITÀ A LIMITI INCONFORMI NELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA DELL’EMILIA-ROMAGNA	» 36
2.1.	- SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	» 40
2.1.1.	- <i>Subsintema di Bazzano</i>	» 44
2.1.2.	- <i>Subsintema di Villa Verucchio</i>	» 44
2.1.3.	- <i>Subsintema di Ravenna ed unità di Modena</i>	» 45
3.	- RELAZIONI CON LE SUDDIVISIONI STRATIGRAFICHE DI REGIONI LIMITROFE	» 51
V	- FACIES DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE	» 53
1.	- PIANA ALLUVIONALE	» 53
1.1.	- SABBIE DI RIEMPIMENTO DI CANALE FLUVIALE DI MEDIA PIANURA ALLUVIONALE FREDDA	» 53
1.2.	- ALTERNANZE DI SABBIE, LIMI ED ARGILLE DI TRACIMAZIONE FLUVIALE .	» 55
2.	- PIANA DELTIZIA	» 59
2.1.	- SABBIE DI RIEMPIMENTO DI CANALE DISTRIBUTORE	» 59
2.2.	- SABBIE E LIMI DI ARGINE E ROTTA DI CANALE DISTRIBUTORE	» 60

2.3.	- ARGILLE, LIMI E TORBE DI PIANA INTERDISTRIBUTTRICE DULCICOLA »	62
3.	- FRONTE DELTIZIA E PIANA DI SABBIA. »	63
3.1.	- SABBIE DI DUNA EOLICA »	63
3.2.	- SABBIE DI CORDONE LITORALE E SPIAGGIA »	66
3.3.	- SABBIE DI DELTA-ESTUARIO E BARRIERA TRASGRESSIVA »	67
3.4.	- ARGILLE E LIMI DI PALUDE SALMASTRA E LAGUNA »	68
4.	- PRODELTA E TRANSIZIONE ALLA PIATTAFORMA »	70
4.1.	- ARGILLE E LIMI DI PRODELTA »	70
VI	- CARTOGRAFIA »	73
1.	- CARTA GEOLOGICA »	74
1.1.	- STRUTTURA E SIMBOLOGIA »	74
1.2.	- PRINCIPALI ELEMENTI DELLA CARTA »	75
1.3.	- SEZIONI PELLICOLARI E SCHEMI GRAFICI »	76
2.	- FOGLIO ALLEGATO - GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO »	77
2.1.	- SEZIONE GEOLOGICA PROFONDA »	78
2.2.	- SEZIONI GEOLOGICHE SUPERFICIALI »	78
2.3.	- CARTA DEL TETTO DELLE SABBIE LITORALI - SUBSISTEMA DI RAVENNA »	79
2.4.	- CARTA DEL TETTO DELLE SABBIE ALLUVIONALI DEL FIUME PO - SUBSISTEMA DI VILLA VERUCCHIO. »	80
VII	- EVOLUZIONE GEOLOGICO-AMBIENTALE »	81
1.	- INTERPRETAZIONE CRONOLOGICA »	81
2.	- STRATIGRAFIA SEQUENZIALE E FLUTTUAZIONI DEL LIVELLO MARINO »	84
3.	- EVOLUZIONE PALEOAMBIENTALE »	88
3.1.	- SEDIMENTAZIONE CONTINENTALE SINGLACIALE »	89
3.2.	- DALLA DEGLACIAZIONE ALLA MASSIMA TRASGRESSIONE »	89
3.3.	- INIZIO DELLA REGRESSIONE E PROGRADAZIONE DI VARIE GENERAZIONI DI LOBI DELTIZI »	91
3.4.	- L'EVOLUZIONE AMBIENTALE DALL'EPOCA ROMANA AL 1500 »	94
3.5.	- LA CRESCITA DEL DELTA MODERNO E L'ATTUALE CONTESTO AMBIENTALE. »	97
VIII	- ASPETTI GEOLOGICO-APPLICATIVI E GEOTOPI »	99
1.	- ATTIVITÀ ESTRATTIVE. »	99
2.	- CENNI SULL'ASSETTO IDROSTRATIGRAFICO ED IDROGEOLOGICO »	100
2.1.	- IL CONTESTO IDROLOGICO. »	101
2.2.	- CONSIDERAZIONI SULL'ASSETTO IDROSTRATIGRAFICO. »	102
2.3.	- CENNI SULLA DINAMICA IDROGEOLOGICA »	103
3.	- ASPETTI GEOLOGICO-AMBIENTALI, GEOTOPI E VALORIZZAZIONE GEOTURISTICA »	103
3.1.	- PALUDI SALMASTRE E BAIA INTERDISTRIBUTTRICE »	104

3.2.	- CORDONI LITORALI ED AREE SABBIOSE BOScate »	105
3.3.	- DUNE EOLICHE »	106
3.4.	- CORPI IDRICI ISOLATI IN DEPRESSIONI EROSIVE TIPO “GORGIO” »	107
3.5.	- CANALI DISTRIBUTORI DELTIZI, RETICOLO DRENANTE ARTIFICIALE ED OPERE DI BONIFICA STORICA »	107
APPENDICE 1		
DESCRIZIONE DEI SONDAGGI STRATIGRAFICI »		109
APPENDICE 2		
IL SONDAGGIO PROFONDO VALLE GIRALDA 187-S1: ANALISI PALEONTOLOGICHE, POLLINICHE, PETROGRAFICHE ED EVOLUZIONE AMBIENTALE »		119
APPENDICE 3		
PETROGRAFIA DELLE UNITÀ SABBIOSE »		141
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI »		154

PROGETTO
CARG

RINGRAZIAMENTI

Vogliamo innanzitutto ringraziare il Prof. Marco Bondesan, per avere promosso quattro sondaggi stratigrafici, confluiti nel rilevamento di questo Foglio (Massafiscaglia e Mezzogoro 1, 2, 3), per le determinazioni sulle macrofaune dal sottosuolo e per le discussioni sull'evoluzione geologica, geomorfologica e storica della regione. Ringraziamo il Prof. Alessandro Amorosi (Università di Bologna), per le discussioni sull'evoluzione stratigrafica regionale; il Dott. Gian Paolo Balboni, per le informazioni sui geotopi d'interesse naturalistico; la Dott. Fede Berti (Direttrice del Museo Archeologico Nazionale di Ferrara) per l'accesso ai dati archeologici; la Dott. Gabriella Dugoni (Provincia di Ferrara), per le informazioni su cave ed attività estrattive; il Prof. Alessandro Gargini (Università di Ferrara), per i contributi sull'assetto idrogeologico; il Dott. Fabio Trincardi (CNR Bologna), per le informazioni sulla geologia a mare. Si ringrazia inoltre il Consorzio di Bonifica del Primo Circondario e l'Università degli Studi di Ferrara, per la conservazione delle carote dei sondaggi stratigrafici, e tutti gli enti e le persone che hanno messo a disposizione di dati geognostici per la realizzazione della relativa banca dati.

PROGETTO
CARG

I - INTRODUZIONE

Il Foglio Geologico 1:50.000 Codigoro (Foglio 187) descrive un'area di pianura costiera, in cui affiorano esclusivamente sedimenti olocenici, accumulati al margine meridionale dell'attuale Delta del Po, al confine fra Emilia-Romagna e Veneto (fig. 1). Questo Foglio 187 Codigoro s'integra con quelli realizzati più a sud, attraverso la fascia costiera della Regione Emilia-Romagna (Foglio 205 Comacchio, in stampa; Foglio 223 Ravenna, 2002; Foglio 240-241 Forlì-Cervia, 2005; Foglio 256 Rimini, 2005). Questo lavoro affianca alla descrizione stratigrafico-sedimentologica dei sedimenti affioranti l'interpretazione dell'architettura deposizionale tardo-quadernaria del sottosuolo, utile anche per l'interpretazione geotecnica ed idrogeologica. Il rilevamento si è perciò basato sull'analisi di dati di superficie, di sottosuolo ed a mare. L'indagine sul sottosuolo ha richiesto risorse finanziarie ed energie di ricerca superiori a quello di superficie, ma i due aspetti del lavoro sono proceduti sempre in modo strettamente coordinato. L'interpretazione del sottosuolo è stata, infatti, fortemente aiutata dalla ricostruzione dei corpi sedimentari affioranti. L'indagine dettagliata ha riguardato la superficie ed i primi 40 m di sottosuolo; con una risoluzione areale minore, essa è stata estesa a scala regionale, a profondità d'alcune centinaia di metri. La definizione dell'assetto stratigrafico nel sottosuolo permette la ricostruzione dell'evoluzione deposizionale dell'area e fornisce una migliore base stratigrafica per la previsione della subsidenza, la protezione della costa e delle risorse idriche sotterranee, ecc. Il contenuto informativo della carta può essere utilizzato per la pianificazione territoriale e come guida alle indagini geotecniche e idrogeologiche, mentre è inadeguato come elemento sostitutivo d'indagini geognostiche per la soluzione di problemi su scala locale, come ad esempio per la progettazione geotecnica di manufatti. Le indagini di superficie si sono basate sulla fotointerpretazione d'immagini aeree e satellitari, sull'analisi del microrilievo e sul rilevamento e

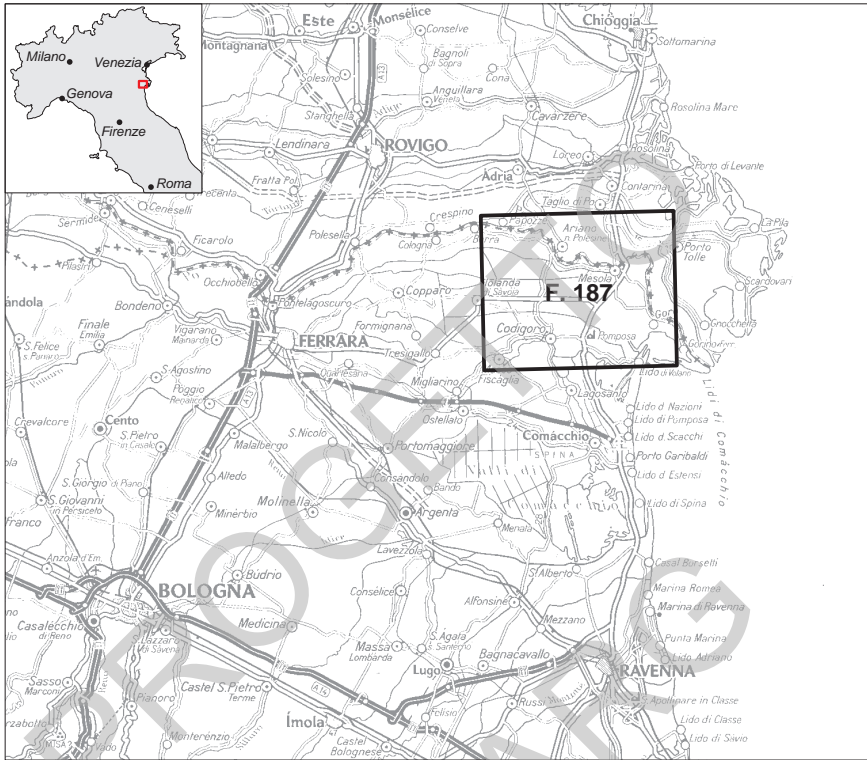


Fig. 1 - Localizzazione geografica dell'area cartografata, al limite sud-occidentale dell'attuale lobo del delta del Po, a cavallo fra le province di Ferrara e di Rovigo.

campionamento di terreno, assistito da posizionamento GPS. Le indagini sul sottosuolo si sono basate su sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche a piezocono, e, per le parti più superficiali, su trivellate manuali, integrate dall'analisi critica della banca dati geognostici precedenti al nostro rilevamento, in gran parte derivati da indagini geotecniche e geognostiche con finalità ingegneristiche, realizzata dal Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna. L'acquisizione dei sondaggi stratigrafici e delle prove penetrometriche e il rilevamento della carta di superficie è avvenuto negli anni 2000-2003; la carta è stata disegnata e digitalizzata nel corso del 2004. Essa è accompagnata da una banca dati informatizzata in ambiente GIS, aggiornata al 2005.

Queste ricerche sono state sintetizzate nella carta geologica di superficie e nelle sezioni pellicolari (Carta Geologica *sensu stricto*), nelle due carte di sottosuolo ed in cinque sezioni geologiche (Foglio Allegato alla Carta Geologica), oltre che nel diagramma stratigrafico a recinto e nelle colonne stratigrafiche

dettagliate (Appendice 1). Le indagini a maggiore profondità fanno parte delle ricerche sull'assetto idrostratigrafico regionale e sono illustrate da una sezione geologica profonda, oltre che dalla stratigrafia dettagliata del sondaggio più profondo (Appendice 2). Queste note illustrative comprendono un inquadramento geologico-geomorfologico generale (titolo II), la descrizione delle metodologie di superficie e sottosuolo (titolo III), la discussione dell'assetto stratigrafico, con particolare riguardo alle unità regionali a limiti inconformi (titolo IV). Il titolo V fornisce un'analisi dei litotipi, delle facies deposizionali e dei corpi sedimentari; il titolo VI illustra i prodotti cartografici che descrivono l'architettura deposizionale tridimensionale, mentre i due titoli seguenti discutono l'evoluzione stratigrafica dell'area indagata ed alcuni aspetti rilevanti per la gestione ambientale di questa fragile regione costiera. Nelle appendici, sono infine discussi i dati derivati dall'analisi sedimentologica, macro- e micropaleontologica dei numerosi sondaggi a carotaggio continuo (Appendice 1), la descrizione del sondaggio più profondo (187-S1, Appendice 2) ed i dati sulla composizione petrografica delle unità sabbiose (Appendice 3).

PROGETTO
CARG

II - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

1. - IL CONTESTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

Il Foglio 187 Codigoro si sviluppa nella fascia costiera della Pianura Padana, subito a sud dell'attuale Delta del Po, al limite nord-orientale della Regione Emilia-Romagna. Il bordo settentrionale del Foglio coincide con il 45° Parallelo. Circa due terzi dell'area cartografata appartengono alla Provincia di Ferrara, il rimanente a quella di Rovigo. L'area è solcata a nord dal Po, che vi si apre in rami deltizi attivi, ed a sud dal Volano, alveo medievale del Po, oggi scollegato dal reticolo idrografico padano ed utilizzato come canale navigabile e di scolo. In tutta la regione, si osserva una forte relazione fra la distribuzione dei corpi deposizionali olocenici e l'andamento del microrilievo, reticolo viario ed insediamento storico. La regione cartografata è quasi interamente formata da aree interfluviali depresse, bonificate durante gli ultimi due secoli ed oggi in gran parte al di sotto del livello del mare, ad eccezione d'alcuni corpi allungati di paleoalveo e di più estesi cordoni costieri. Gran parte dell'area può essere perciò mantenuta asciutta solo per mezzo di grandi impianti di sollevamento delle acque, in particolare il grandioso Impianto Idrovoro di Codigoro. L'area conserva però alcuni relitti ambientali di notevole importanza naturalistica, come scampoli di zone umide, le dune fossili d'Italba-Massenzatica ed il Bosco della Mesola. Nella porzione sud-orientale del Foglio, si trova l'area marina marginale della Sacca di Goro, pure d'elevato interesse naturalistico, separata dal Mare Adriatico da uno scanno costiero. Le caratteristiche idrodinamiche dell'adiacente Mare Adriatico hanno fortemente influenzato l'evoluzione degli apparati deltizi cartografati. Questo mare è caratterizzato da un'attività ondosamente ridotta e limitata nel tempo, da un'escursione di marea che può superare il metro d'ampiezza e dalla presenza d'acque eutrofiche (FRANCO, 1982; PRICE *et alii*, 1993; GIORDANI *et alii*,

1997). Le onde più frequenti, che controllano il trasporto lungo costa, provengono da SE (CALDERONI, 1982), le più violente sono legate al Vento di Bora, di NE, che domina anche il trasporto eolico. Le correnti lungo costa hanno direzione prevalentemente meridionale, parte di una cella a circolazione antioraria (DAL CIN, 1983; NELSON, 1970).

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO

Nell'area cartografata, affiorano esclusivamente sedimenti terrigeni d'ambiente deltizio (cf. titolo V), accumulati durante la parte recente dell'Olocene. Questa area appartiene alla porzione centro-settentrionale del sistema di lobi deltizi del Po (fig. 2), cresciuti in posizioni e tempi diversi, durante lo stazionamento alto del livello marino eustatico. Durante gli ultimi 5.000 anni, le bocche del delta sono migrate lateralmente da Ravenna a Chioggia, per quasi 90 km, progredendo verso mare anche per oltre 35 km. I sedimenti deltizi del Po sono limitati a nord dai depositi dell'Adige ed a sud da quelli dei fiumi appenninici. Nell'area cartografata, affiorano esclusivamente sedimenti del Po, accumulati a partire da circa 3.500 anni fa. Questa area può essere suddivisa in tre porzioni principali (cap. VI.1.). Ad ovest, affiorano essenzialmente depositi fini di piana interdistributrice, attraversati da un fitto intreccio di depositi di paleoalveo. La porzione centrale del Foglio è formata da ampie estensioni di sabbie costiere, solcate da moltissimi cordoni arcuati, appartenenti a diverse generazioni di lobi deltizi, talvolta separati da campi di dune eoliche. La parte più orientale, ricca di sedimenti costieri fini, è formata dai depositi dell'attuale apparato deltizio del Po, cresciuto durante gli ultimi quattro secoli. L'area marina marginale della Sacca di Goro e le aree golenali degli attuali canali distributori del Po sono ancora soggette ad un'attiva evoluzione geomorfologico-deposizionale.

I primi 40 m di sottosuolo registrano, in modo spettacolare, le fluttuazioni eustatiche e climatiche tardoquaternarie. La parte inferiore della successione indagata è formata da un grande corpo continuo di sabbie di pianura alluvionale fredda, formatosi durante l'ultima glaciazione (Wuermiana). Seguono i sedimenti del ciclo trasgressivo-regressivo olocenico (Versiliano). L'evoluzione trasgressiva è registrata da depositi, mai affioranti, di piana alluvionale e di delta-estuario; quelli regressivi, solo in parte affioranti, sono dominati da grandi corpi di sabbie di fronte deltizio progredante, che passano, verso occidente, a sedimenti di piana deltizia dulcicola e, verso oriente, a fanghi di prodelta. Sotto la successione tardo-quaternaria appena descritta, si è riconosciuta un'alternanza ciclica di sedimenti continentali e marino-costieri, legata alle fluttuazioni glacio-eustatiche quaternarie. Questa architettura ha permesso di suddividere le successioni indagate in unità stratigrafiche a limiti inconformi, d'estensione regionale (cap. IV.2.).

Le spesse successioni quaternarie di questa regione registrano un'evoluzione complessivamente regressiva, da condizioni francamente marine ad ambienti

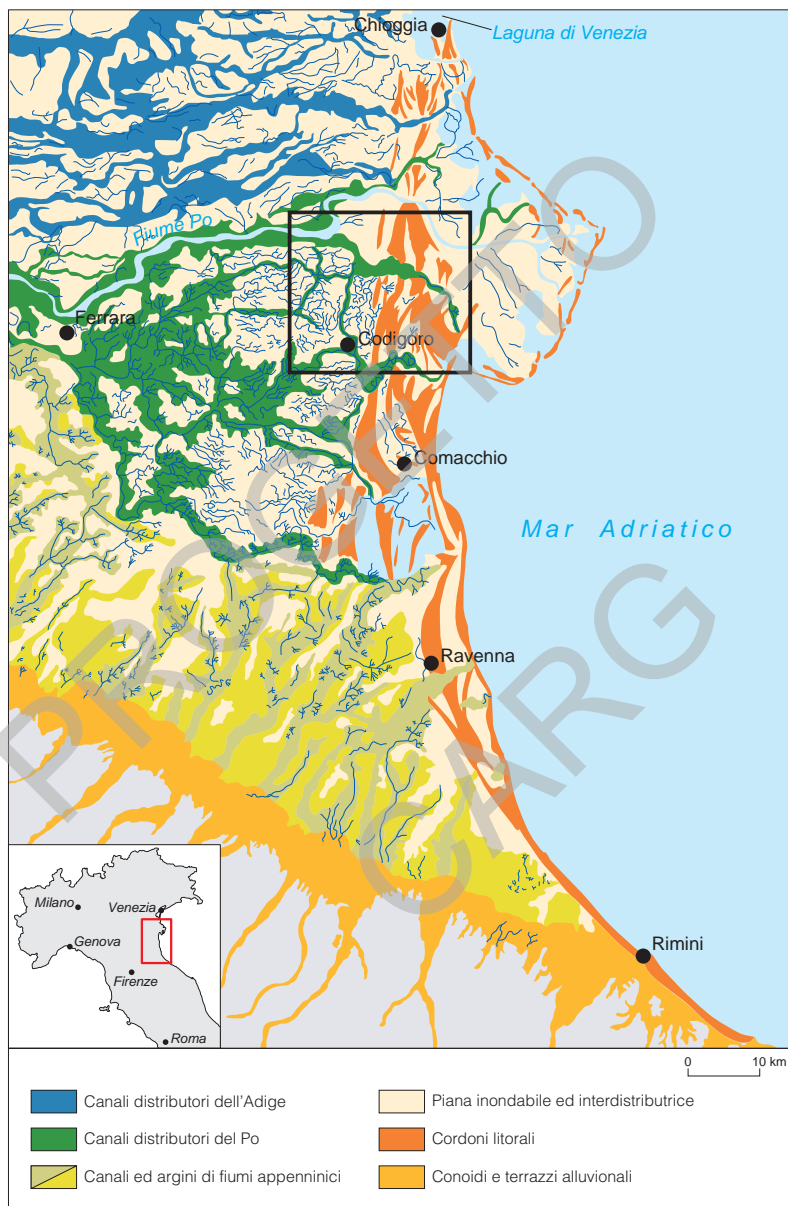


Fig. 2 - Contesto regionale dei sistemi deposizionali analizzati. A valle di Ferrara, si apre un sistema di canali distributori del Po, limitato a nord dai paleocanali dell'Adige ed a sud da sistemi fluviali appenninici. Nella fascia costiera, sono sviluppati sistemi di cordoni sabbiosi arcuati, formati da sabbie di provenienza prevalentemente padana. Il rettangolo indica l'area cartografata.

continentali, evoluzione legata al progressivo colmamento di questa porzione dell'Avanfossa Appenninica (RICCI LUCCHI, 1986), progressivamente interessata da fasi recenti della deformazione compressiva della catena. L'area indagata è posta al contatto fra la zona monoclinale veneta ed il sistema di pieghe e sovrascorrimenti dell'Appennino sepolto, con orientazione NO-SE (fig. 3). Questo assetto strutturale è illustrato da lavori a scala regionale, che ne dimostrano la continuazione al di sotto del contiguo Mare Adriatico (PIERI & GROPPI, 1981; REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998; MONTONE & MARIUCCI, 1999; GALADINI, 2004). Questo assetto strutturale compressivo ha certamente influenzato l'andamento della subsidenza, anche durante le fasi tardoquaternarie, ma non sembra avere direttamente controllato le geometrie deposizionali dei lobi deltizi analizzati. La subsidenza attuale, indotta dalla deformazione tettonica di questa porzione dell'avanfossa, dal riequilibrio isostatico postglaciale a scala europea,

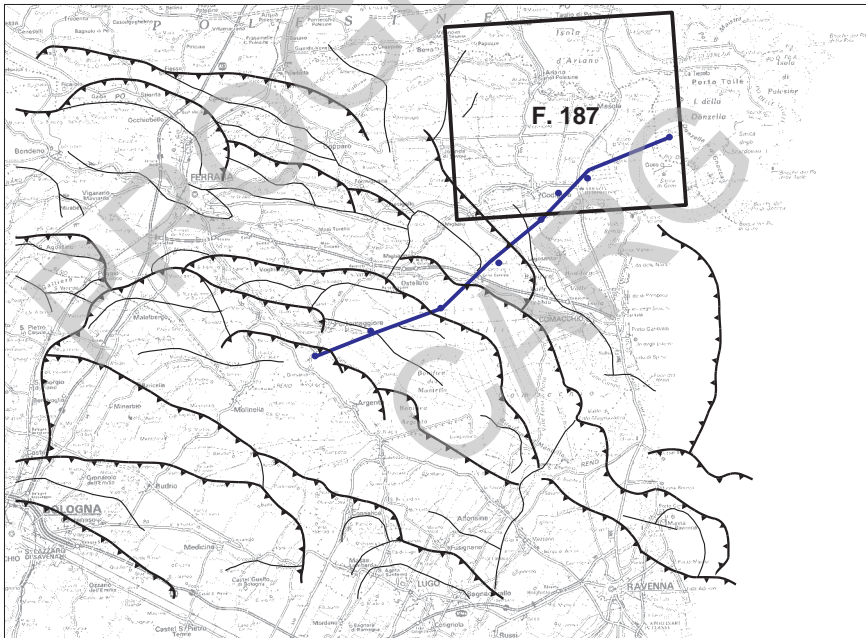


Fig. 3 - Quadro strutturale dell'area cartografata, posta al contatto fra il sistema sepolto di sovrascorrimenti e pieghe appenniniche e la monoclinale veneta, ad immersione meridionale. Le linee nere spesso indicano i principali sovrascorrimenti sepolti e faglie inverse, i triangoli indicano la vergenza delle strutture. La linea blu descrive la traccia del profilo profondo rappresentato nel Foglio Allegato alla Carta Geologica; i relativi punti blu la localizzazione dei sondaggi profondi utilizzati per la sua ricostruzione (vedi fig. 13). Gran parte delle strutture compressive sviluppate in questo settore dell'Avanfossa Appenninica sono state attive durante il Quaternario, influenzando in modo significativo lo sviluppo deposizionale dell'area esaminata (cfi: fig. 4). Varie strutture sono tuttora attive e sismogeniche e inducono perciò un significativo rischio sismico.

dalla compattazione della colonna sedimentaria e dall'alterazione antropica, può raggiungere e superare i 2-3 m al secolo (CAPUTO *et alii*, 1970; SCHREFLER *et alii*, 1977; BONDESAN *et alii*, 1997).

3. - STUDI PRECEDENTI

Assai scarsi sono gli studi sull'evoluzione geologica dell'area indagata, particolarmente per quanto riguarda il sottosuolo. L'unica cartografia geologica in precedenza disponibile era il Foglio 77 Comacchio, della Carta Geologica d'Italia al 1:100.000 (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1963), stampata grazie ai rilevamenti permessi dalla legge 15 del 02/01/60. Il limite settentrionale del Foglio 187 Codigoro 1:50.000, qui rilevato, coincide con quello del Foglio 77, che si estende però più largamente ad ovest, sud ed est, fino a comprendere gran parte del delta attuale ed una porzione settentrionale delle Valli di Comacchio. La carta dà un'indicazione approssimata della distribuzione, in superficie, di quattro litotipi principali, oltre ad indicazioni su alcune strutture tettoniche profonde e sulla profondità delle basi del Quaternario e del Pliocene, ricavate da prospezioni di sismica industriale AGIP. Essa fornisce inoltre informazioni, in parte erranee, su alcune paleolinee di costa, sulle velocità della subsidenza recente e sulla distribuzione d'alcuni pozzi metaniferi e di ricerca d'idrocarburi.

Assai più utile per l'inquadramento regionale dell'area esaminata è stata la carta geomorfologica della Pianura Padano-Veneta alla scala 1:250.000, edita per i tipi della S.EL.CA. (CASTIGLIONI, 2001). La porzione qui considerata è stata realizzata a cura di Marco Bondesan ed è la sintesi di rilevamenti a scala assai maggiore. L'accuratezza ed il dettaglio della carta sono perciò assai superiori a quanto la scala potrebbe fare sembrare, anche se non sempre compiutamente valorizzati dalla sua grafica sostanzialmente bitonale. Ovviamente, la carta è stata disegnata seguendo essenzialmente un criterio geomorfologico, perciò, ad esempio, lo stesso corpo di paleovalve può cambiare simbologia passando lungo il suo decorso da dossivo rilevato a poco rilevato, a non rilevato. La carta non fornisce dati cronologici, se non quelli che il lettore può ricavare interpretando personalmente le relazioni geometriche fra corpi. Per la zona trattata, sono interessanti anche i contributi di BONDESAN *et alii* e di MARCHETTI *et alii*, contenuti nelle ampie note illustrative a corredo della carta (CASTIGLIONI & PELLEGRINI, 2001).

Parecchi altri studi sono stati utili all'inquadramento regionale dell'area cartografata. La stratigrafia quaternaria della fascia costiera emiliano-romagnola e veneta ha ricevuto solo recentemente un'adeguata attenzione, ma già oggi è disponibile una notevole mole di dati. Le ricerche a terra sono state in gran parte condotte dalla Regione Emilia-Romagna, nell'ambito del Progetto CARG coordinato dall'APAT, che si è anche avvalsa della collaborazione di studiosi di varie università, *in primis* quella di Bologna. Le ricerche a mare sono state condotte in buona parte dall'istituto CNR-ISMAR di Bologna, affiancato, negli ultimi anni, da un progetto di ricerca internazionale che ha visto gruppi di ricerca

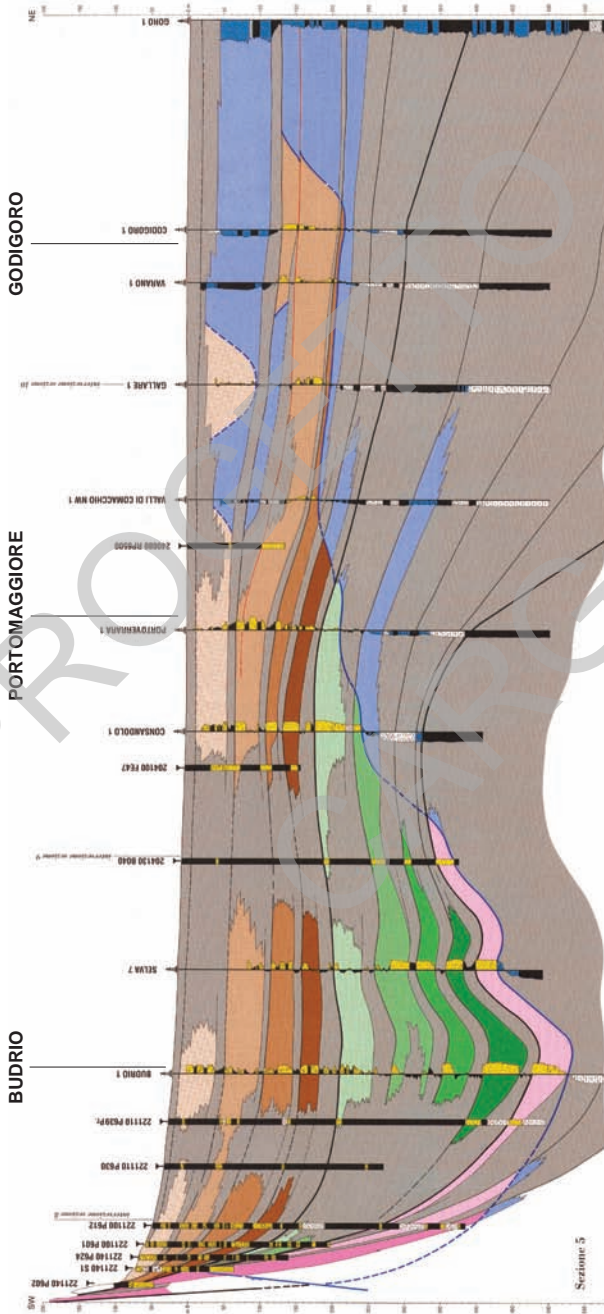


Fig. 4 - Inquadramento stratigrafico dei principali corpi acquiferi presenti nel Quaternario medio-superiore, fra il piede dell'Appennino e l'area del Foglio Codigoro. I diversi colori indicano gruppi acquiferi, saturi in acqua dolce, contenuti in depositi poroso-permeabili di prevalente origine fluvio-deltizia. In blu sono rappresentati acquiferi saturi d'acque salmastre. L'andamento dei corpi sedimentari è chiaramente influenzato dalla tettonica sindeposizionale e dalla subsidenza differenziale. Per un'ulteriore discussione, si rimanda alla pubblicazione originale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

europei e statunitensi collaborare sotto l'egida dell'Unione Europea e del ONR. Importanti contributi cartografici e stratigrafici hanno recentemente interessato l'area di Comacchio (AMOROSI *et alii*, 2003) e di Ravenna (AMOROSI, 2002; CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000 Foglio 223-Ravenna, 2002; Foglio 256-Rimini, 2005). Questi studi hanno consentito di chiarire i rapporti fra canali del Po e fiumi appenninici e la relazione genetica esistente fra depositi marini, costieri, di piana deltizia ed alluvionale, pedemontani ed intravallivi (ORI, 1993; AMOROSI *et alii*, 2001, 2004; AMOROSI & COLALONGO, in stampa). Queste ricerche hanno inoltre fornito contributi importanti per la classificazione dei corpi quaternari come unità stratigrafiche a limiti inconformi (titolo IV). L'inquadramento stratigrafico generale dei corpi acquiferi sviluppati all'interno dei depositi quaternari della Pianura Emiliano-Romagnola (fig. 4) è stato inoltre oggetto di una sintesi regionale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP; 1998). Le successioni quaternarie si sono accumulate nel contesto tettonicamente attivo dell'Avanfossa Appenninica, in corso di deformazione sindeposizionale (AMOROSI *et alii*, 1996). L'evoluzione sedimentaria e l'architettura stratigrafica delle successioni quaternarie della pianura alluvionale e costiera sono risultate, in ogni modo, dominate dalle fluttuazioni eustatiche e paleoclimatiche (AMOROSI *et alii*, 1999b).

Parecchi studi, di carattere essenzialmente geomorfologico, storico ed archeologico erano disponibili sull'evoluzione del reticolo idrografico e della linea di costa in tempi storici e protostorici, a partire dalle ricerche, solo in parte pubblicate, di MARINELLI (1924), che distingueva cinque generazioni di lobi deltizi. La ricostruzione del reticolo fluviale e della migrazione dei lobi deltizi durante gli ultimi 3000 anni è stata discussa, con risultati non sempre concordi, in numerose pubblicazioni italiane (e.g. BONDESAN & MENEGHEL Ed.s, 2004). Meritano una menzione anche alcuni interessanti tentativi di correlare l'evoluzione paleoambientale dell'Emilia-Romagna con fluttuazioni paleoclimatiche d'età storica (VEGGIANI, 1974, 1984, 1986, 1994). Altri studi recenti hanno riguardato l'evoluzione stratigrafica e geomorfologica della Laguna Veneta (BONDESAN & MENEGHEL Ed.s, 2004), ove, in contemporanea al rilevamento di questo Foglio Codigoro, sono in corso importanti lavori in ambito CARG (Fogli Chioggia e Venezia).

PROGETTO
CARG

III - METODI DI INDAGINE

1. - CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE

1.1. - ACQUISIZIONE DEI DATI PREGRESSI

L'analisi di superficie si è basata sull'analisi critica delle fonti cartografiche, su tecniche di telerilevamento, e storiche e su rilevamenti diretti di terreno. Preliminare al rilevamento è stata quindi la scelta dell'opportuna base topografica. L'area indagata si sviluppa a cavallo di due diverse regioni amministrative, le Carte Tecniche Regionali non forniscono perciò una copertura topografica continua ed omogenea. Le due cartografie limitrofe mostrano, infatti, criteri di realizzazione difficilmente compatibili e differenze di posizionamento sull'elissoide che possono raggiungere il centinaio di metri. Si è quindi deciso di utilizzare la precedente cartografia dell'Istituto Geografico Militare al 1:25.000, opportunamente espansa di scala. I rilevamenti sono stati poi sintetizzati sul Foglio 187 1:50.000 IGM, che fornisce la base topografica alla carta geologica. In una prima fase del lavoro, è stata consultata la bibliografia geologica disponibile sull'area indagata, in vero relativamente scarsa (cap. II.3.). Si sono quindi raccolti i dati archeologici, anche grazie alla collaborazione della Sovrintendenza per i Beni Archeologici e del Museo Archeologico Nazionale di Ferrara. Si è inoltre proceduto alla raccolta dei dati storici disponibili, in particolare quelli sulla "Grande Bonificazione Estense" che ha interessato buona parte dell'area cartografata, nella seconda metà del XVI secolo, e quelli derivanti dalla documentazione cartografica prodotta dal Ducato Estense, Repubblica Veneta, Stato della Chiesa ed Impero Asburgico, oltre che le prime edizioni della cartografia ufficiale del Regno d'Italia.

1.2. - TECNICHE DI TELERILEVAMENTO

Una prima analisi geologica e geomorfologica dell'area indagata si è basata su foto da satelliti (fig. 5) e sull'analisi del microrilievo. Si è perciò sviluppato un modello del microrilievo, derivato dai dati altimetrici delle Carte Tecniche Regionali. Per le morfologie eoliche fossili delle dune di Italba-Massenzatica, è stato utilizzato un recente rilevamento topografico di dettaglio, basato sull'integrazione di fotogrammetria, posizionamento GPS differenziale e tecniche di triangolazione e livellazione topografica (PELLEGRINELLI & PERFETTI, 2002).

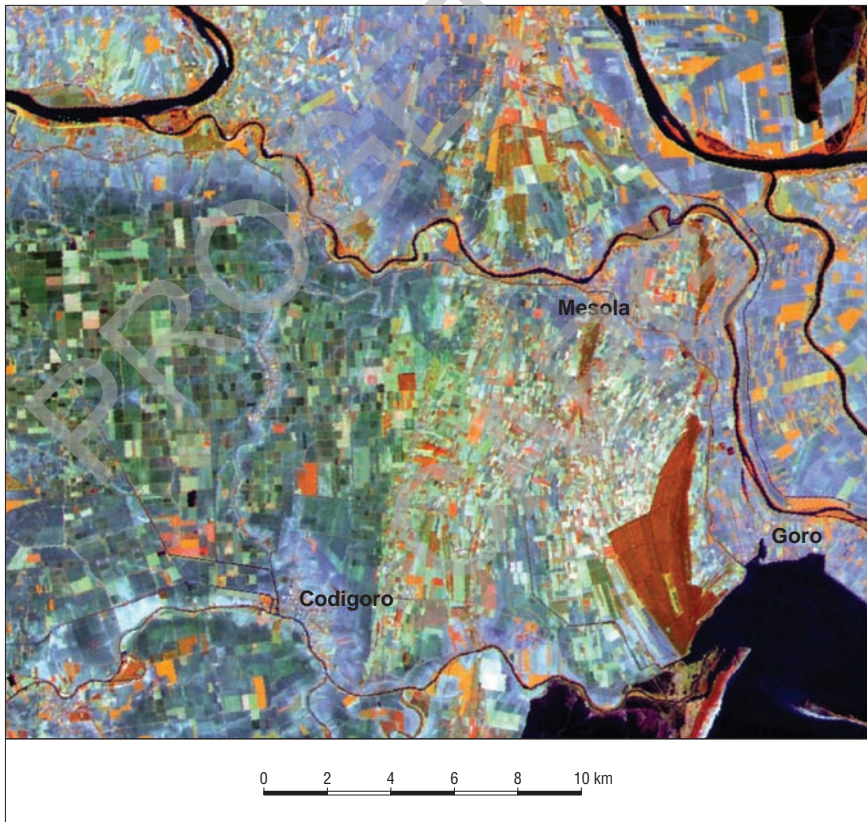


Fig. 5 - Immagine satellitare a falsi colori dell'area cartografata, in cui sono visibili allineamenti di paleolinee di costa e canali distributori, attuali e fossili, del Po. Si osserva una significativa correlazione fra aree a minore riflettanza e porzioni del Subsistema di Ravenna precedenti l'Unità di Modena (cfr. fig. 16). 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 per l'Italia: Eurimage Telespazio.

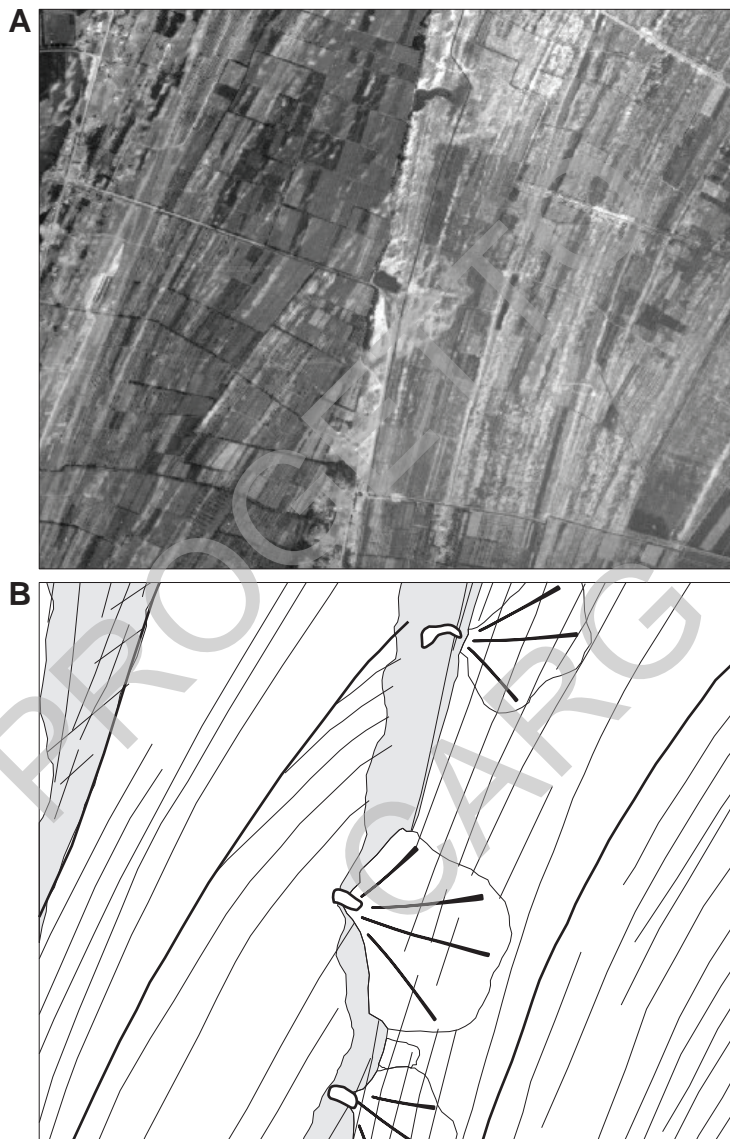


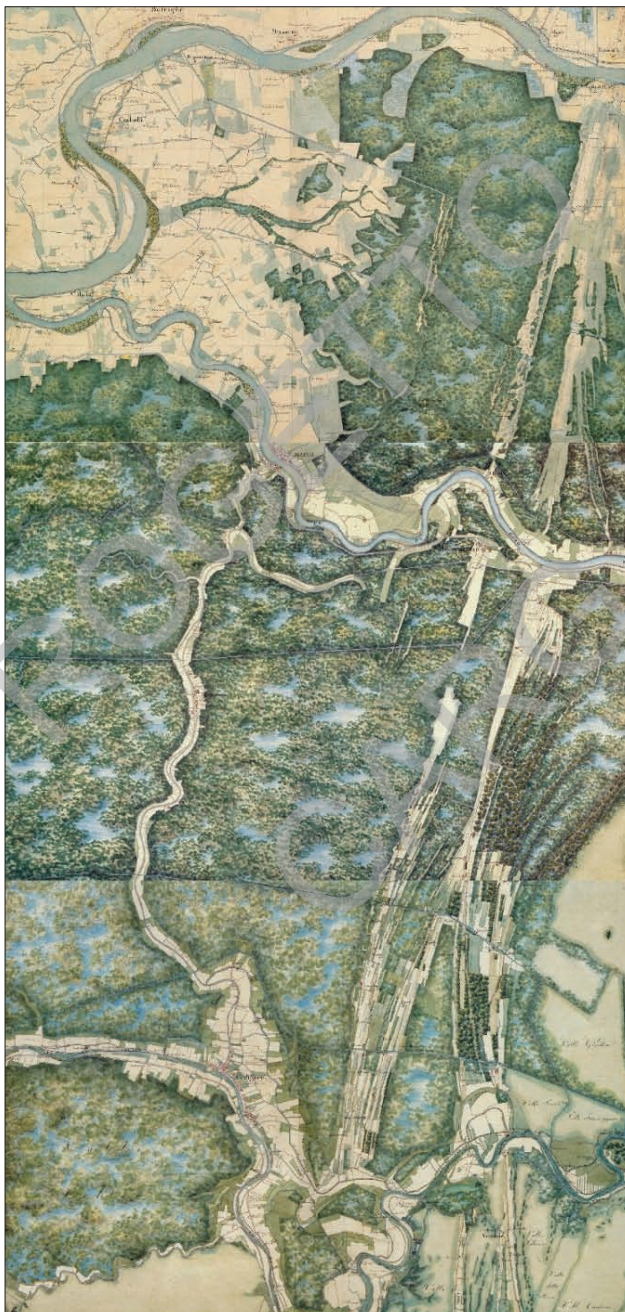
Fig. 6 - Fotografia da ricognizione aerea della R.A.F. (A), scattata nell'inverno 1944-45 che mostra paleolinee di costa, dune eoliche e strutture da sfondamento di cordoni dunari da parte di acque non incanalate (gorghi), acque derivate da esondazioni di canali distributori del Po. Sono visibili tracce di antichi canali di bonifica sepolti, d'età medievale e rinascimentale. Confrontare la foto con il sottostante schizzo interpretativo (B), tratto dalla carta geologica di superficie. L'area rappresentata si trova nella porzione centrale del Foglio Codigoro, subito ad est di Italba, a cavallo dell'attuale prosecuzione orientale della Strada Gran Linea, non ancora realizzata all'epoca della foto.

Si è quindi passati all'analisi di varie coperture di foto aeree in bianco e nero (fig. 6) ed a falsi colori, acquisite nel visibile e nell'infrarosso vicino, in epoche diverse, dai voli bellici di ricognizione della Royal Air Force (1944) al volo del 2000. Le analisi di foto riprese in epoche diverse, attraverso un periodo di notevoli trasformazioni territoriali, è stata assai utile, dato che l'alterazione antropica ha distrutto molte evidenze morfologiche prima disponibili (es. campi di dune eoliche, tracce di cordoni litorali, strutture erosive da rotta, ecc.), evidenziando, nel frattempo, caratteri in precedenza poco visibili o del tutto sepolti sotto coperture arboree, specchi palustri o strati di sedimento, poi rimossi. Parte delle foto aeree disponibili è stata georeferenziata, il che ha permesso la sovrapposizione diretta con altri strati informativi, quali la base topografica o la carta geologica "in fieri". Le informazioni ottenute dal telerilevamento sono state confrontate con le immagini della cartografia storica, che rappresentano le condizioni del territorio che, prima della massiccia alterazione antropica, mostrava molte evidenze geomorfiche oggi perdute. Particolarmente utili sono state le carte austro-ungariche del XIX secolo e la carta napoleonica, realizzata in Ferrara nel 1814, una copia unica all'acquerello d'eccezionale accuratezza, precisione e qualità grafica (fig. 7). L'accuratezza topografica della carta è stata dimostrata dalla facilità con cui si è potuta georeferenziare e sovrapporre alla cartografia attuale. L'evoluzione deposizionale negli ultimi quattro secoli si è potuta seguire anche attraverso una lunga serie di carte antiche, in generale realizzate su incarico della Repubblica Veneta, che registrano la crescita del lobo deltizio moderno nel suo stesso divenire, come già in parte evidenziato da Autori precedenti (NELSON, 1970; FABBRI, 1985, 1994; GABBIANELLI *et alii*, 2000).

1.3. - RILEVAMENTI E CAMPIONAMENTI DI TERRENO

Le informazioni derivate dal telerilevamento e dall'analisi delle fonti storiche sono state confrontate con i dati derivati dall'analisi di terreno. Questa analisi si è basata sullo studio dei sedimenti affioranti o campionati con trivellate a mano. Essa si è giovata anche dall'esame di tagli prodotti dallo scavo e risezionamento di canali, fondazioni e condotte sotterranee, dalle pratiche agricole e dall'attività

Fig. 7 - Estratto dalla carta topografia all'acquerello della Provincia di Ferrara, ultimata, da parte dell'amministrazione napoleonica, fra 1813 e 1814. L'eccezionale precisione topografica ne ha permesso una facile georeferenziazione. Notare gli allineamenti di paleodune e di cordoni costieri e l'emergenza morfologica dei corpi di riempimento di canale distributore, con meandri costieri, fra Codigoro e Pomposa. Degna di nota è anche la struttura di delta interno, sviluppatasi nella porzione occidentale dell'Isola d'Ariano, nel corso del XVIII secolo d.C. Queste strutture emergevano fra vaste aree umide, occupate da paludi dolci, dette "valli da canna", ricche di vegetazione, o da valli salmastre, dette "da pesca". Buona parte di queste evidenze morfologiche è oggi obliterata dall'alterazione antropica. L'analisi di questi documenti storici è perciò risultata assai utile all'elaborazione della carta e alla ricostruzione dell'evoluzione geologica.



erosiva del Po e del mare. I dati di terreno sono stati posizionati con tecniche GPS. Si è inoltre analizzata la banca dei dati pedologici pregressi. I processi pedogenetici sono assai poco avanzati nell'area analizzata, fino ad epoche recenti caratterizzata da diffusi ambienti umidi o subacquei, ma i dati pedologici ed agronomici sono stati utili per la caratterizzazione granulometrica dei sedimenti. In questa fase, si sono anche prelevati campioni per le indagini petrografiche e granulometriche. I dati rivelati alla scala 1:10.000 sono stati quindi sfoltiti per la rappresentazione alla scala 1:50.000. Tutti questi dati sono stati infine sintetizzati in una carta della distribuzione dei corpi sedimentari e delle unità stratigrafiche secondo le norme CARG, georeferenziata ed informatizzata in ambiente GIS.

2. - CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO

Lo studio del sottosuolo si è sviluppato in più fasi, quali la realizzazione di una banca dati geognostici, l'elaborazione di uno schema geologico preliminare, l'esecuzione di nuove indagini e la sintesi tridimensionale.

2.1. - REALIZZAZIONE DELLA BANCA DATI GEOGNOSTICI

Nella fase d'acquisizione dati, si è proceduto alla ricerca e all'esame critico delle precedenti indagini di sottosuolo, realizzate per svariati scopi tecnici. La formazione della banca dati (fig. 8) ha seguito la prassi dei precedenti fogli geologici della Regione Emilia-Romagna. Si è quindi proceduto alla: (1) ricerca ed acquisizione dei documenti cartacei relativi a carotaggi, prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, presso enti pubblici e privati; (2) ubicazione delle prove geognostiche sulla cartografia in scala 1:10.000, loro georeferenziazione, caricamento delle informazioni stratigrafiche e idrogeologiche in un archivio informatico ed il suo collaudo attraverso test automatizzati; (3) organizzazione dei dati in funzione di programmi di geo-informatica, in particolare Arcview, e lo sviluppo di *software* applicativi per facilitarne l'analisi stratigrafica.

In alcuni casi, ci si è potuti giovare anche della discussione diretta con "sondatori" attivi da tempo nell'area, che hanno fornito utili indicazioni. In tutto, sono state acquisite 1259 indagini pregresse, di vario tipo, qualità e profondità. La raccolta ha fornito dati assai interessanti, ma d'affidabilità, accuratezza e dettaglio molto variabili. L'attendibilità dei dati recuperati è in genere difficilmente valutabile a priori e deve essere validata attraverso lo studio stratigrafico comparato di tutti i dati disponibili nell'area, nell'ambito d'ipotesi di ricostruzione stratigrafica tridimensionale. In linea di massima, le prove penetrometriche di data abbastanza recente sono risultate sempre assai utili ed affidabili, in particolare quelle realizzate con tecniche a piezocono. La descrizione dei sondaggi geognostici e delle perforazioni per pozzi è invece risultata di qualità assai difforme, descrizioni accurate coesistendo con altre inattendibili.

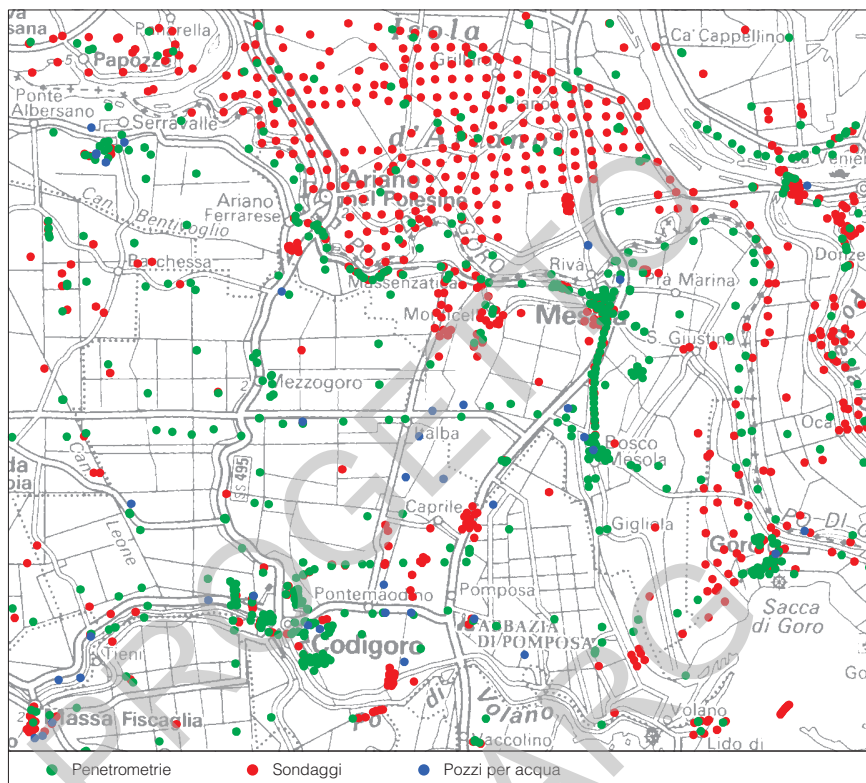


Fig. 8 - Localizzazione delle 1259 prove geognostiche progressive, acquisite in banca dati per la realizzazione del Foglio.

Le indagini ritenute del tutto non attendibili, generalmente stratigrafie di pozzi per acqua, sono state in ogni modo poche unità percentuali. In alcuni casi, ci si è imbattuti nella duplicazione pura e semplice di stratigrafie o in descrizioni chiaramente artificiali. Informazioni molto utili sono state però ricavate anche da descrizioni alquanto sommarie o dialettali, come livelli descritti come “*capete*” che hanno permesso di correlare strati bioclastici da tempesta, o strati di “*cruore*”, che hanno consentito di seguire lateralmente livelli di argille torbose ed argille organiche a bassissima permeabilità, già individuati nelle nostre prove penetrometriche. I dati progressivi sono stati integrati da quattro sondaggi a carotaggio continuo, di cui tre disposti secondo un allineamento est-ovest, a cavallo di Mezzogoro, trivellati a cura del Professor Marco Bondesan dell’Università di Ferrara (BONDESAN *et alii*, 1999) e direttamente seguiti dallo scrivente (fig. 32), e da vari “carotaggi leggeri”, realizzati dai rilevatori con attrezzature della stessa università, nella prima ventina di metri di sottosuolo.

2.2. - ELABORAZIONE DI UNO SCHEMA GEOLOGICO PRELIMINARE

L'elaborazione di uno schema preliminare del sottosuolo si è basata sul disegno di una fitta rete di sezioni geologiche, orientate parallelamente e perpendicolarmente all'attuale linea di costa e costruite con tutti i dati geognostici disponibili, con maglia del reticolo di circa 2 km di lato. Le correlazioni si sono basate su criteri geometrici e genetici, guidati dall'individuazione d'orizzonti guida. L'integrazione di questi dati ha in particolare permesso il disegno di un profilo stratigrafico preliminare, coincidente con la sezione geologica definitiva D-D', pubblicato nel Foglio Allegato.

2.3. - ESECUZIONE DI NUOVE INDAGINI DI SOTTOSUOLO

Questi profili stratigrafici preliminari hanno permesso di focalizzare le principali incertezze sulla geologia del sottosuolo e di progettare la nostra campagna di sondaggi a carotaggio continuo e di penetrometrie a piezocono (fig. 9). Questa campagna si è svolta in due fasi, per permettere un'elaborazione intermedia dei dati, che ha guidato la scelta delle indagini nella fase finale d'acquisizione dati. In genere, si è scelto di non distribuire in modo uniforme le prove, ma di allinearle lungo linee principali, corrispondenti al reticolo di profili geologici, poi in parte sintetizzato nel diagramma stratigrafico a recinto e nelle sezioni geologiche del Foglio Allegato. Tutti i sondaggi stratigrafici sono stati preceduti dalla realizzazione, nello stesso sito, di una prova penetrometrica a piezocono, per permettere la calibrazione incrociata dei dati stratigrafici e geotecnici, in modo che le informazioni dei sondaggi potessero essere estrapolate ove fosse disponibile solo l'indagine penetrometrica.

I sondaggi a carotaggio continuo rappresentano l'unico strumento d'osservazione diretta delle diverse facies sedimentarie preservate nel sottosuolo (fig. 10) e sono quindi di fondamentale importanza per la caratterizzazione stratigrafico-sedimentologica. Essi hanno inoltre permesso il campionamento dei terreni per analisi specifiche, quali datazioni ^{14}C , analisi petrografiche, geochimiche, palinologiche, paleontologiche su foraminiferi, ostracodi, macrofaune a molluschi, prove triassiali su campioni indisturbati, ecc. Per questi motivi sono stati eseguiti 11 sondaggi a carotaggio continuo, con profondità in genere comprese fra 40 e 50 m, tranne che per il sondaggio profondo 187S1, che ha raggiunto la profondità di 189 metri. La figura 9 mostra la localizzazione dei sondaggi e delle prove penetrometriche eseguite per la realizzazione del Foglio. Nell'Appendice 1 sono riportate le stratigrafie dei sondaggi, con la relativa interpretazione stratigrafico-sedimentologica, mentre l'Appendice 2 illustra con maggiore dettaglio le indagini svolte sul sondaggio profondo. Queste indagini sono state integrate da 4 sondaggi stratigrafici, realizzati a cura dell'Università di Ferrara, in collaborazione con il Professor Marco Bondesan, sotto la diretta supervisione dei rilevatori della carta.

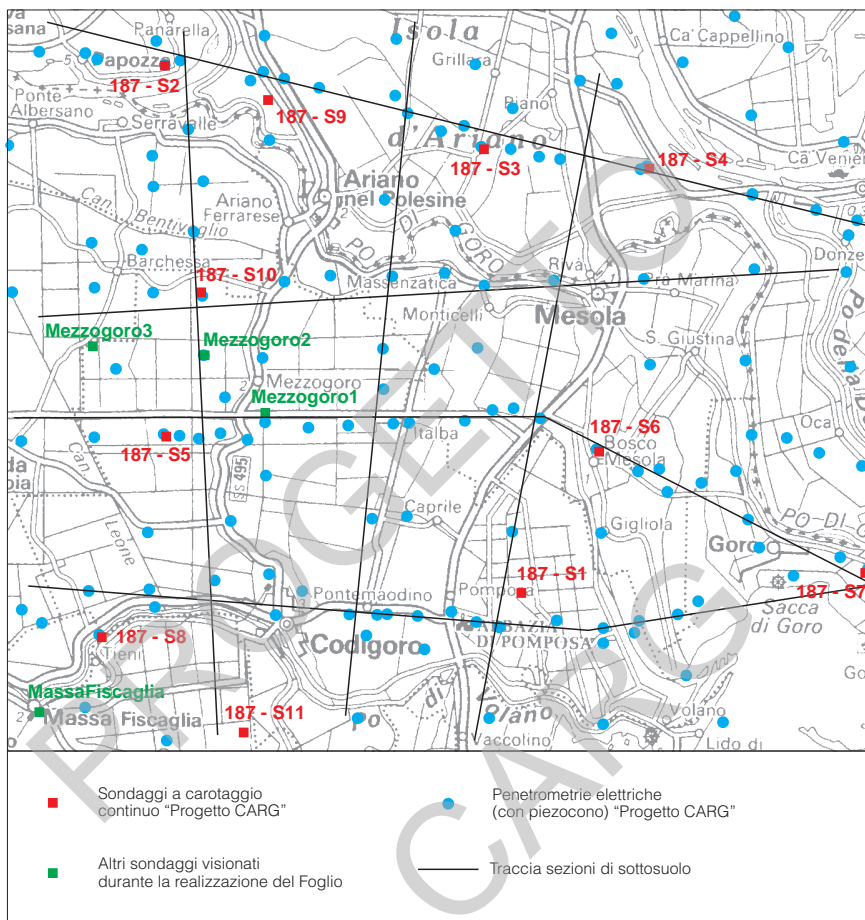


Fig. 9 - Distribuzione degli 11 sondaggi a carotaggio continuo, in rosso, e delle 144 prove penetrometriche a piezocono digitale, in blu, realizzate a cura della Regione Emilia-Romagna, per l'elaborazione di questo Foglio. In verde sono indicati i 4 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo realizzati a cura dell'Università di Ferrara e direttamente visionati dagli autori di queste note. Le tracce rettilinee indicano l'andamento delle sezioni geologiche sintetizzate nel digramma a recinto (fig. 25 e Foglio Allegato).

Sono state anche effettuate oltre 120 prove penetrometriche, tutte realizzate con punta elettrica e piezocono a registrazione digitale continua, con profondità massima di 39 metri. Molte misure penetrometriche sono state accompagnate da prove di dissipazione, in intervalli a bassa permeabilità, utili anche a fini idrogeologici. Le prove penetrometriche si sono dimostrate molto utili per aumentare la densità delle informazioni stratigrafiche, data la loro accurata registrazione ed il

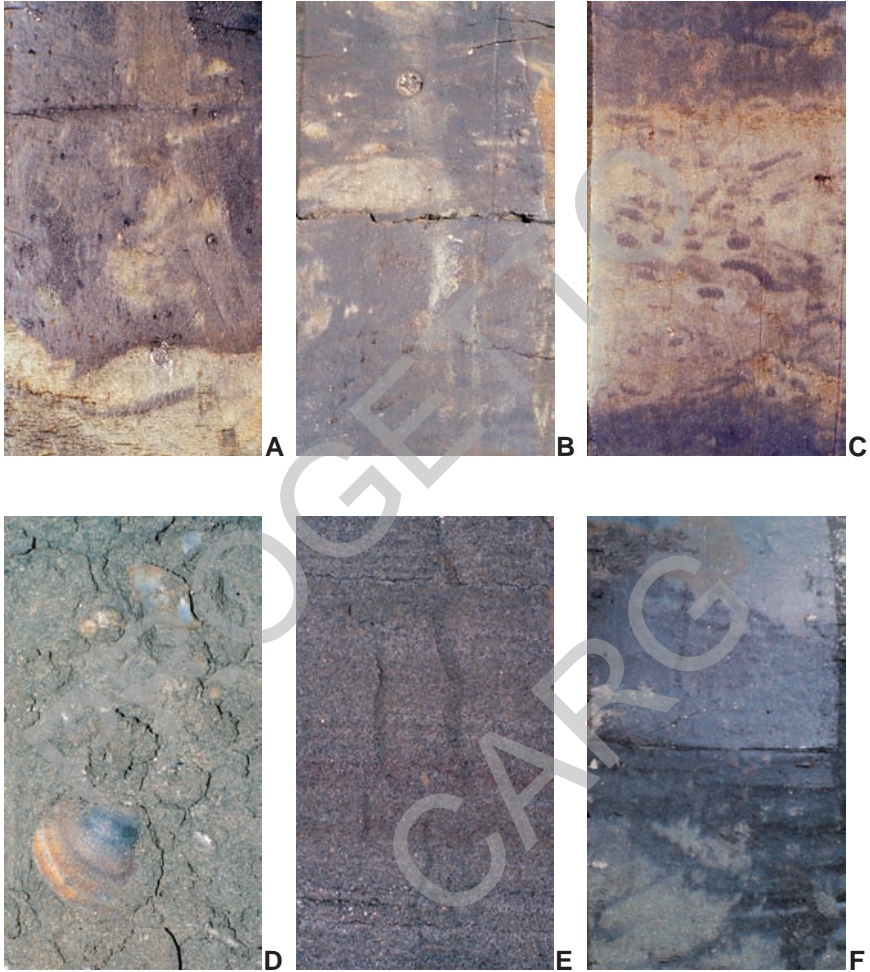


Fig. 10 - Esempi di facies sedimentarie continentali e marine tratte dal sondaggio profondo 187-S1 perforato a carotaggio continuo wire line nell'ex Valle Giralda, ad oriente dell'Abbazia di Pomposa. Per il loro contesto stratigrafico, si confronti la prima colonna di figura 32 e la figura 33. (A) Alternanze bioturbate di sabbie, sabbie limose e limi scuri, con resti di gasteropodi polmonati e tracce di radici, accumulate in un ambiente di pianura alluvionale (profondità 95,50 m). (B) Argille limose, limi e limi sabbiosi più chiari, con rari bioclasti, rimescolati dall'attività d'organismi endobionti, in un ambiente di palude costiera (99,20 m). (C) Limi e sabbie finemente bioclastiche, con spettacolari strutture da bioturbazione (burrows), formati in un ambiente marino di transizione alla piattaforma. Le strutture sono modificate dalla compattazione post-deposizionale (116,40 m). (D) Sabbie bioclastiche, con un esemplare di *Corbula gibba* e frammenti di altri lamellibranchi, accumulate nella parte sommitale di un corpo di delta-estuario trasgressivo (121 m). (E) Sabbie medio-grossolane, povere di matrice, con laminazioni trattive, che rappresentano il riempimento di canali fluviali in un ambiente di media pianura alluvionale fredda (142,3 m). (F) Alternanze intensamente bioturbate d'argille organiche nerastre e livelli sabbioso-limosi più chiari, legati ad eventi di tracimazione, in un ambiente di palude costiera (180 m).

loro costo notevolmente inferiore a quello dei carotaggi continui. Le prove penetrometriche sono state utilizzate per definire le litologie dei terreni attraversati, con l'ausilio del raffronto con i sondaggi a carotaggio continuo ad esse adiacenti, come in precedenza già effettuato nell'ambito della cartografia geologica di aree di pianura della Regione Emilia-Romagna (AMOROSI & MARCHI, 1999 e CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:50.000, Foglio 223-Ravenna, 2002). L'utilizzo a scopi stratigrafici delle prove penetrometriche è d'origine abbastanza recente, ma esse hanno fornito dati insostituibili per la ricostruzione tridimensionale delle geometrie deposizionali. Particolarmente utile è stata la precisa localizzazione automatica in profondità delle misure, che in alcuni casi ha permesso di ricalibrare informazioni derivanti da sondaggi della banca dati geognostici, di profondità mal definita.

Altre informazioni complementari sono state ottenute tramite misure geofisiche. Le indagini geoelettriche sono state utili per individuare l'interfaccia acqua dolce-acqua salata nelle falde freatiche prossime alla superficie, mentre più utili agli scopi stratigrafici sono state le misure di radiazione gamma in pozzo, in alcuni casi realizzati appositamente per questo Progetto CARG.

Dati stratigrafici a maggiore profondità sono stati ricavati essenzialmente da sondaggi per esplorazione d'idrocarburi, in gran parte messi a disposizione dall'AGIP. Si tratta di descrizioni stratigrafiche basate essenzialmente sull'analisi dei "cuttings" e di misure geofisiche in pozzo, essenzialmente geoelettriche. Questi dati, arealmente assai discontinui, sono stati fondamentali per la realizzazione della sezione geologica profonda (fig. 11 e Foglio Allegato).

2.4. - VALUTAZIONE DELL'AFFIDABILITÀ DEI DATI E SINTESI GEOLOGICA TRIDIMENSIONALE

La cartografia di sottosuolo è stata realizzata attraverso l'interpolazione stratigrafica tridimensionale di dati puntuali da sondaggi e penetrometrie. Per le porzioni più superficiali, si sono estrapolate anche evidenze di superficie (fig. 11). L'interpretazione si è basata sulla ricostruzione delle geometrie deposizionali, delle superfici di discontinuità stratigrafica e dei confini tra associazioni di facies. I risultati tridimensionali sono illustrati nella Carta Geologica e nel Foglio Allegato, tramite le carte di sottosuolo, le sezioni geologiche ed il diagramma a recinto. L'utilizzo predittivo delle ricostruzioni di sottosuolo dipende dal grado d'affidabilità e di dettaglio dell'interpretazione geologica, grado che è assai variabile spazialmente, in funzione sia dell'irregolare distribuzione dei dati, sia delle caratteristiche geometriche intrinseche ai vari corpi sedimentari. I corpi di piana di sabbia, fronte deltizia e prodelta sono caratterizzati da una grande continuità di singoli strati e superfici sedimentarie, estese per molti chilometri, con regolari geometrie clinostratificate. In queste condizioni, è possibile estrapolare lateralmente le geometrie deposizionali ed i rapporti stratigrafici dalla superficie, a profondità di anche 20-25 m, con buona precisione, per molti chilometri. In queste condizioni, una delle principali sorgenti d'incertezza deriva

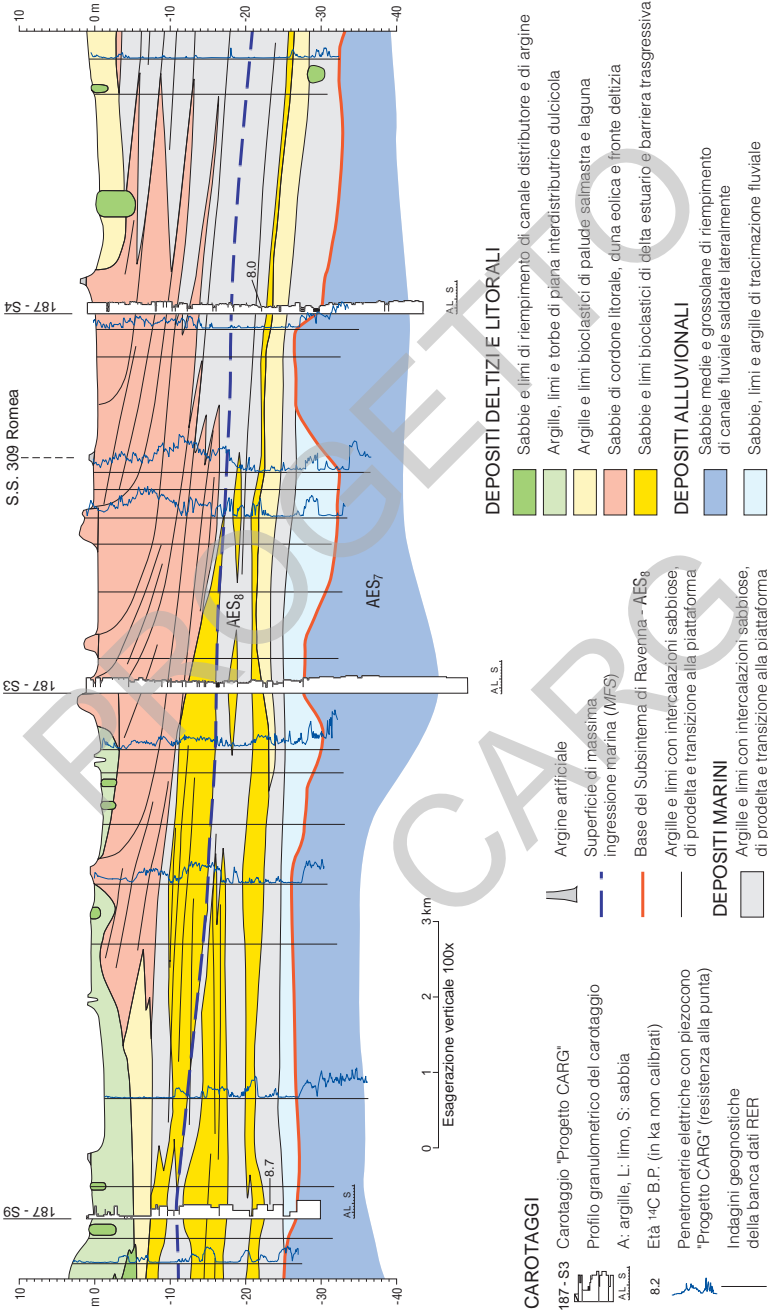


Fig. 11 - Esempio di sezione geologica bidimensionale ricostruita a partire da dati puntuali, quali sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo e penetrometrie a piezometro. La figura rappresenta la porzione centrale del profilo C-C', disegnato con esagerazione verticale di 100x, per rendere meglio visibili le geometrie deposizionali. Il suo contesto tridimensionale è illustrato dal profilo a recinto (fig. 25), con esagerazione verticale dimezzata.

paradossalmente dall'imperfetta conoscenza della topografia di superficie e della quota precisa dei punti d'acquisizione delle misure. L'accuratezza diminuisce invece fortemente all'interno delle successioni di piana interdistributrice, anche relativamente prossimi alla superficie, in cui i corpi granulari, derivati dal riempimento di paleocanale, tendono ad assumere un andamento nastriforme, più o meno ondulato o meandriforme, all'interno di prevalenti sedimenti fini. In queste condizioni, l'interpolazione di dati puntuali non può giungere ad una ricostruzione dettagliata delle geometrie di sottosuolo. La ricostruzione precisa del tetto delle sabbie di pianura alluvionale si è pure scontrata con il problema dell'interpolazione areale di dati puntuali, che descrivono una superficie con andamento nel dettaglio molto irregolare.

PROGETTA
CARG

PROGETTO
CARG

IV - STRATIGRAFIA

I corpi sedimentari sono stati suddivisi, sia in superficie che nel sottosuolo, secondo due criteri paralleli, l'uno basato su unità a limiti inconformi, l'altro su criteri litologico-paleoambientali. Seguendo il primo criterio, i volumi di sedimento sono stati separati in unità cronologicamente omogenee (es. *subsin-tema di Ravenna*), delimitate da superfici di discordanza e lacuna di diverso ordine gerarchico che registrano eventi di tipo eustatico, climatico o tettonico. Con il secondo criterio, i sedimenti sono stati distinti in base ai tipi litologici e alle diverse associazioni di facies deposizionali, riconosciute attraverso l'analisi sedimentologica e paleoecologica. Le associazioni di facies registrano diversi ambienti di sedimentazione, continentali (es. *sabbie di riempimento di canale distributore*) o marini (es. *argille e limi bioclastici di prodelta*). All'interno di una stessa unità a limiti inconformi sono raggruppate svariate associazioni di facies e litologie.

1. - IL CONTESTO CONCETTUALE

Nel corso degli ultimi trenta anni, si è evidenziata l'utilità di suddividere i corpi sedimentari lungo superfici isocrone o di discordanza. Questo sviluppo concettuale fu inizialmente legato allo studio di discordanze regionali in aree tettonicamente stabili (SLOSS, 1963) e poi alla prospezione sismica per la ricerca d'idrocarburi in margini passivi e bacini intracratonici (VAIL *et alii*, 1977a, 1977b). L'evoluzione concettuale è culminata nella definizione delle unità stratigrafico-sequenziali (VAIL *et alii*, 1984; VAIL, 1987; POSAMENTIER *et alii*, 1988; GALLOWAY, 1989), delle unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units* o UBSU, SALVADOR, 1994) e

delle unità allostratigrafiche (POAG & WARD, 1993; NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE, 1983). Queste unità trovano un naturale impiego nella classificazione stratigrafica dei corpi sedimentari e nella cartografia geologica, particolarmente in quella dei depositi quaternari. Le “Linee guida per il rilevamento della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000” (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992) e le successive integrazioni indicano che la descrizione dei depositi quaternari si deve basare sull’utilizzo d’unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità (UBSU). Questi volumi di sedimento sono limitati, a base e tetto, da superfici di discontinuità stratigrafica, quali discordanze angolari o disconformità, specificamente designate ed associate a lacune stratigrafiche, d’estensione regionale o sovra-regionale (SALVADOR, 1994). Le UBSU devono ricevere una designazione formale e raggruppano sedimenti d’ambienti deposizionali e litologie diverse, depositati in un determinato intervallo cronologico. Queste unità possono essere gerarchicamente suddivise in supersintemi, sintemi, subsintemi e possono includere ogni altro tipo di unità stratigrafica. L’unità stratigrafica fondamentale è quindi rappresentata dal sintema.

2. - LE UNITÀ A LIMITI INCONFORMI NELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA DELL’EMILIA-ROMAGNA

Nella Regione Emilia-Romagna, il rilevamento di un notevole numero di fogli della Carta Geologica d’Italia in scala 1:50.000, in aree assai diverse dal punto di vista stratigrafico e paleogeografico, da zone di pianura pedecollinare, alla fascia costiera ed ai vicini settori a mare, ha permesso la correlazione a scala regionale di unità a limiti inconformi (UBSU, SALVADOR, 1994). La suddivisione stratigrafica è stata particolarmente dettagliata nelle porzioni affioranti e nelle prime decine di metri di sottosuolo. Le unità stratigrafiche a limiti inconformi hanno trovato il loro primo naturale utilizzo nella cartografia di depositi di terrazzo, in settori intravallivi e d’alta pianura. Questi depositi sono, infatti, compresi fra evidenti superfici di discontinuità, quali scarpate d’erosione fluviale e paleosuoli (BLUM, 1993). Al piede dell’Appennino, le unità tipo UBSU corrispondono quindi a terrazzi o raggruppamenti di terrazzi (Farabegoli *et alii*, 2004; AMOROSI *et alii*, 1996; BASSETTI & SARTI, 1997), mentre, nelle aree di pianura alluvionale, i loro limiti sono associati a superfici di paleosuolo che materializzano lacune non deposizionali. Queste discontinuità regionali sono state progressivamente correlate nel sottosuolo della pianura alluvionale (AMOROSI & FARINA, 1995; REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998) ed estese alle successioni della fascia litorale e deltizia, a partire dall’area pilota del Foglio 223-Ravenna (AMOROSI, 2002), seguito dal rilevamento di numerosi altri fogli della fascia costiera (CARTA GEOLOGICA D’ITALIA ALLA SCALA 1:50.000 Foglio 240/241-Fogli/Cervia e Foglio 256-Rimini, 2005; CARTA GEOLOGICA D’ITALIA ALLA SCALA 1:50.000 Foglio 205-Comacchio, in stampa). Nella regione litorale, il riconoscimento delle superfici limite si è basato sulla ricostruzione delle discontinuità stratigrafiche e

delle geometrie deposizionali, mediante correlazione di sondaggi stratigrafici e penetrometrie a piezocono. In queste aree, le superfici di discontinuità possono localmente passare a coeve superfici di continuità stratigrafica, particolarmente sviluppate nei settori a mare. Durante la realizzazione del Foglio 187 Codigoro, si è particolarmente curata la correlazione fra i limiti stratigrafici presenti nel sottosuolo e le superfici affioranti nella pianura deltizia. In tutti i fogli di pianura, le correlazioni geometriche sono state tarate attraverso analisi sedimentologiche, micropaleontologiche e palinologiche e datazioni al ^{14}C . Nelle aree marine, l'analisi di rilievi sismici ad alta frequenza ed alta risoluzione, calibrati da carotaggi e datazioni al radiocarbonio, ha permesso d'identificare con precisione unità stratigrafiche a limiti inconformi ed unità stratigrafico-sequenziali (TRINCARDI *et alii*, 1994; CORREGGIARI *et alii*, 1996b), ben correlabili con quelle riconosciute a terra. Le unità a limiti inconformi sono state poi caratterizzate dal punto di vista litologico, sedimentologico e paleoambientale. La descrizione sedimentologica delle associazioni di facies è stata, in questo modo, sviluppata all'interno d'unità a limiti inconformi d'estensione regionale e sovraregionale, inquadrata dal punto di vista cronostatigrafico e correlate con il contesto eustatico globale.

Il Foglio 187 Codigoro utilizza la suddivisione stratigrafica proposta in REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998), impiegata nei precedenti fogli geologici di pianura, sia nella fascia costiera (Fogli 205, 223, 240, 241, 256), sia in numerosi altri fogli (es. Fogli 180, 199, 219, 220, 238, 255). In questi lavori, la parte superiore della "Successione Post-Evaporitica del Margine Padano-Adriatico", deposta fra il Messiniano superiore ed il Recente, è stata attribuita al supersistema Emiliano-Romagnolo, gerarchicamente suddiviso in sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), a loro volta suddivisi in numerosi subsistemi; all'interno di alcuni subsistemi sono state ulteriormente distinte unità di ordine minore. Nei settori intravallivi della pianura, i subsistemi si correlano con i depositi alluvionali di un singolo terrazzo o di un gruppo di terrazzi. Nel sottosuolo della Pianura Emiliano-Romagnola e del Mare Adriatico, i Sistemi Emiliano-Romagnoli Inferiore e Superiore hanno uno spessore di parecchie centinaia di metri e sono separati fra loro da una discordanza, spesso angolare. Nella fascia costiera e deltizia, l'insieme dei due sistemi (AEI e AES) è formato da 8 cicli trasgressivo-regressivi, con spessori dell'ordine del centinaio di metri ciascuno. Questi cicli deposizionali sono il prodotto della ciclicità elementare glacio-eustatica di quarto ordine (MARTINSON *et alii*, 1987), come suggerito dalla loro estensione a scala sovraregionale, dalla loro architettura deposizionale e dalla loro durata dell'ordine dei 100.000 anni (fig. 12). Queste fluttuazioni glacio-eustatiche sono in risonanza paleoclimatica con i cicli d'eccentricità dell'orbita terrestre. Di seguito sono descritte, nel loro ordine gerarchico, le unità sintemiche utilizzate nella cartografia geologica regionale.

La Successione Post-Evaporitica del Margine Padano-Adriatico mostra spessori anche superiori ai 2000 m. La base, ben affiorante nei rilievi appenninici, corrisponde alla superficie d'esposizione subaerea che marca il tetto delle unità evaporitiche messiniane; il tetto coincide con l'attuale superficie topografica.

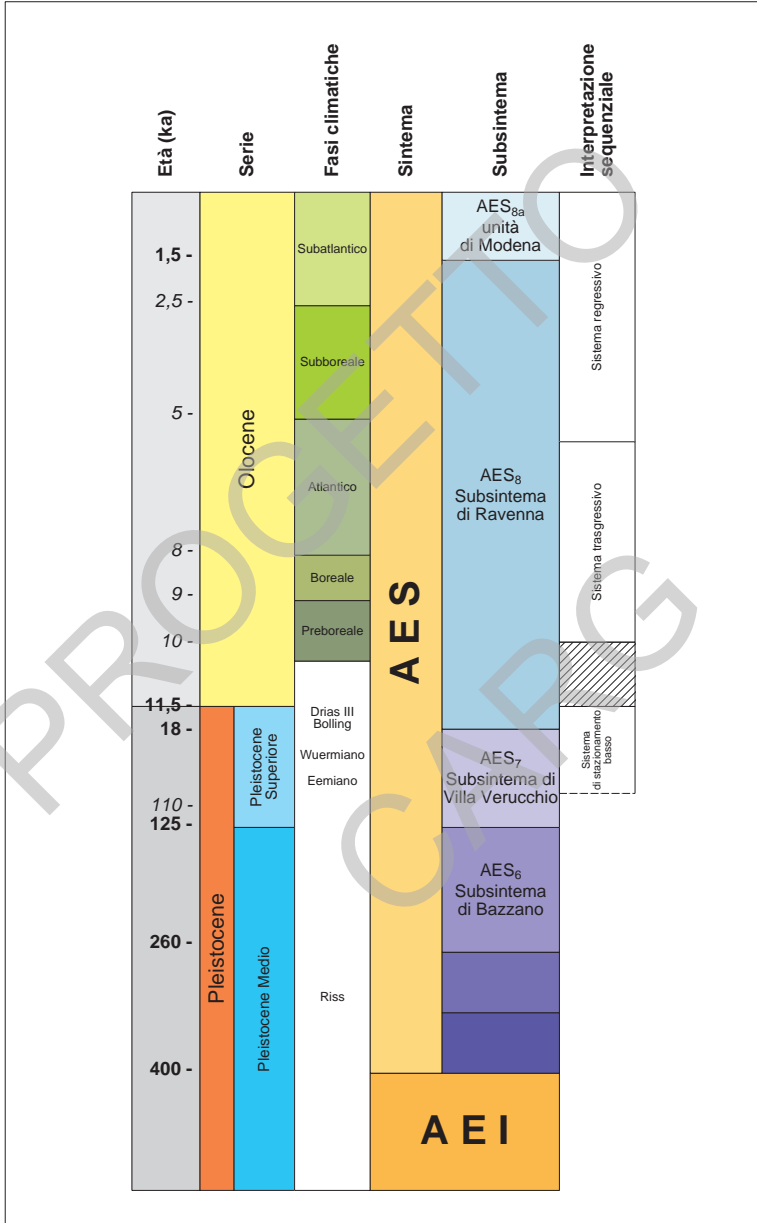


Fig. 12 - Schema delle relazioni fra scala cronologica, unità cronostratigrafiche, fasi paleoclimatiche tardoquaternarie, unità a limiti inconformi utilizzate nella cartografia della Regione Emilia-Romagna e suddivisioni interne della sequenza deposizionale più recente.

Dopo un'iniziale rapido approfondimento, nel Miocene terminale, questa successione registra un'evoluzione globalmente regressiva, che porta in genere da condizioni marine profonde ad ambienti di pianura alluvionale subaerea.

Il supersintema Emiliano-Romagnolo comprende l'insieme dei depositi quaternari affioranti al margine appenninico padano ed i coevi sedimenti presenti nel sottosuolo che corrispondono sostanzialmente al *Ciclo Qc* di RICCI LUCCHI *et alii* (1982). Il supersintema è limitato superiormente dall'attuale superficie topografica e raggruppa sedimenti marino-litorali, deltizi e continentali che si sovrappongono in discordanza su prevalenti sedimenti marini del Miocene, Pliocene o Pleistocene inferiore. La discordanza basale affiora solamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi (es. Fogli 255, 239 e 254), molto a sud dell'area di questo Foglio. Nel sottosuolo dell'alta pianura, il supersintema appoggia su depositi ghiaioso-sabbiosi di mare costiero, spiaggia e delta-conoide, correlati alle Sabbie di Imola (IMO, ciclo Qm3 di REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Allontanandosi dalla fascia pedeappenninica, la base corrisponde alla sovrapposizione di depositi fluviodeltizi su depositi marini mio-pliocenici. Nell'area cartografata, questo limite passa all'interno di sedimenti marini, prevalentemente fini, come documentato da dati AGIP. Nell'area cartografata, il limite non è stato raggiunto da nessun sondaggio CARG, a causa della sua elevata profondità. Nel complesso, il supersintema registra un'evoluzione *shallowing*, legata al progressivo colmamento del Bacino Padano, associato alla migrazione verso nord-est delle aree depocentrali e dei sistemi deposizionali fluviodeltizi, legati al Fiume Po. Questa evoluzione riflette sia il progressivo coinvolgimento di ampie aree dell'avanfossa nella deformazione compressiva appenninica, sia il netto prevalere dei tassi di sedimentazione sulla creazione di spazio sedimentario. L'unità si estende dal Pleistocene medio all'Olocene (circa 700.000 anni B.P. - Attuale).

Come abbiamo visto, una discordanza bipartisce il supersintema in due sintemi. Questa discordanza, anche angolare, è ben visibile nei profili sismici ed è prevalentemente legata ad eventi deformativi e di riorganizzazione strutturale nell'Avanfossa Appenninica, sottoposta a campi di sforzo compressivi. Il sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) può mancare del tutto, in aree prossime al fronte appenninico affiorante e nell'area della Dorsale Ferrarese sepolta, ad ovest della regione cartografata (es. campo geotermico di Casaglia). Nelle zone depocentrali fortemente subsidenti, il sintema può raggiungere spessori di varie centinaia di metri. Nel Foglio Codigoro, questa unità non è presente in affioramento, ma la sua parte superiore è stata ben individuata in profondità (figg. 13, 14), sulla base delle informazioni della banca dati regionale e della correlazione di sondaggi stratigrafici, eseguiti a cura della Regione Emilia-Romagna, in aree limitrofe. Nell'area del Foglio, il sintema è dominato da facies sedimentarie fan-gose di mare abbastanza aperto. L'unità è attribuita, per posizione stratigrafica, al Pleistocene medio; in REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998), l'unità è datata all'intervallo tra 650.000 e 350.000 anni.

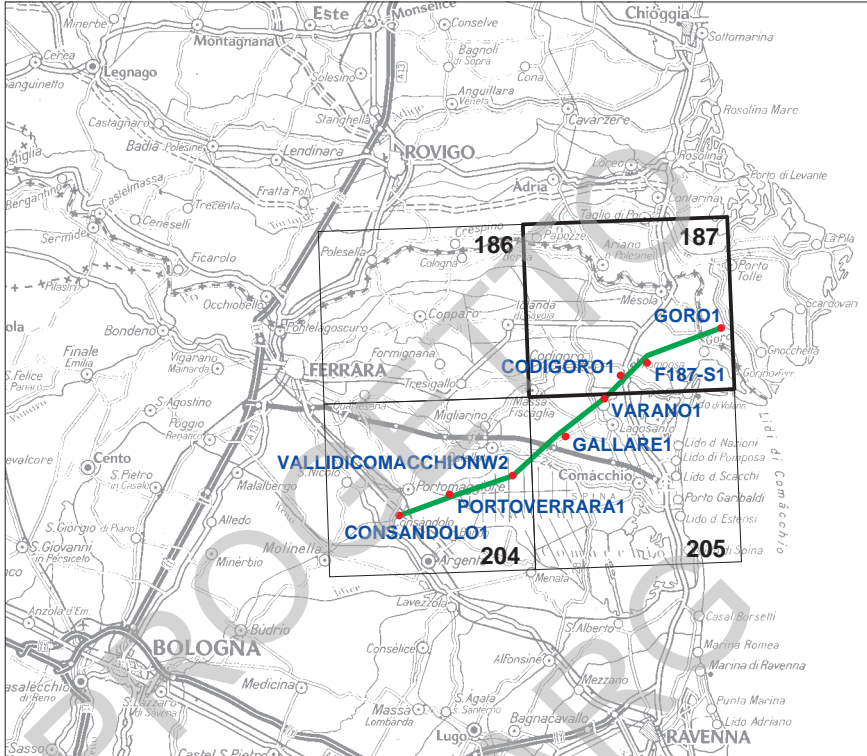


Fig. 13 - Localizzazione geografica del profilo geologico profondo illustrato nella figura seguente.

2.1. - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Il sintema Emiliano-Romagnolo Superiore forma la porzione più recente del supersintema Emiliano-Romagnolo. Il limite superiore del sintema corrisponde alla superficie topografica. Al margine dell'Appennino e in corrispondenza della Dorsale Ferrarese, la sua base corrisponde ad una discordanza erosiva che tronca depositi marini mio-pliocenici. Nel sottosuolo di vasti settori d'alta pianura, il limite inferiore è marcato dalla sovrapposizione di corpi ghiaiosi di conoide alluvionale su una discordanza erosiva, incisa in depositi fluviodeltizi di AEI. Procedendo verso NE, in porzioni più distali della pianura, il limite si fa paraconcordante e meno marcato. In queste aree, il limite fra i due sintemi corrisponde alla brusca sovrapposizione di sabbie alluvionali (AES) su depositi prevalentemente fluviodeltizi e marini (AEI). Nell'area del Foglio 187, il limite è sepolto a parecchie centinaia di metri di profondità, all'interno dall'alternanza di argille di prodelta e sabbie deltizie. Lo spessore di AES varia da poche decine di

metri, nei pressi della fascia pedeappenninica (es. Foglio 240), fino ad oltre 500 m, nel settore qui cartografato. La base del sistema è attribuita, per posizione stratigrafica, al Pleistocene medio (350-450.000 anni secondo REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

Nel sottosuolo dell'area cartografata, AES è costituito dall'alternanza d'argille, limi e sabbie d'ambienti marini, deltizi e continentali, che registrano un'evoluzione globalmente *shallowing*. In affioramento, AES è costituito da sabbie di riempimento di canale distributore, da sedimenti di argine e rotta, da fanghi di piana interdistributrice, da sabbie di duna eolica, di cordone litorale e spiaggia sommersa e da limi ed argille di baia interdistributrice.

Il sistema è organizzato in cinque cicli deposizionali trasgressivo-regressivi, ciascuno avente uno spessore sul centinaio di metri (fig. 14). I tre cicli superiori corrispondono ai Subsistemi di *Bazzano* (AES₆), *Villa Verucchio* (AES₇) e *Ravenna* (AES₈). I due cicli inferiori sembrano presentare un'analoga organizzazione stratigrafica, ma non sono stati formalizzati come unità a limiti inconformi, a causa del loro minore grado di conoscenza. I cicli sedimentari più antichi mostrano caratteri marini più pronunciati e registrano eventi trasgressivi maggiormente sviluppati verso l'entroterra, rispetto a quelli più recenti. I due cicli inferiori registrano inoltre la presenza di corpi sabbiosi fluvio-deltizi d'alimentazione padana assai più spostati verso SO, rispetto a quelli presenti nei successivi subsistemi AES₆, AES₇ ed AES₈. Questa evoluzione s'inquadra bene nel contesto di progressivo riempimento del bacino sedimentario e di spostamento verso nord degli assi depocentrali, legato sia al prevalere degli apporti terrigeni rispetto alla creazione di spazio sedimentario, sia al progressivo coinvolgimento d'aree d'avanfossa nella compressione della catena.

I tre sistemi superiori presentano tra loro forti analogie nell'organizzazione stratigrafica che è verosimilmente condivisa anche dai due cicli inferiori. La base di ciascun ciclo corrisponde, nell'attuale fascia costiera, ad una superficie erosiva incisa in sabbie fluviali o ad un orizzonte di paleosuolo, sviluppato su depositi continentali fini. La presenza di lacune stratigrafiche in corrispondenza di tali superfici in settori costieri limitrofi (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 223-Ravenna, 2002 e Foglio 256-Rimini, 2005) supporta l'uso di queste discontinuità come limiti di UBSU (par. IV.1.1.). In aree più interne della pianura, il limite inferiore di questi cicli corrisponde ad una superficie di disattivazione della sedimentazione fluviale grossolana, a cui si sovrappongono sedimenti fini di pianura, talvolta con influenze salmastre. Nell'attuale regione costiera, la porzione inferiore trasgressiva di ciascun ciclo è spesso pochi metri ed è caratterizzata da argille di piana alluvionale e palude, ricche in sostanza organica, passanti verso l'alto e verso est ad argille lagunari ed a sabbie e fanghi marini. La parte regressiva, volumetricamente assai più consistente, è spesso fin quasi ad un centinaio di metri ed è costituita da depositi marini con evoluzione *shallowing*, da fanghi di prodelta a sabbie di spiaggia; segue una spessa successione di piana alluvionale; la parte superiore del ciclo è formata da sabbie grossolane di media pianura alluvionale, che passano lateralmente a sedimenti

SEZIONE PORTOMAGGIORE-CODIGORO

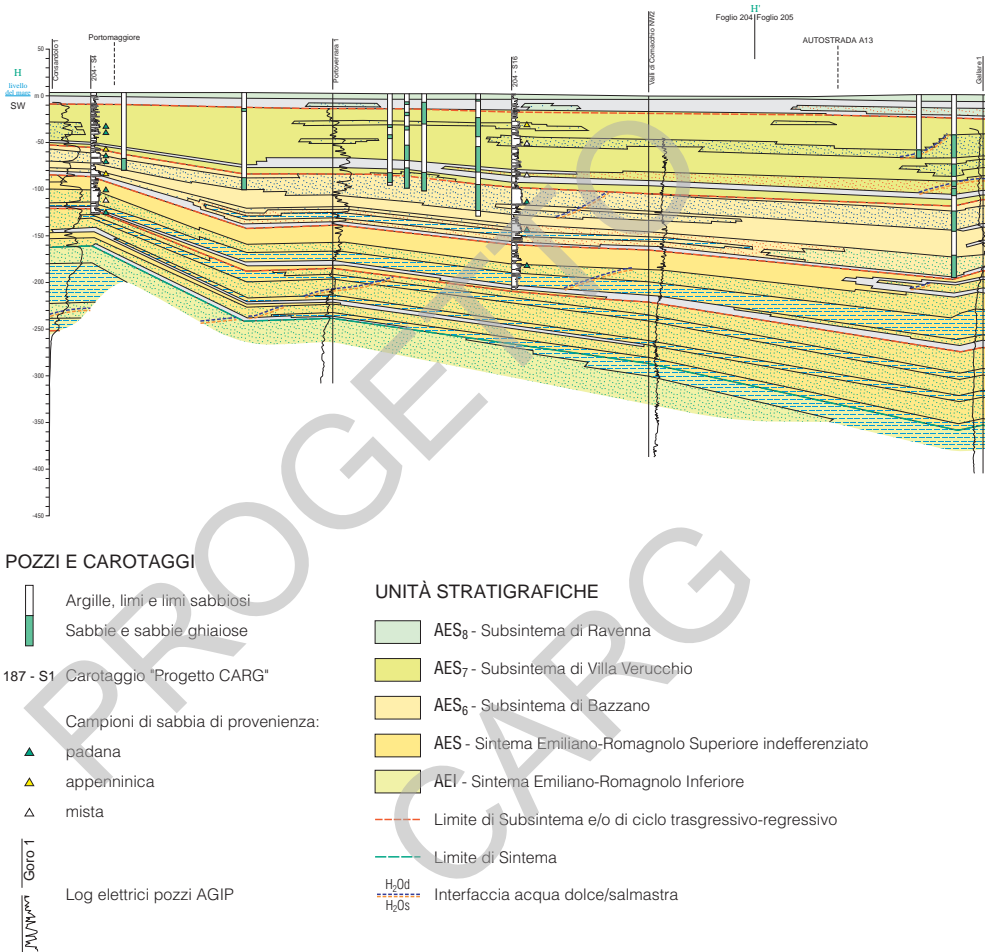
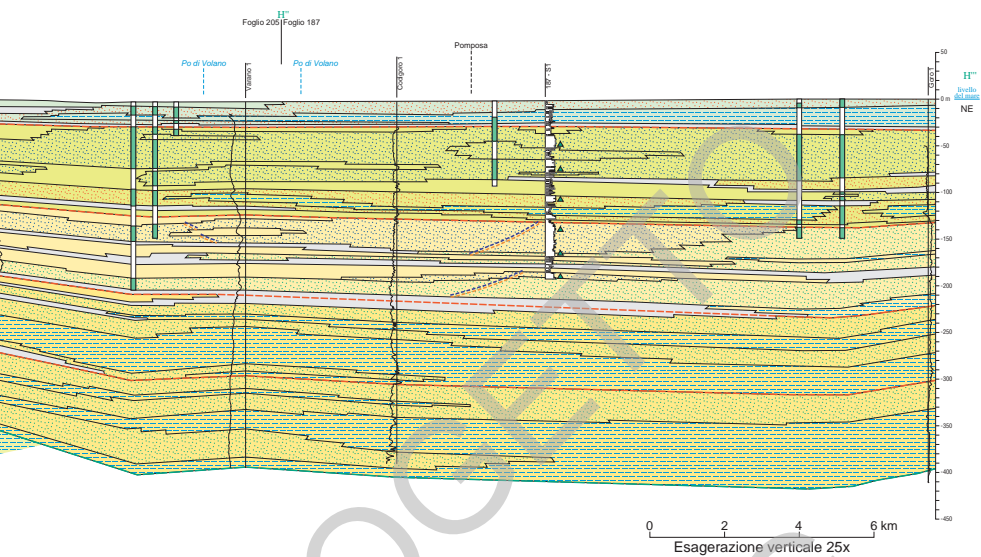
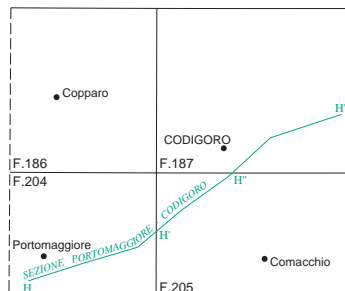


Fig. 14 - Sezione geologica profonda che illustra l'architettura stratigrafica del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, in questa porzione dell'Avanfossa Appenninica. L'evoluzione stratigrafica del sintema registra qui il passaggio da ambienti marini relativamente profondi a condizioni di piana alluvionale. Questa evoluzione si è sviluppata attraverso quattro cicli glacioeustatici di fluttuazione del livello marino, registrati dai successivi subsistemi stratigrafici, separati da superfici di inconformità. I maggiori corpi sabbiosi registrano la forte alimentazione sedimentaria del Po; nella porzione meridionale del profilo, sono registrati subordinati apporti appenninici. Notare l'ispessirsi delle successioni stratigrafiche registrato allontanandosi dalle strutture anticlinaliche del fonte appenninico sepolto. Le colonne verticali descrivono stratigrafie di sondaggi appositamente realizzati a cura della Regione Emilia-Romagna e di altri sondaggi e misure geoelettriche in pozzo, legate a passate prospezioni di idrocarburi. (La sezione è riportata anche nel Foglio Allegato, geologia di sottosuolo, alla scala 1:100.000).



LITOLOGIE DEI PRINCIPALI AMBIENTI DEPOSIZIONALI

- Sabbie fluviali (provenienza appenninica)
- Sabbie fluviali (provenienza padana)
- Sabbie fluvio-deltizie e di piattaforma indefferenziate (provenienza padana)
- Sabbie di barriera trasgressiva e di cordone litorale
- Argille e limi organici di palude-laguna (piana costiera)
- Argille e limi di prodelta e di piattaforma



fini di media pianura fredda, diffusi negli altri fogli della fascia costiera (es. Foglio 223-Ravenna). Spostandosi verso il piede dell'Appennino, nei cicli sedimentari scompaiono le intercalazioni marine e la loro parte superiore è dominata da corpi ghiaioso-sabbiosi di riempimento di canale fluviale, che registrano lobi di conoide alluvionale.

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

L'unità affiora abbastanza ampiamente nei pressi del fronte appenninico (es. Foglio 255 e 256), ma nella fascia costiera emiliano-romagnola è presente solo nel sottosuolo. Il subsintema è limitato a base e tetto da contatti trasgressivi su nette superfici di discordanza, spesso subaeree. Negli affioramenti pedeappenninici, questa unità è formata da depositi fluviali terrazzati, associati a paleosuoli maturi, come, ad esempio, nelle valli dei Fiumi Marecchia e Savio o, più ad ovest, nella località tipo di Bazzano. Nel sottosuolo prossimo alla catena, l'unità inizia con sedimenti fini fluvio-palustri (es. Foglio 240), seguiti da argille, limi e sabbie di piana inondabile argine e rotta e quindi da sabbie e ghiaie fluviali, che formano estesi corpi tabulari, con facies polliniche periglaciali. Spostandosi verso la fascia costiera, i fanghi fluvio-palustri passano lateralmente e verticalmente ad argille organiche lagunari e sabbie di cordone litorale (es. sondaggio 223-S12 del Foglio 223-Ravenna). Nell'area del Foglio Codigoro, l'unità mostra caratteri più francamente marini, con lo sviluppo d'argille di prodelta e di transizione alla piattaforma. L'andamento regionale di questo subsintema è visibile nel profilo profondo del Foglio Allegato. Gran parte della porzione regressiva dell'unità è stata attraversata dal sondaggio 187-S1 (Appendice 1 e 2), ove si osserva una parte inferiore, formata dall'alternanza di sabbie e sedimenti limoso-argillosi, depositati in ambienti di piana e fronte deltizia e di laguna salmastra. Segue un potente pacco di sabbie da fini a medio-grossolane, deposte in ambienti di media pianura continentale fredda, verosimilmente durante la penultima glaciazione. Questo corpo sabbioso supera i 35 m di spessore e corrisponde all'acquifero A2 (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

Lo spessore del subsintema varia da pochi metri, come presso il margine sud-occidentale del Foglio 240, al centinaio di metri, nei settori depocentrali della pianura e nel Foglio 187 Codigoro. Per la posizione stratigrafica, l'unità è riferibile al Pleistocene medio. La correlazione ciclostratigrafica con la scala delle fluttuazioni climatico-eustatiche di MARTINSON *et alii* (1987) suggerisce un'età fra c.a. 230.000 e 130.000 anni.

2.1.2. - *Subsintema di Villa Verucchio (AES₇)* (solo sottosuolo)

L'unità affiora nella fascia pedeappennica romagnola, come nell'area tipo, nei pressi di Rimini (Foglio 256), ma in tutta la fascia costiera è presente solo

nel sottosuolo. I suoi limiti discordanti sono analoghi a quelli di AES₆. In affioramento, esso è rappresentato da lembi di depositi fluviali terrazzati poggianti su una discordanza erosiva, incisa sia in AES₆, sia direttamente su sedimenti marini mio-pliocenici. Nel sottosuolo della fascia pedeappenninica, l'organizzazione interna *coarsening* è analoga a quella del subsistema sottostante. La porzione basale trasgressiva del ciclo è costituita da depositi fluviali, che passano ad argille lagunari e sabbie marine (Foglio 223, 240, 256) e quindi a depositi di pianura alluvionale. In aree prossime all'Appennino (Fogli 239, 240 e 255), la parte sommitale dei cicli è caratterizzata da depositi ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale e conoide alluvionale, spessi fino a 15-20 metri, che si aprono a ventaglio allo sbocco in pianura dei fiumi e si sfrangono poi in corpi nastriformi di canale. Questi depositi grossolani corrispondono al sistema acquifero A1 (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Nel Foglio Codigoro, il subsistema è stato interamente attraversato dal sondaggio 187-S1, per uno spessore complessivo di 95 m. I 10 m inferiori registrano una rapida evoluzione trasgressiva, da condizioni di piana alluvionale con episodi drenati e paleosuoli, ad una barra sabbiosa trasgressiva, fino a fanghi di mare aperto, con ricche associazioni faunistiche e testimonianze di clima temperato-caldo e umido. Segue una spessa successione progradante regressiva, formata da fanghi di prodelta e sabbie deltizie. La parte centrale del subsistema è formata da depositi di piana deltizia ed alluvionale, con episodi palustri di clima temperato-freddo, a cui seguono, con contatto brusco, 20 m di sabbie medio-grossolane di media pianura alluvionale fredda, che si correlano con livelli a resti di mammiferi singlaciali (rinoceronte lanoso, mammut, renna). Le sabbie sono limitate a tetto da una superficie netta ed erosiva, verosimilmente terrazzata.

Nel sottosuolo della pianura Emiliano-Romagnola, lo spessore del subsistema di Villa Verucchio varia da poche decine di metri, presso il margine appenninico, ad oltre 100 m nei settori deocentrali della pianura e nell'area qui cartografata. Il subsistema di Villa Verucchio si può correlare con il ciclo glacio-eustatico compreso fra gli stadi isotopici 5e (Tirreniano Auct.) e 2, della curva isotopica dell'ossigeno di MARTINSON *et alii* (1987). Sulla base di queste considerazioni, il subsistema è attribuito all'intervallo compreso fra c.a. 125.000 anni e c.a. 17.000 anni BP (Pleistocene superiore).

2.1.3. - *Subsistema di Ravenna (AES₈) ed unità di Modena (AES_{8a})*

Questo subsistema forma la parte sommitale del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore. Esso comprende gran parte dei sedimenti che costituiscono la pianura emiliano-romagnola e le sottostanti prime decine di metri di sottosuolo. Il tetto coincide con la superficie topografica attuale. Tutti i depositi affioranti nel Foglio 187 sono attribuiti a questo subsistema.

L'unità è attraversata per tutto il suo spessore da gran parte delle penetrometrie e dei sondaggi stratigrafici realizzati per il progetto cartografico della

Regione Emilia-Romagna, come pure da una significativa porzione delle indagini geognostiche della banca dati regionale. Il subsintema di Ravenna rappresenta perciò l'unità meglio caratterizzata fra tutti i depositi quaternari della pianura.

La posizione stratigrafica, la continuità fisica dei depositi e delle superfici stratigrafiche e le molte datazioni radiometriche hanno consentito un'ottima correlazione fra l'area tipo (Foglio 223) e l'insieme della pianura emiliano-romagnola.

In affioramento, l'unità mostra un chiaro gradiente di distalità, dalle valli appenniniche all'asse fluviale del Po ed al suo apparato deltizio, tuttora in corso di sviluppo. Nei settori intravallivi ed allo sbocco delle valli appenniniche (es. Fogli 255 e 239), il subsintema corrisponde a vari ordini di terrazzo, costituiti da ghiaie di canale fluviale ricoperte da depositi di tracimazione argilloso-sabbiosi, variamente pedogenizzati. Questi depositi passano, nella pianura alluvionale, ad argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose da tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, rotta, ecc.), alternate a sabbie di riempimento di canale. Nell'area costiera, il subsintema forma un'ampia piana di sabbia, solcata da cordoni litorali, intercalati dai corpi dei fiumi appenninici e, a partire dalla latitudine di Ravenna, dei canali distributori del Delta del Po. Nelle aree depresse fra un cordone e l'altro, possono essere presenti sottili depositi argillosi di palude costiera salmastra. Sedimenti fini sono ben sviluppati nelle aree interdistributrici del Delta del Po, depositi sia in ambienti dulcicoli, sia salmastri, anche di formazione relativamente recente (es. Valli di Comacchio). Nelle aree meridionali, il tetto del subsintema, che come abbiamo visto coincide con la superficie topografica, presenta suoli con diverso grado d'alterazione pedogenetica. Suoli maturi sono, al contrario, praticamente assenti nell'area del Delta del Po, sia per la natura permeabile e relativamente stabile delle sabbie litorali, sia per la bonifica e la messa a coltura recente di molte aree, precedentemente sommerse.

Nel sottosuolo, i sedimenti di AES₈ sono articolati in una porzione trasgressiva ed in una regressiva, ancora in corso d'evoluzione. Questa organizzazione corrisponde alla parte iniziale di un ciclo trasgressivo-regressivo, simile a quelli descritti nei subsintemi sottostanti, ma incompleto, perché ancora in corso di sedimentazione.

Nelle aree di alta pianura, AES₈ poggia con contatto netto su ghiaie e sabbie di conoide alluvionale che formano il tetto di AES₇. La porzione inferiore del ciclo è frequentemente formata da sedimenti fini di pianura alluvionale mal drenata, che si chiudono progressivamente verso la fascia pedecollinare (es. parte SE del Foglio 240). La parte regressiva è formata da depositi di piana alluvionale ben drenata, con frequenti paleosuoli decarbonatati (es. Foglio 256).

Nel settore centrale della pianura alluvionale, il limite fra AES₈ ed AES₇ è meno netto e si trova all'interno di facies di piana alluvionale. In queste aree, AES₇ è caratterizzato da depositi grossolani di canale e rotta fluviale e dalla presenza di tracce di pedogenesi, mentre la parte inferiore di AES₈ è dominata da depositi di pianura mal drenata, con episodi palustri e mancanza di alterazio-

ne pedogenetica, che sfumano lateralmente in sedimenti salmastri. La porzione regressiva del ciclo è dominata da depositi di pianura alluvionale ben drenata.

Nella zona costiera, la parte inferiore del sintema è caratterizzata da depositi di pianura alluvionale mal drenata con influenze salmastre, ricca di depositi organici di palude, che sfumano verso l'alto e verso mare in sedimenti di palude salmastra e laguna, con faune da ipoaline a mesoaline. Questi depositi costieri sono troncati dalla superficie eterocrona di rimaneggiamento trasgressivo (*ravinement*), a cui seguono sabbie di cordone litorale e depositi fini di prodelta e transizione alla piattaforma. A nord di Ravenna, fasi tardo trasgressive sono registrate da consistenti corpi di sabbie di delta-estuario, particolarmente sviluppate all'interno del Foglio 187 Codigoro. La successione regressiva è inizialmente rappresentata da sabbie di delta-estuario e da sabbie di cordone litorale, che in aree meridionali possono includere anche corpi ghiaiosi di spiaggia, a diversi livelli stratigrafici (VEGGIANI, 1965). Questi corpi grossolani sono di provenienza meridionale, in parte anche marchigiana. La porzione regressiva è dominata poi da spessi corpi di sabbie litorali e di fronte deltizia, a cui, in aree occidentali, seguono depositi di palude-laguna e di pianura deliziosa ed alluvionale.

Nel settore a mare, il subsintema di Ravenna forma ampie aree di fondale (CORREGGIARI *et alii*, 1996a; CORREGGIARI *et alii*, 1996b; TRINCARDI & ARGNANI, 2001). La sua base corrisponde ad un contatto erosivo su depositi di pianura alluvionale di AES₇. I sottili depositi trasgressivi registrano la rapida transizione da depositi di pianura costiera a sedimenti di laguna salmastra, troncati dalla superficie di rimaneggiamento trasgressivo, associata ad un sottile orizzonte discontinuo di sabbie. I depositi trasgressivi sono parzialmente ricoperti, nella fascia più prossima alla costa, da una spessa unità regressiva costituita prevalentemente da fanghi di prodelta a geometria sigmoidale (Foglio 223, Foglio 256). Questi depositi formano una spessa fascia continua allungata parallelamente alla linea di costa, che riflette la redistribuzione di fanghi fluviali ad opera di correnti marine, che nell'alto Adriatico formano una cella ad andamento antiorario. Allontanandosi dalla costa, al fondo affiorano direttamente i depositi trasgressivi od addirittura i depositi continentali sviluppati al tetto di AES₇, per la mancata deposizione del subsintema di Ravenna.

All'interno del Foglio Codigoro (fig. 15), la base del subsintema, non affiorante, è marcata dalla sovrapposizione in *onlap* di depositi trasgressivi, in facies di pianura costiera, su una superficie di discordanza, incisa in sabbie di media pianura alluvionale, appartenenti alla parte sommitale del subsintema di Villa Verrucchio (AES₇). In pochi sondaggi e penetrometrie, si osserva l'amalgamazione deposizionale fra sabbie fluviali o costiere del subsintema di Ravenna e le sottostanti sabbie continentali di AES₇. L'architettura deposizionale di AES₈ è stata ricostruita con particolare dettaglio e mostra sostanziali analogie evolutive con quella sviluppata nei fogli adiacenti (205-Comacchio e 223-Ravenna). Sedimenti di pianura costiera e laguna salmastra sono troncati dalla superficie di rimaneggiamento trasgressivo, ben sviluppata nella parte centro-orientale del

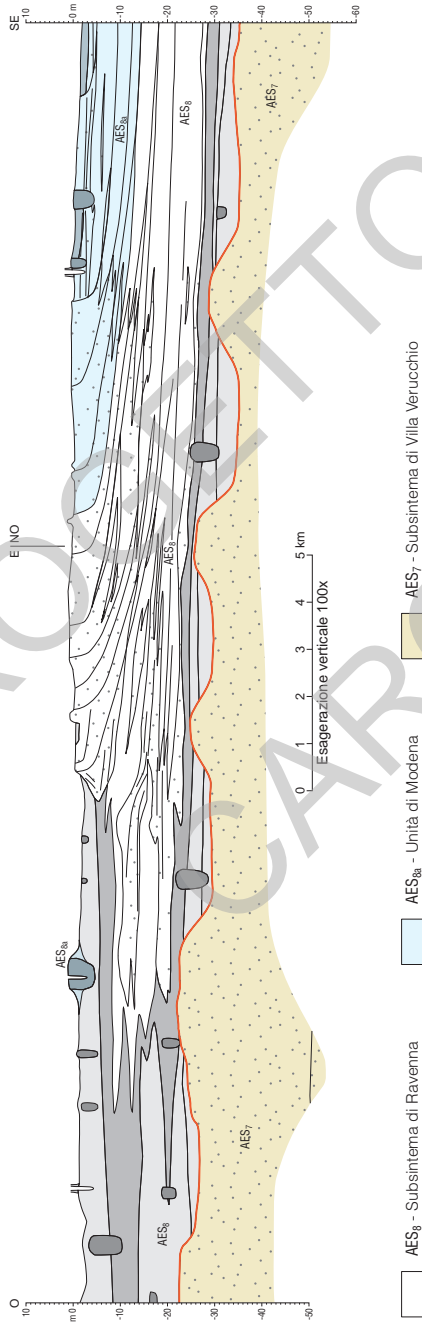


Fig. 15 - Relazioni geometriche, fra le tre unità stratigrafiche considerate da questo rilevamento (AES₇, AES₈, AES_{8a}), illustrate nel profilo geologico D-D', sviluppato nella parte centrale del Foglio, corrispondente alla seconda traccia da sud in figura 9. La parte bassa del profilo rappresenta le sabbie continentali che formano la porzione superiore del Subsistema di Villa Verucchio (AES₇). Un contatto netto e disconforme marca la base del Subsistema di Ravenna (AES₈), a cui appartengono tutti i sedimenti affioranti e delle prime decine di metri di sottosuolo. Questo subsistema può qui raggiungere lo spessore di 40 m. La sua parte più recente, deposita negli ultimi 1500 anni, appartiene all'Unità di Modena, che può raggiungere spessori assai consistenti, all'interno di depositi di fronte deltizia e prodelta.

Foglio; seguono importanti depositi retrogradanti di delta-estuario, ricoperti dalla superficie di massima trasgressione. La successione regressiva è inizialmente dominata da ampi corpi di sabbie bioclastiche di delta-estuario, a cui fanno seguito corpi progradanti di sabbie di fronte deltizia, spiaggia, cordone litorale e duna eolica. Nei settori orientali, sono ampiamente sviluppati fanghi di prodelta; in quelli occidentali, sono comuni i sedimenti fini di piana interdistributrice, intercalati a sabbie di riempimento di canale distributore.

Lo spessore dell'unità, all'interno del Foglio 187, aumenta complessivamente verso oriente, da circa 20 a 37 m. Il subsistema di Ravenna è attribuito all'Olocene, con età comprese da circa 10.000 anni B.P. all'Attuale. Vari campioni di argille organiche e resti vegetali provenienti dalla parte inferiore dell'unità hanno fornito datazioni ^{14}C non calibrate intorno ai 9.400 anni B.P.

All'interno della porzione più recente del subsistema di Ravenna, è stata distinta l'unità di Modena (AES_{8a}). Per la descrizione dei depositi nella località tipo, si veda CREMASCHI & GASPERI, 1989. In questa località, il sito romano della città di *Mutina* fu rapidamente sepolto da parecchi metri di sedimenti altomedievali. Nei settori d'alta pianura, la base di AES_{8a} è data da una superficie di erosione fluviale e da scarpate di terrazzo, entro cui sono confinati i depositi di riempimento di canale, d'età medievale e moderna. Nella pianura alluvionale, la base di AES_{8a} è individuata dal contatto, in discontinuità, di spesse tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo o scarsamente calcareo di AES_8 , che contiene, in posto, reperti archeologici di epoca romana o preromana. Nel settore costiero, essa corrisponde alla superficie d'erosione e retrogradazione costiera che marca la base di cordoni litorali e di sabbie di fronte deltizia d'età medievale. Una vera continuità deposizionale non si trova in nessun apparato di foce del Delta del Po, che all'epoca fu interessato da una importante riorganizzazione del reticolo idrografico. Attraverso tutte le diverse fasce della pianura, la base dell'unità corrisponde quindi alla riorganizzazione idrografica, all'accelerazione dei processi sedimentari ed al cambiamento dei caratteri archeologici associati alla fine dell'Impero Romano.

Nel settore d'alta pianura, lungo il corso dei principali fiumi, l'unità è costituita da sedimenti ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale. Essi sono organizzati in un unico ordine di terrazzo che incide sia AES_8 sia, in parte, i depositi della stessa unità di Modena. Nella pianura alluvionale, prevalgono i depositi di tracimazione fluviale. Nel settore costiero AES_{8a} è costituita, come AES_8 , da depositi sabbiosi di cordone litorale e di fronte deltizia. Nel Foglio Codigoro, essa è dominata da sabbie costiere e di fronte deltizio, che passano lateralmente a fanghi di prodelta. Nella parte centrale del Foglio, questa unità è generalmente assente, mentre nell'area occidentale essa è limitata ai depositi di argine e tracimazione dei canali distributori del Po di età medievale e moderna.

L'unità di Modena inquadra i depositi più recenti del Foglio, compresi quelli in evoluzione. Pertanto essa include, concettualmente, i depositi fluviali (b_1) in evoluzione che però, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, sono stati cartografati separatamente.

All'interno del Foglio Codigoro, lo spessore di questa unità è compreso fra 0 e 25 m circa. Ove questa unità è assente, affiorano direttamente in superficie porzioni precedenti del subsistema di Ravenna (fig. 16).

AES_{8a} è riferita all'epoca post-romana, in base alla datazione dell'unità sottostante, all'assenza di reperti archeologici premedievali non rimaneggiati ed allo scarso sviluppo dell'alterazione pedogenetica, anche in aree drenate. I dati storici ed archeologici e datazioni al ¹⁴C indicano che l'unità si è deposta a partire dal V-VI secolo d.C. (BONDESAN, 1986, CIABATTI, 1990, MONTEVECCHI & NOVARA, 2000, VEGGIANI, 1984, 1987, 1990, 1994). L'unità appartiene quindi alla parte più recente dell'Olocene, da circa 1.500 anni all'Attuale.

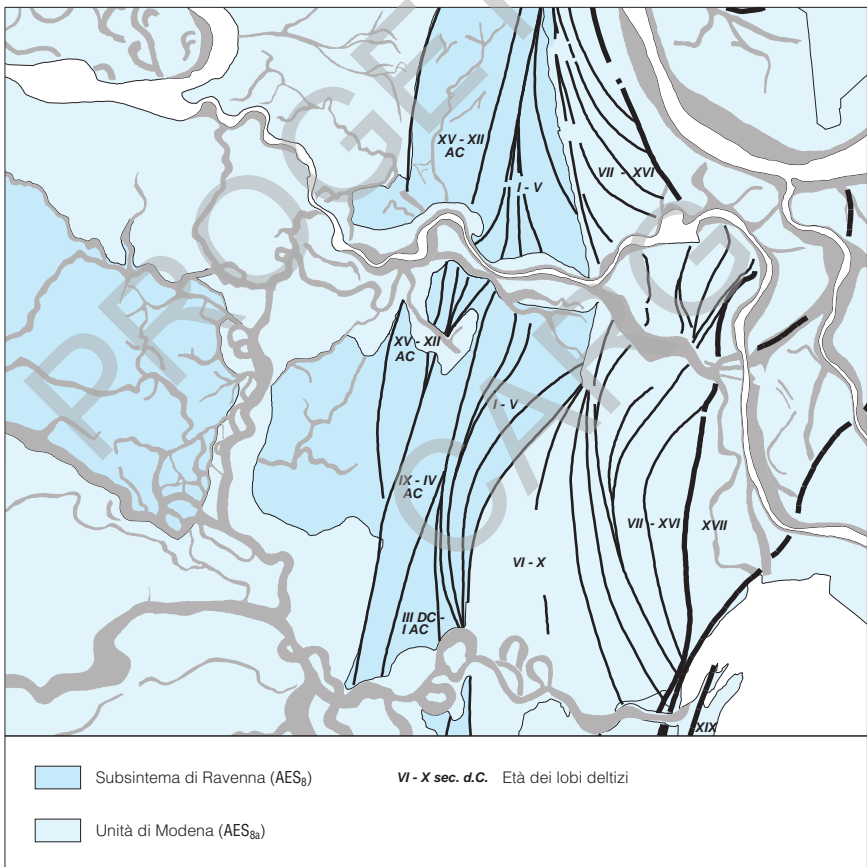


Fig. 16 - Schema planimetrico della distribuzione dell'unità di Modena nella regione cartografata. Vi sono indicate le età dei diversi lobi deltizi, oltre che l'andamento generale dei canali distributori del Po.

3. - RELAZIONI CON LE SUDDIVISIONI STRATIGRAFICHE DI REGIONI LIMITROFE

L'organizzazione delle unità a limiti inconformi registra per definizione influssi esterni ai processi deposizionali locali, come fasi di deformazione strutturale, eventi climatici di particolare importanza e fluttuazioni eustatiche globali. Queste unità presentano quindi, per loro stessa natura, un carattere regionale e sovraregionale e devono essere correlabili almeno alla scala del bacino sedimentario. Appare quindi naturale cercare di riconoscere un'impalcatura stratigrafica uniforme per le successioni quaternarie del Bacino Padano-Veneto. Il problema è particolarmente rilevante per un Foglio geologico come il Codigoro, rilevato a cavallo di due regioni amministrative diverse (Emilia-Romagna e Veneto). I dati a nostra disposizione indicano che la correlazione è effettivamente possibile, almeno per le porzioni più recenti di queste successioni. Allo stato attuale (2005) non esiste però un consenso sull'uso uniforme delle unità stratigrafiche quaternarie a limiti inconformi nelle varie regioni d'Italia. Lo stesso ordine gerarchico delle unità (supersintemi, sintemi, subsintemi, ecc.) appare ancora mal definito. Il problema appare particolarmente acuto nella Pianura Padano-Veneta, ove i confini amministrativi tagliano porzioni dello stesso bacino sedimentario. Nel maggio del 2004, una riunione operativa CARG del Comitato d'Area per la Pianura Padana e di quello per le Alpi Orientali, Centrali ed Occidentali ha affrontato il problema, proponendo uno schema preliminare che viene qui illustrato, per aiutare la correlazione con i fogli in corso di rilevamento a nord dell'area rilevata, in particolare i Fogli Venezia e Chioggia-Malamocco. Il lettore tenga presente in ogni caso lo stato preliminare del dibattito stratigrafico. La discussione dettagliata di queste suddivisioni trascende lo scopo di queste note, ma si osservi comunque lo sfasamento d'ordine gerarchico fra le classificazioni proposte in Regione Veneto ed Emilia-Romagna. In questa visione, il sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) dovrebbe corrispondere al "supersintema di Venezia", anche se la discordanza basale di AES è ben riconoscibile in aree prossime all'Appennino, interessate da una significativa deformazione tettonica, mentre più a nord non appare sempre di facile riconoscimento. Il subsintema di Villa Verucchio (AES₇) corrisponde al "sintema di Mestre", limitato alla base dalla massima trasgressione Aemiana (= Tirreniana) e al tetto da paleosuoli tardo-post-glaciali (Caranto). Il subsintema di Ravenna dell'area emiliano-romagnola corrisponde al "sintema del Po" che comprende al suo interno l'unità di Torcello, con rango di subsintema, corrispondente all'unità di Modena (AES_{8a}). Nella Regione Emilia-Romagna, la parte medio-inferiore del subsintema di Ravenna non è stata ulteriormente suddivisa, in unità di rango minore, mentre nella Regione Veneto, il corrispondente intervallo del sintema del Po è stato attribuito all'unità di Malamocco, con rango di subsintema, ma con spessori ed estensione cronologica ben superiori a quelli dell'unità di Torcello. In questo schema, il supersintema Emiliano-Romagnolo si correlerebbe quindi con un'unità di rango stratigrafico maggiore di quello del supersintema. Seguendo

le raccomandazioni della suddetta riunione operativa, in queste note si utilizza in ogni caso la terminologia già ampiamente utilizzata dai rilevamenti svolti a cura della Regione Emilia-Romagna, anche per ovvie ragioni d'omogeneità stratigrafica regionale.

PROGETTO
CARG

V - FACIES DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE

Questo capitolo descrive i litotipi e le associazioni di facies deposizionale dell'area analizzata, entro il quadro stratigrafico fornito dalle unità a limiti inconformi (titolo IV), seguendo la normativa nazionale sulla cartografia dei depositi quaternari (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992) ed i criteri utilizzati nei precedenti fogli di pianura della Regione Emilia-Romagna. La terminologia impiegata ha cercato d'essere omogenea con quella introdotta nei precedenti fogli della fascia costiera, anche se le peculiarità stratigrafiche della porzione assiale del sistema deltizio padano hanno consigliato l'introduzione d'alcune nuove suddivisioni litologico-paleoambientali. La descrizione delle facies affioranti si basa su descrizioni di terreno ed analisi di laboratorio; nella caratterizzazione delle facies sepolte si è fatto largo uso d'osservazioni su carote prelevate con sondaggi stratigrafici (fig. 17), integrate da penetrometrie a piezocono (titolo III). Le associazioni di facies riconosciute nei sondaggi a carotaggio continuo sono state perciò confrontate con i relativi sondaggi penetrometrici (figg. 18, 19, 20), che hanno permesso l'interpretazione stratigrafico-sedimentologica dei punti ove era disponibile la sola prova penetrometrica. Nella carta geologica di superficie, la distribuzione di litologie ed associazioni di facies è indicata attraverso sovrassegni sulla campitura cromatica delle unità stratigrafiche (titolo VI). La distribuzione spaziale delle facies sedimentarie nel sottosuolo è descritta dal Foglio Allegato.

1. - PIANA ALLUVIONALE

1.1. - SABBIE DI RIEMPIMENTO DI CANALE FLUVIALE DI MEDIA PIANURA ALLUVIONALE FREDDA (SOLO SOTTOSUOLO)

Sabbie da medie a grossolane, talvolta ghiaiose, con composizioni padane, prive di bioclasti, di colore chiaro. I clasti di maggiori dimensioni sono formati da

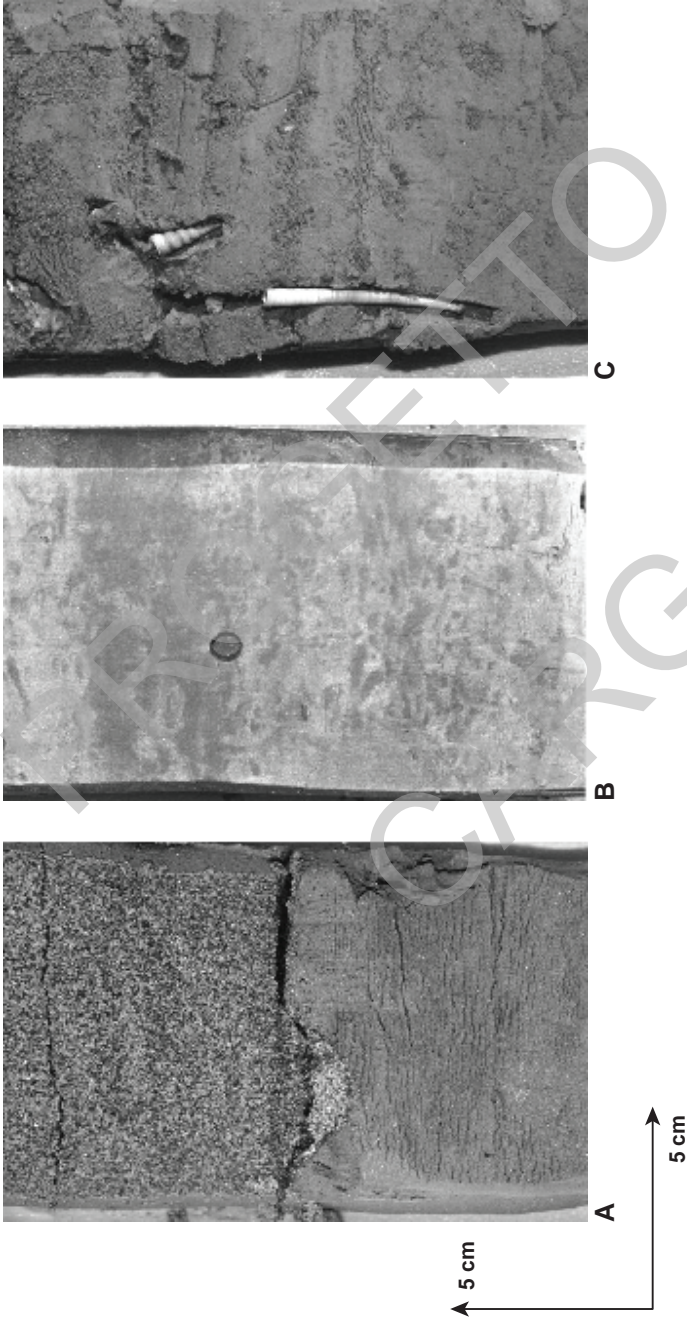


Fig. 17 - Tre carote tratte dal sondaggio 187-S1. La carota di sinistra (A) è formata da limi di piana inondabile, troncati da un contatto erosivo di fondocanale, a cui si sovrappongono sabbie medio-grossolane, con tracce di laminazioni inclinate tratative, di riempimento di paleocanale distributore; l'immagine centrale (B) rappresenta limi argillosi bioturbati di piana interdistributrice e palude dolce; la carota di destra (C) mostra argille limose con straterelli siltosi microgradati di piena-tempesta, parzialmente omogeneizzati dalla bioturbazione, con begli esemplari di gasteropode (*Turritella*) e scifopode (*Dentalium*), depositati in ambienti di prodelta.

frammenti metamorfici, quarzo policristallino, selci sedimentarie e subordinati carbonati mesozoici, arenarie ben cementate e frammenti ofiolitici. Frammenti di legno sono presenti in modo assai saltuario. I clasti con taglia della ghiaia fine sembrano concentrati su livelli residuali da rimaneggiamento (*residual lags*). La matrice limosa è spesso assente, la classazione da media a buona. Le strutture sedimentarie sono difficilmente osservabili nelle carote, tranne che nei campioni semi-indisturbati del sondaggio 187-S1, ove sono state descritte strutture trattive. Non si osservano particolari indizi di pedogenesi. Nelle prove penetrometriche, si osservano valori di resistenza alla punta particolarmente elevati (fig. 18, parte inferiore), con picchi di resistenza che si possono spesso correlare lateralmente, su distanze d'alcuni chilometri. Valori negativi di sovrappressione interstiziale sono comuni, almeno nella parte superiore del corpo, che non è stato attraversato per intero da alcuna prova penetrometrica a piezocono. Questo livello è raggiunto da molti sondaggi per acqua, ma oggi non è sfruttato come risorsa idrica, a causa dell'ingressione di acque salmastre. Intercalazioni fini argilloso-limose sono in genere assai rare. Una sottile intercalazione di torbe continentali ed argille organiche, seguita da limi d'aspetto loessico, è stata però descritta nel sondaggio 187-S2, nei pressi di Panarella, e in quello 187-S3 vicino a Grillara. Questo livello di torbe e argille organiche può essere probabilmente correlato con un orizzonte analogo che bipartisce il corpo di sabbie fluviali di media pianura alluvionale nella regione di Ferrara e a Sette Polesini. Queste sabbie formano corpi lateralmente estesi a stratificazione suborizzontale discontinua, che si saldano fra loro a formare un potente corpo di sabbie grossolane attraverso tutto il Foglio, nella parte superiore del subsistema di Villa Verucchio. Questo corpo si chiude verso sud all'interno del Foglio 205-Comacchio. La base dell'unità sabbiosa, raggiunta da poche indagini, sembra corrispondere ad un contatto netto ed erosivo su traccimazioni fluviali e depositi fini di piana interdistributrice e palude dolce, appartenenti a porzioni più antiche di AES₇. Il tetto coincide con il limite AES₇/AES₈ e corrisponde verosimilmente ad una superficie erosiva sviluppatasi in condizioni continentali. Lo spessore medio complessivo del corpo si aggira sui 20-25 m. Queste sabbie si sono deposte in ambienti fluviali di media pianura alluvionale, probabilmente a canali intrecciati, sviluppati in fasi singlaciali di stazionamento basso del livello marino, corrispondenti all'ultima glaciazione delle Alpi. Queste sabbie non hanno equivalenti nei sistemi deposizionali padani od appenninici d'età storica o protostorica, e sono da attribuire interamente al Pleistocene superiore (42.000-18.000 circa; datazioni ¹⁴C non calibrata ed inquadramento stratigrafico regionale).

1.2. - ALTERNANZE DI SABBIE, LIMI ED ARGILLE DI TRACCIMAZIONE FLUVIALE (SOLO SOTTOSUOLO)

Prevalenti limi, di colore giallo brunastro, con intercalazioni di sabbie medio-fini e subordinate argille. I bioclasti sono assenti, rari frammenti di gasteropodi polmonati, resti carboniosi e di legno sono presenti, ma rari. Nelle carote, sono

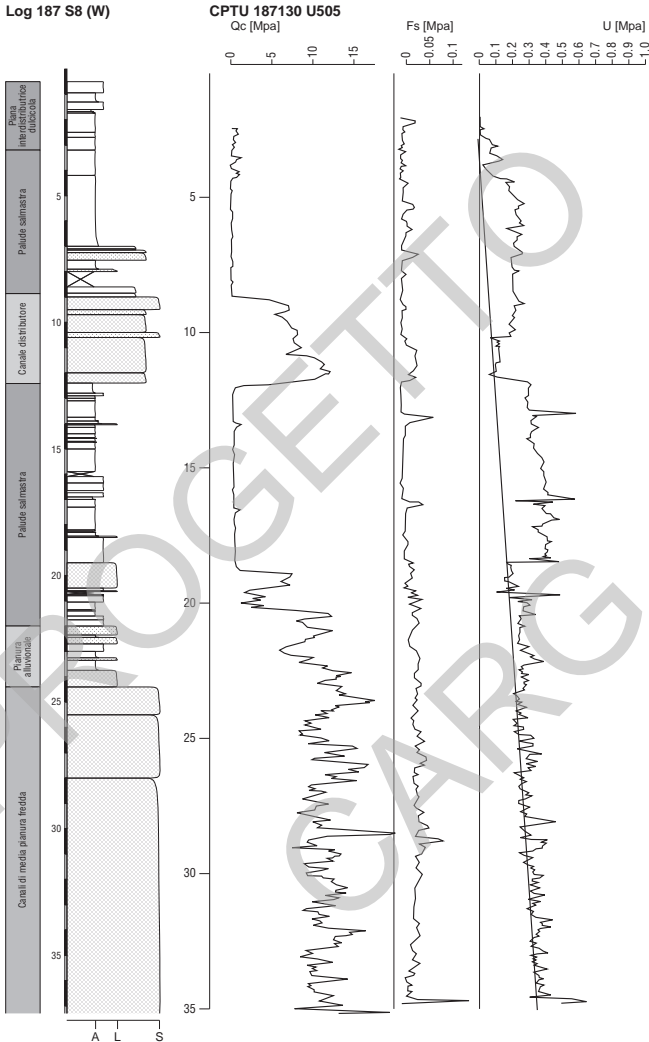


Fig. 18 - Parte del sondaggio stratigrafico 187-S5 (Dosso Bianco) confrontato con i segnali di una penetrometria a piezocono, realizzato alla distanza di una ventina di metri. La parte inferiore è formata da sabbie medio-grossolane povere di matrice, appartenenti alla parte superiore del Subsistema di Villa Verucchio, con valori di resistenza alla punta assai elevati e pressione prossima ai valori idrostatici. La profondità del tetto irregolare di questa unità varia su distanze molto brevi, come ben visibile nel confronto fra sondaggio e penetrometria. Segue una spessa successione prevalentemente fangosa a bassa permeabilità, con facies di piana interdistributrice dulcicola e palude costiera salmastra, caratterizzate da bassi valori di resistenza alla punta e da significative sovrappressioni interstiziali. Ad essa si intercalano sabbie di riempimento di un canale distributore che mostra un caratteristico andamento asimmetrico dei valori di resistenza alla punta e bassi valori di pressione isotropa. Qc: resistenza alla punta corretta; Fs: attrito laterale; U: sovrappressione interstiziale; valori in Megapascal.

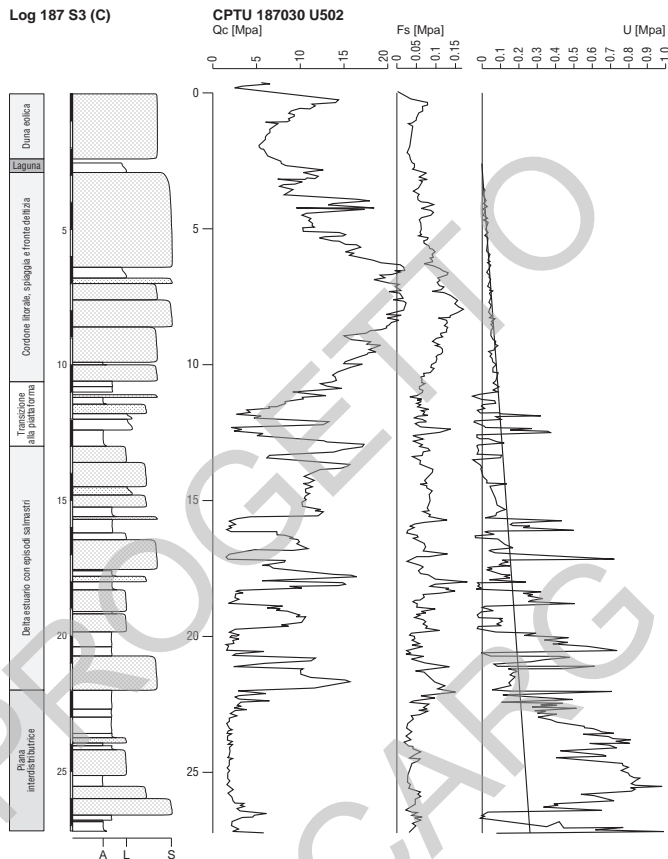


Fig. 19 - Parte del sondaggio 187-S3, perforato fra Grillara e San Basilio, nell'Isola d'Ariano, confrontata con il relativo segnale penetrometrico. La parte inferiore della successione è caratterizzata da sedimenti fini di piana interdistributrice trasgressiva, con bassi valori di resistenza alla punta ed elevate sovrappressioni interstiziali; con contatto brusco, seguono sabbie di delta estuario, con caratteristici picchi asimmetrici di resistenza alla punta, intercalati a sedimenti fini, depositi in ambienti marini costieri e di palude salmastra. La parte superiore della successione è formata da sabbie di fronte delizia progredante, appartenenti a diverse generazioni di lobi del Po e caratterizzate da una buona permeabilità e da elevati valori di resistenza alla punta. Cc: resistenza alla punta corretta; Fs: attrito laterale; U: sovrappressione interstiziale; valori in Megapascal.

visibili gradazioni dirette e lamine pianoparallele, oltre che tracce di bioturbazione e d'apparati radicali. Intercalazioni d'argille torbose sono state riconosciute solo in un sito. Si riconoscono indizi di processi pedogenetici non molto avanzati e concrezioni carbonatiche millimetriche e centimetriche, di forma irregolare, sia in posto, sia rimaneggiate. Questi sedimenti limoso-sabbiosi formano corpi discontinui, a base netta e tetto relativamente sfumato, che sembrano riempire

Log 187 S7 (E)

CPTU 187160 U505

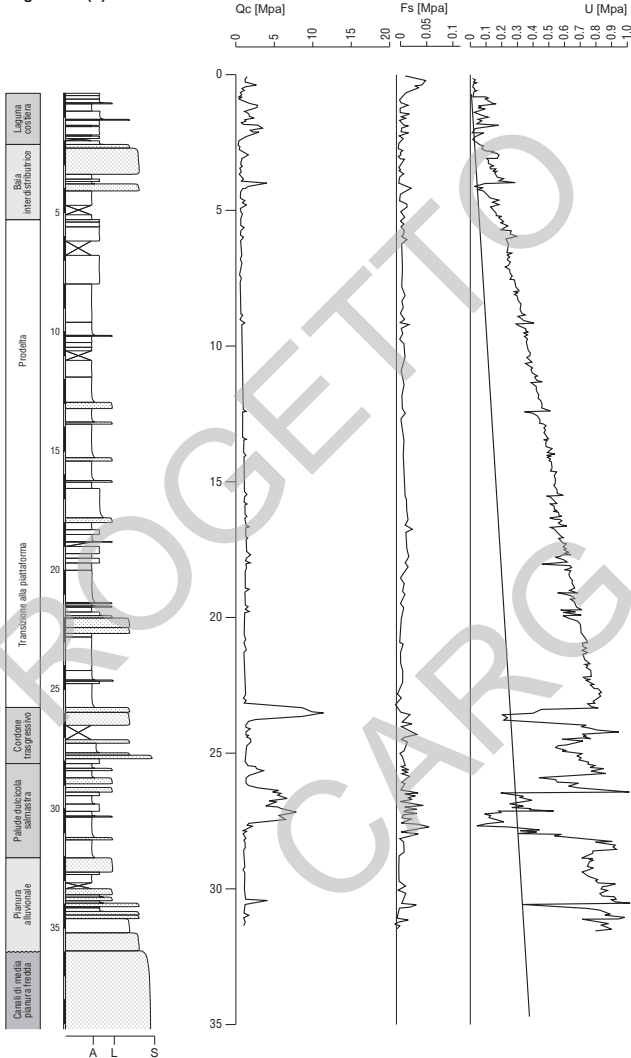


Fig. 20 - Il sondaggio 187-S7, perforato nei pressi del bordo orientale del Foglio, ad est di Goro, affiancato dai segnali di punta della relativa penetrometria. La parte inferiore attraversa la porzione sommitale delle sabbie continentali del Subsistema di Villa Verucchio. La parte bassa del Subsistema di Ravenna presenta sottili depositi di pianura alluvionale, a cui seguono depositi di palude salmastra ed un sottile livello di sabbie trasgressive bioclastiche relitte, con elevati valori di resistenza alla punta e bassa pressione neutra. Segue una potente successione di fanghi di piattaforma e prodella, con bassissimi valori di resistenza alla punta e di attrito laterale. Nella parte regressiva sommitale, si passa a depositi salmastri di baia interdistributrice, senza attraversare sabbie di fronte deltizio o spiaggia. Qc: resistenza alla punta corretta; Fs: attrito laterale; U: sovrappressione interstiziale; valori in Megapascal.

depressioni incise al tetto delle sabbie di media pianura alluvionale (par. V.1.1.). I corpi hanno spessori di alcuni metri (fino a circa 10 m) e larghezza dell'ordine delle centinaia di metri o più. Essi corrispondono a depositi di tracimazione fluviale, localmente di riempimento di canale fluviale, in ambienti di pianura alluvionale sempre più prossimi alla fascia costiera. Essi sono attribuiti alla parte basale del subsistema di Ravenna (AES₈).

2. - PIANA DELTIZIA

2.1. - SABBIE DI RIEMPIMENTO DI CANALE DISTRIBUTORE

Sabbie da medie a fini, prive di bioclasti. Sono talvolta presenti frustoli carboniosi o frammenti fluitati di tronchi arborei, frammenti ossei di vertebrati continentali e, in un caso, di un cetaceo odontoceto. Questi depositi mostrano sempre una composizione petrografica legata agli apporti del Fiume Po, sia in affioramento che nel sottosuolo. Strati amalgamati e mal definiti, a gradazione diretta, spesso organizzati in sequenze positive (*fining upward*), con granulometrie che passano da sabbia media a finissima e limo, che possono mostrare laminazioni trattive con avansetti concavo-tangenziali (fig. 21). Questi corpi possono chiudersi bruscamente verso l'alto o sfumare in limi ed argille organiche da abbandono fluviale, talvolta assai sviluppate (es. paleoalveo del Volano). Nelle penetrometrie, questi corpi sono caratterizzati da alti valori di resistenza alla punta, da un basso rapporto fra attrito laterale e resistenza alla punta, da valori negativi di sovrappressione interstiziale (fig. 18). La base di questi corpi è caratterizzata da un brusco aumento della resistenza alla punta, seguita dalla progressiva diminuzione verso l'alto (AMOROSI & MARCHI, 1999); anche la pressione neutra mostra spesso una brusca diminuzione, alla base di questi corpi permeabili; questa organizzazione riflette l'andamento *fining up* della curva granulometrica. Le sabbie formano corpi nastriformi, a sezione lenticolare biconvessa, base più o meno nettamente erosiva, spessori da 3-4 ad oltre 10 m e larghezze anche di parecchie centinaia di metri. In pianta, i paleoalvei mostrano uno sviluppo ondulato, con complesse relazioni d'intersezione fra canali distributori del Po d'età diversa (fig. 22). Ove i corpi intersecano la piana di sabbia costiera (par. V.3.2.), si sviluppano veri e propri meandri, con una successione *fining upward* da barra d'accrezione laterale (*point bar*), frequentemente seguita da un corpo argilloso arcuato da abbandono. Lo sviluppo di queste strutture meandriiformi era legato al rimaneggiamento di precedenti sabbie costiere, in ambienti prossimi alla foce. Altre strutture complesse d'aspetto pseudo-meandriiforme derivano dalla sovrapposizione eterocrona di diverse generazioni di canali serpeggianti, come visibile a sud-est di Codigoro. Dal punto di vista stratigrafico, i corpi di riempimento di canale appartengono sia all'unità di Modena (AES_{8a}), sia a porzioni precedenti del subsistema di Ravenna. La deposizione di corpi simili continua

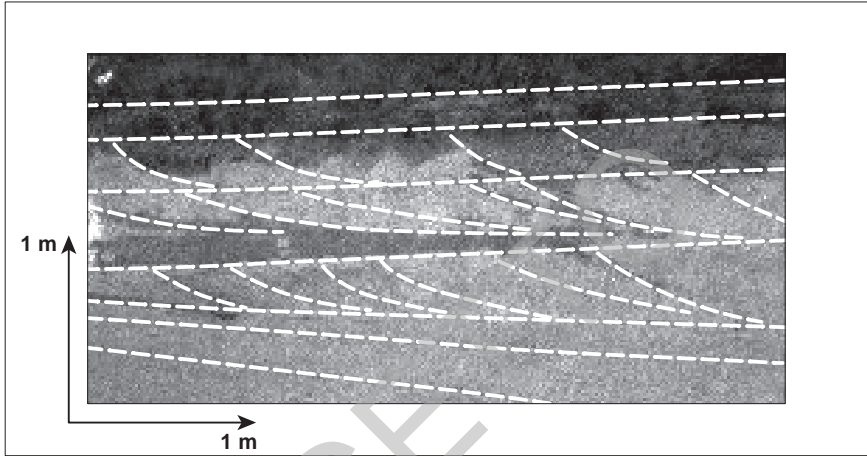


Fig. 21 - Sabbie di riempimento di canale interdistributore, appartenenti all'unità di Modena, affioranti in una parete d'erosione nell'alveo di magra, all'apice del Po di Goro, sponda sinistra, nei pressi di Santa Maria in Punta, durante la magra eccezionale dell'agosto 2003. Si tratta di sabbie medio-fini, con evidenti laminasets ad avansetti trattivi concavo-tangenziali, che indicano paleocorrenti a direzione media sud-orientale.

attualmente negli alvei in attiva evoluzione (b_1), oggi molto alterati dall'azione antropica. Dal punto di vista geomorfologico, questi corpi formano elevazioni topografiche allungate, che rimangono in evidenza morfologica per centinaia o anche migliaia d'anni dopo l'abbandono fluviale, ma sono poi ricoperti in *onlap* da sedimenti di piana interdistributrice. La compattazione differenziale che ha seguito le bonifiche idrauliche può avere ridato un'evidenza morfologica anche a corpi di oltre 3000 anni, come visibile nella porzione occidentale del Foglio. Queste strutture erano spesso emerse anche prima delle bonifiche idrauliche (fig. 7) e sono state sempre sedi privilegiate del reticolo stradale e dell'insediamento antropico, perciò spesso rivestono una particolare rilevanza archeologica.

2.2. - SABBIE E LIMI DI ARGINE E ROTTA DI CANALE DISTRIBUTORE

Sabbie da medie a finissime, frequentemente limose, talvolta ricche d'intraclasti argillosi (*rip-ups*), che sfumano lateralmente in alternanze limoso-argillose. Frammenti legnosi possono essere abbondanti, i bioclasti sono normalmente assenti. Strati da sottili a medi, frequentemente gradati, con base netta od erosiva, depositi da eventi di tracimazione. Localmente, sono presenti sabbie medio-grossolane od intercalazioni argillose. Gli strati sono organizzati in sequenze verticali di spessore plurimetrico, con evoluzione granulometrica positiva o negativo-positiva, ben riflessa dall'andamento dei valori di resistenza

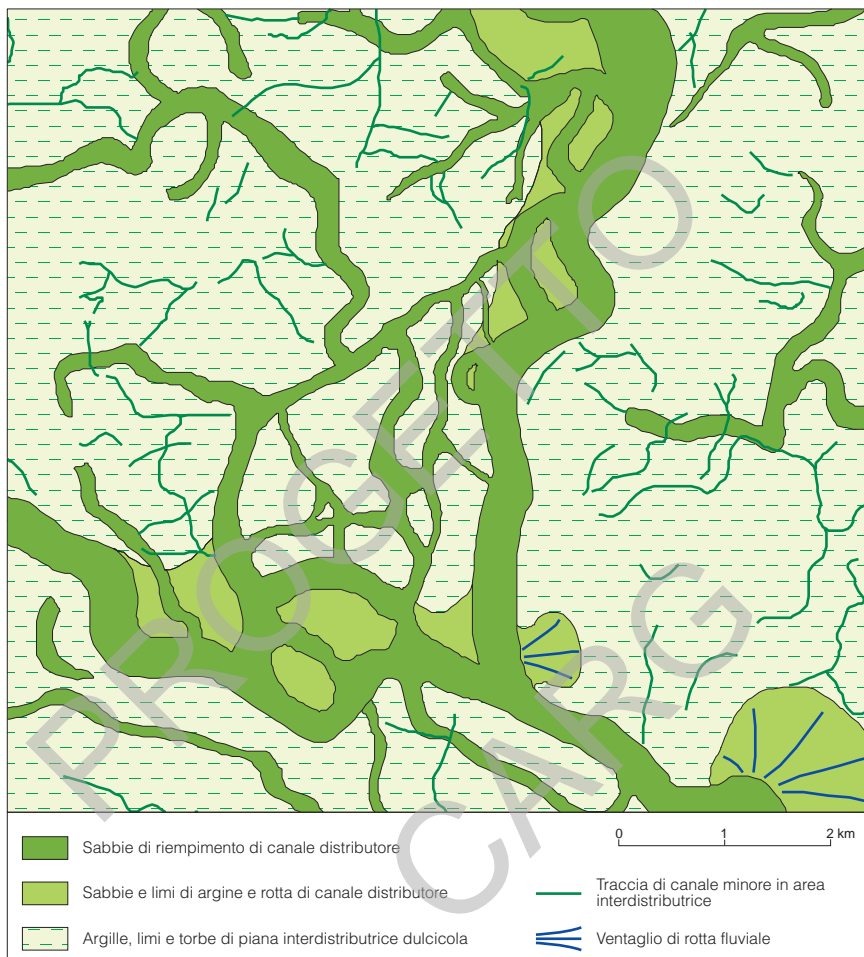


Fig. 22 - Estratto della parte centro-meridionale della carta, poco a nord di Codigoro, che illustra il complesso sviluppo eterocrono di corpi di canale distributore del Po, con associati ventagli da rotta ed aree interdistributrici. Diversamente a quanto avviene nel Foglio geologico, le unità stratigrafiche non sono qui indicate e i vari colori descrivono corpi sedimentari con diverse facies deposizionali.

alla punta delle penetrometrie CPTU. Questi corpi da rotta mostrano contatti laterali transizionali, sia verso sabbie di canale distributore, sia verso sedimenti fini di piana interdistributrice. I depositi accumulati in località di rotta hanno forma a ventaglio, da cui si dipartono piccoli canali. Questi ventagli non registrano, in genere, solo l'evento "istantaneo" della rotta, ma anche un successivo periodo di "ricatizzazione deposizionale", in cui si accrescevano come delta

interni, talvolta favoriti dall'azione antropica (es. delta interno ben visibile in carta nell'Isola d'Ariano, XVIII secolo). I corpi d'argine sono ovviamente sviluppati a coppie, sui due lati del paleoalveo, ed hanno larghezze da alcune decine a parecchie centinaia di metri. I corpi d'estensione minore, distinti nel corso del rilevamento, sono stati poi accorpati, nella carta 1:50.000, con i corpi di riempimento di canale, per ragioni grafiche. I corpi d'argine naturale preservano frequentemente un'inclinazione morfologica verso le contigue depressioni d'area interdistributrice. Queste aree sono state spesso sedi d'insediamento antropico, particolarmente nelle porzioni più rilevate e sabbiose.

2.3. - ARGILLE, LIMI E TORBE DI PIANA INTERDISTRIBUTRICE DULCICOLA

Argille, argille limose e subordinati limi, spesso arricchite in sostanza organica, di colore scuro, passanti ad argille torbose e torbe. La sostanza organica è presente come lamine millimetriche, come frammenti vegetali millimetrici e centimetrici, o sotto forma di molecole organiche disperse nell'argilla. I livelli nerastri, particolarmente arricchiti in carbonio organico, possono costituire dal 5 al 30% dell'intero deposito. Le intercalazioni torbose possono raggiungere anche spessori plurimetrici e sono particolarmente sviluppate nella parte centro-occidentale del Foglio, sia vicino alla superficie, sia nel sottosuolo, soprattutto nella porzione trasgressiva. Sparsi bioclasti di molluschi continentali, quali gasteropodi polmonati e lamellibranchi d'acqua dolce (es. *Limnea palustris*), frustoli carboniosi e foglie di piante arboree e ninfee, talvolta in ottimo stato di conservazione. Foraminiferi assenti, ostracodi talvolta abbondanti, ma poco differenziati. Le argille contengono frequentemente tracce d'apparati radicali o sono intensamente bioturbate da organismi limivori, perciò spesso non sono più visibili stratificazione e strutture sedimentarie; altrove è preservata una fitta laminazione piano-parallela d'aspetto varvato o sottili strati limosi o sabbioso-limosi, con intraclasti argillosi e frammenti legnosi, in strati gradati a base netta, da molto sottili a medi, legati ad episodi di tracimazione fluviale. Stratificazione da media a spessa, frequentemente poco evidente. Nelle prove penetrometriche, i valori di resistenza alla punta sono da bassi a molto bassi, con alto rapporto fra attrito laterale e resistenza alla punta e valori positivi di sovrappressione interstiziale. I valori di permeabilità sono in genere assai bassi e si accompagnano a tempi di dissipazione particolarmente lunghi. Eventuali picchi di maggiore resistenza alla punta sono legati a strati sabbiosi da rotta fluviale o a superfici sovraconsolidate da disseccamento, mal correlabili lateralmente. In superficie, questi sedimenti si ritrovano nelle aree depresse fra i rilievi dei canali fluviali, argini naturali e ventagli da rotta. Nel sottosuolo, questi sedimenti fini costituiscono corpi tabulari lateralmente molto estesi, con spessori fino a 15 m. Essi sono sviluppati sia nella porzione trasgressiva che in quella regressiva del subsistema di Ravenna. I depositi trasgressivi sono presenti solo nel sottosuolo e formano corpi assai estesi che sfumano lateralmente e superiormente in sedi-

menti salmastri o sono, localmente, troncati dalla superficie di rimaneggiamento trasgressivo (*ravinement surface*), che li separa da sabbie bioclastiche costiere. Nella porzione regressiva, questi sedimenti registrano piane inondabili, depressioni interdistributrici e paludi dolci, particolarmente sviluppate nella parte occidentale del Foglio. Inferiormente sfumano in sedimenti bioclastici di palude salmastra; superiormente, sono limitati dalla superficie topografica o troncati da corpi di riempimento di canale distributore. Essi sfumano lateralmente in depositi d'argine, canale distributore e rotta, ma verso oriente mostrano contatti netti con precedenti sabbie di cordone litorale. L'accumulo di queste facies sedimentarie è stato completamente interrotto dalle bonifiche idrauliche.

3. - FRONTE DELTIZIA E PIANA DI SABBIA

3.1. - SABBIE DI DUNA EOLICA

Sabbie fini molto ben classate, prive di matrice, di colore chiaro, spesso giallastro, mancanti di frustoli carboniosi e bioclasti, ad eccezione di sporadici gasteropodi polmonati. Composizione petrografica padana, tranne che per contributi d'Adige presenti in alcuni allineamenti dunari a nord del Po di Goro, d'età romana e medievale (Appendice 3). Stratificazioni incrociate eoliche a scala plurimetrica, con alternanza di lamine concave e planari, non sempre visibili. Resistenza alla punta nelle CPTU relativamente elevata e verticalmente abbastanza uniforme; permeabilità molto elevate, con frequente perdita dei fluidi di perforazione. Le strutture interne sono talvolta danneggiate da apparati radicali e bioturbazione, anche di mammiferi come talpe. Morfologie e strutture registrano l'azione dominante del vento di Bora. Attualmente questi venti invernali raramente eccedono nella zona di studio i 60 km/h, con valori medi intorno ai 30. L'evidenza sedimentologico-stratigrafica suggerisce che durante l'Età del Bronzo, circa 3000 anni fa, la velocità del vento fosse però maggiore. Le sabbie eoliche formano corpi a base netta e prevalentemente erosiva, sia su sabbie di piana deltizia, sia su sedimenti fini di stagno costiero, con larghezze anche di parecchie centinaia di metri. Formano campi allungati di dune (fig. 23) che possono conservare un'ottima espressione morfologica (es. Italba-Massenzatica, par. VIII.3.3.), con elevazioni residue dell'ordine dei 10 m (fig. 24). Le altezze originarie potevano verosimilmente superare i 15 m, in allineamenti di circa 3000 anni fa. Questi corpi sono allineati parallelamente a paleolinee di riva e registrano episodi di stabilizzazione e retrogradazione erosiva della linea di costa. Prima della bonifica, questi corpi eolici presentavano un'eccezionale espressione morfologica, formando alture circondate da vaste aree allagate, ma ora essi sono stati spesso distrutti dall'escavazione antropica. La loro grande evidenza morfologica si riflette nella toponomastica (Monti, Monticelli, Tombe, Tombine). I depositi eolici sono stati sedi di un'intensa occupazione antropica e

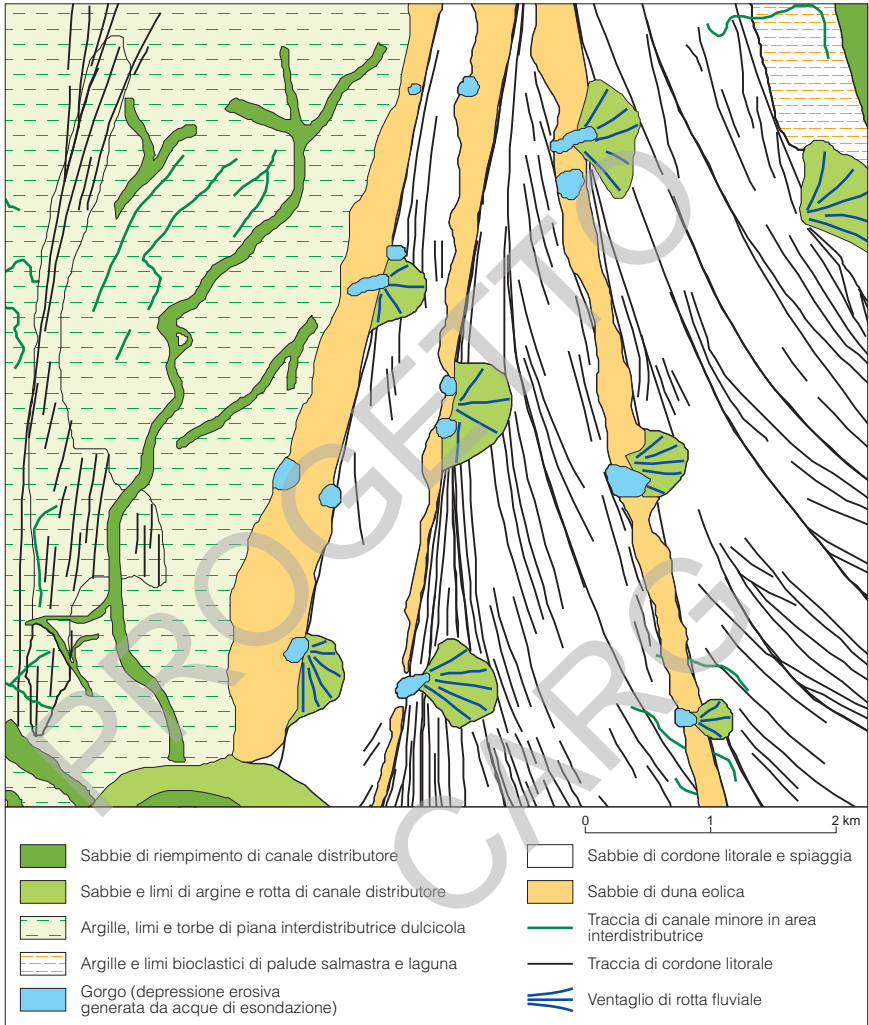


Fig. 23 - Estratto della carta geologica tratto dalla parte centrale dell'area cartografata, nei dintorni di Italba. L'estratto illustra corpi di dune eoliche, cordoni costieri, riempimenti di paleocanale distributore e strutture erosive da acque non incanalate (gorghi) con relativi ventagli da sfondamento. Anche qui, i vari colori indicano corpi sedimentari con diverse facies deposizionali e le unità stratigrafiche sono omesse.

furono sede della romana Via Popilia, per cui possono essere sede di rilevanti resti archeologici, come nei pressi di San Basilio, nell'Isola d'Ariano. L'accumulo eolico è oggi insignificante, anche in aree di retrospiaggia attuale, anche a causa dell'alterazione antropica della fascia costiera.

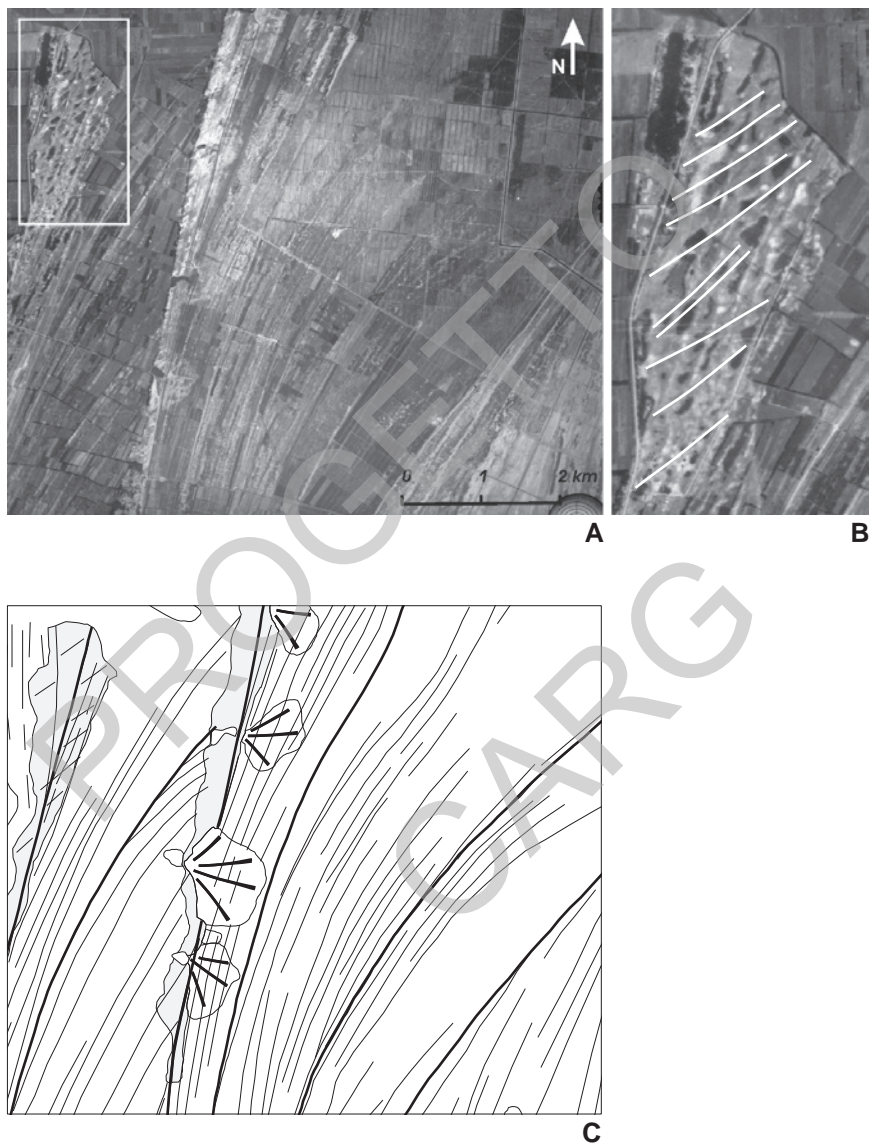


Fig. 24 - Morfologie eoliche, allineamenti di cordoni costieri e strutture da sfondamento di corpi eolici (A, C) da parte di acque di piena non incanalata (gorghi e ventagli da sfondamento), descritti nell'estratto della carta geologica dalla precedente foto 22. Dune di Italba-Massenzatica, nella parte centrale del Foglio. Nel riquadro (B), si osserva un ingrandimento del campo dunare, in cui è ben visibile l'isorientamento delle creste dei corpi eolici costieri.

3.2. - SABBIE DI CORDONE LITORALE E SPIAGGIA

Sabbie da medie a fini, con classazione da media a buona, spesso ricche di bioclasti marini, sia sparsi, sia concentrati in livelli centimetrici da tempesta. Faune a molluschi e foraminiferi relativamente diversificate. Le microfaune più frequenti appartengono alle associazioni marino-litorali M1, M2 ed M3 (vedi Appendice 2). Strati da medi a spessi, frequentemente amalgamati e mal visibili. Nelle penetrometrie CPTU, questi corpi si caratterizzano per valori relativamente alti di resistenza alla punta (mediamente > 500 kP), il basso rapporto fra attrito laterale e resistenza alla punta, i valori negativi di sovrappressione interstiziale (fig. 19). La curva della resistenza alla punta mostra un progressivo aumento, da valori medio-bassi nella parte inferiore dei corpi sabbiosi a valori assai alti al loro tetto (AMOROSI & MARCHI, 1999). Questo andamento corrisponde all'aumento granulometrico, a sua volta legato all'incremento dell'energia idrodinamica media, durante la progradazione dell'apparato deltizio e l'evoluzione *shallowing* del fondale. Alla base del corpo, la curva mostra spesso un picco isolato, che corrisponde alla concentrazione bioclastica lungo superfici d'erosione o non deposizione, seguita da una brusca caduta in corrispondenza del passaggio ai depositi fini sottostanti.

Strutture sedimentarie e associazioni faunistiche permettono spesso di identificare una successione laterale e verticale di facies, da quelle di mare relativamente più aperto a quelle più interne e superficiali, sovrapposte le une alle altre a causa della progradazione del sistema deltizio. **a)** Sabbie e sabbie limose con intercalazioni di livelli di limo, frammenti vegetali anche abbondanti e tracce d'altra sostanza organica, colore grigio scuro, frequenti concentrazioni di bioclasti, relativamente poco fratturati, bioturbazione abbondante. Questi sedimenti formano pacchi dello spessore 1-5 m, che fanno transizione ai limi di fronte deltizio. **b)** Sabbie da grossolane a fini, da massive a laminate, con rare intercalazioni di limi sabbiosi, colore grigio-giallastro, bioclasti di molluschi spesso abbondanti, sia dispersi che concentrati in strati da tempesta. I bioclasti possono essere fortemente addensati e fratturati, con segni di rimaneggiamento, bioerosione e bioincrostazione. Fra le strutture sedimentarie, sono riconoscibili gradazioni dirette e laminazioni da onda o piano-parallele. Sono interpretate come depositi di fronte deltizio e spiaggia sommersa. Le geometrie deposizionali testimoniano chiaramente il prevalere del trasporto lungo costa verso nord. **c)** Sabbie fini limose e limi sabbiosi in fitte alternanze centimetriche e decimetriche, spesso amalgamate, con rari bioclasti e resti carboniosi, talvolta abbondanti, o resti legnosi di grosse dimensioni, in corpi di spessore plurimetrico. Si trovano prevalentemente all'apice delle varie cuspidi deltizie e sono interpretati come depositi di barra di foce dei canali distributori del Po. **d)** Sabbie da grossolane a medio-fini, ricche di bioclasti ma povere di resti carboniosi, che poggiano inferiormente su limi argillosi fossiliferi di baia interdistributrice o laguna e che formano corpi allungati, più o meno arcuati, con lunghezze anche plurichilometriche e larghezze di parecchie decine di metri. Questi corpi registrano

scanni ed isole barriera. e) Sabbie massicce molto ben cernite, prive di matrice e di bioclasti, con colore giallo-bruno, spessore 1-3 m; sono presenti al tetto del corpo sabbioso e corrispondono a piccoli depositi eolici di retrospiaggia, di dimensioni troppo ridotte per essere cartografabili alla scala 1:50.000. f) Corpi affioranti di sabbie limose e limi argillosi, di colore scuro e con faune salmastre, accumulati nelle depressioni di intercordone. In aree parzialmente allagate, la concentrazione di frammenti d'uova d'uccelli può essere elevata, fino a generare veri livelli bioclastici condensati (es. Valle Bertuzzi). Questi corpi non sono stati cartografati separatamente, per ragioni di scala.

L'insieme di questi corpi sabbiosi appartiene alla porzione regressiva del subsistema di Ravenna, da circa 4.500 anni fa ad oggi. Nell'area di Volano ed in aree contigue alla carta, la deposizione di questo corpo è ancora in atto, anche se oggi i processi erosivi hanno in genere il sopravvento su quelli deposizionali. Queste sabbie formano un'estesa piana di sabbia, nella parte centrale del Foglio, marcata da numerosissimi cordoni costieri arcuati. Nel sottosuolo, le sabbie formano un grande corpo continuo e permeabile, di spessore fino a 15 m. Questo corpo deriva dalla coalescenza d'apparati deltizi d'età diverse, ben identificabili per le "discordanze geometriche" da non deposizione e retrogradazione erosiva che separano i vari gruppi di cordoni litorali.

3.3. - SABBIE DI DELTA-ESTUARIO E BARRIERA TRASGRESSIVA (SOLO SOTTOSUOLO)

Sabbie medie e fini, con intercalazioni limoso-argillose, di colore grigio, ricche di bioclasti di molluschi marini, frequentemente concentrati in strati di tempesta, qui spesso più sviluppati che nelle sopradescritte sabbie di cordone litorale e spiaggia progradante (par. V.3.2.). Composizioni petrografiche padane, ad eccezione di limitati apporti di fiumi veneti, presenti nella parte settentrionale del Foglio (Appendice 3). Frammenti lignei ed altri resti carboniosi possono essere localmente abbondanti. In carota, si osservano strati da tempesta a base netta e gradazione diretta e laminazioni trattive, localmente bisensoriali. Queste sabbie formano corpi lateralmente estesi, con base netta, che corrisponde spesso ad un contatto di rimaneggiamento trasgressivo (*ravinement surface*) e tetto netto da abbandono e approfondimento ambientale, o più spesso sfumato verso fanghi di transizione alla piattaforma. Nelle prove penetrometriche, queste sabbie mostrano picchi "a base netta", con valori di resistenza alla punta elevati e bassi rapporti fra attrito laterale e resistenza alla punta. Nel complesso, la curva di resistenza mostra valori decrescenti verso l'alto, che riflettono un'evoluzione *fining up* di questi corpi. Le prove penetrometriche mostrano picchi pronunciati a base netta (fig. 19) che possono essere spesso facilmente correlate lateralmente su distanze plurichilometriche.

Nella parte orientale del Foglio, queste sabbie sono presenti solo come sottili livelli di sabbie bioclastiche relitte di cordone trasgressivo, con base netta, corrispondente alla superficie di rimaneggiamento trasgressivo, e tetto netto, a cui

si sovrappongono fanghi di mare relativamente aperto (fig. 20). Questo livello appare però assai ben espresso nelle prove penetrometriche a piezocono, da un picco isolato di resistenza alla punta, con base netta. Queste sabbie raramente superano lo spessore di pochi metri, perciò nei profili del Foglio Allegato sono rappresentati da una striscia assai sottile e spesso non sono state cartografate nella carta delle isobate delle sabbie litorali.

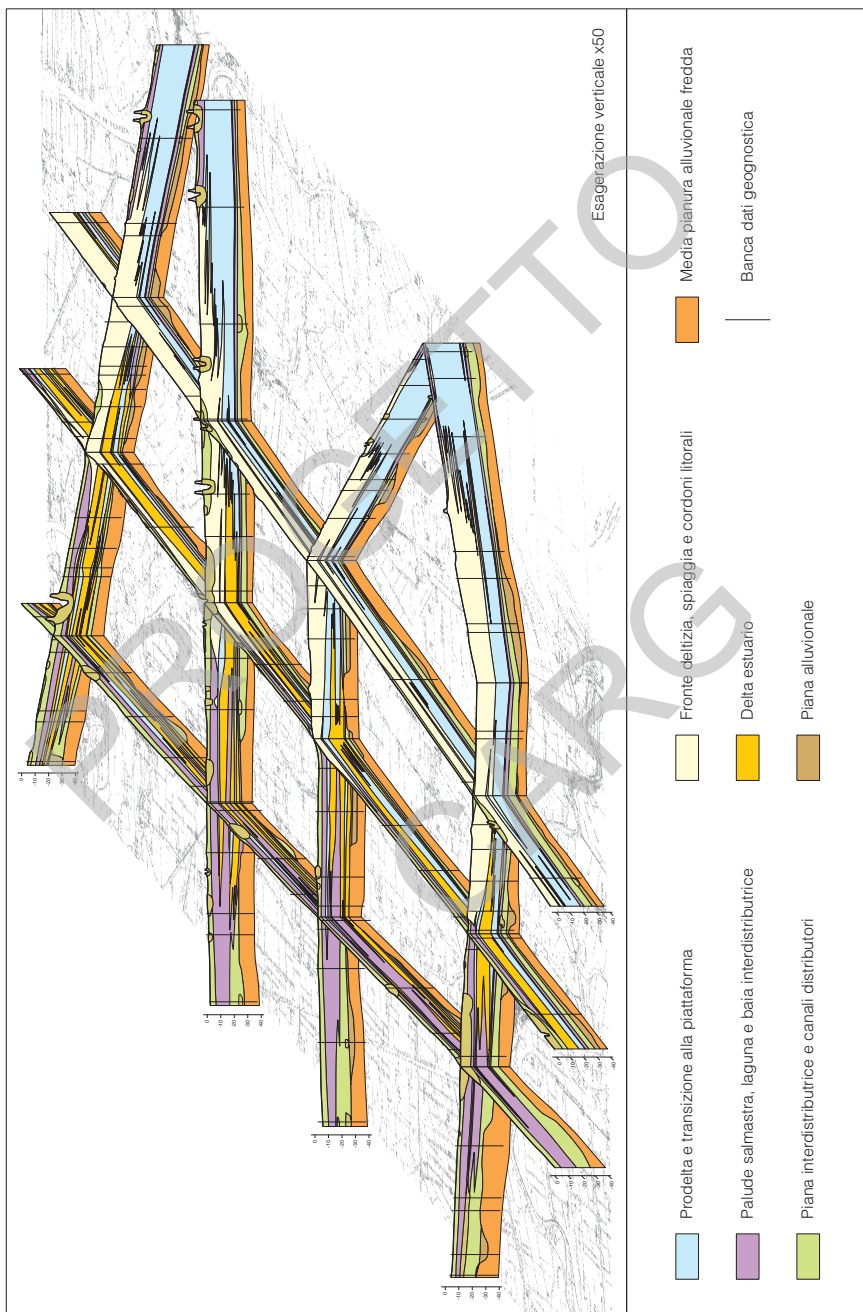
Nella parte centrale del Foglio, le sabbie, d'età relativamente più recente, formano corpi a sviluppo prevalentemente orizzontale (fig. 25), che verso ovest si sfrangiano in depositi di palude salmastra-laguna (par. V.3.4.) o passano a sabbie di riempimento di canali distributori (par. V.2.1.) e verso oriente sfumano in fanghi marini (par. V.4.1.). Questi corpi possono raggiungere uno spessore complessivo fino a 10 m. Essi sono il prodotto della sedimentazione di due baie di delta-estuario e relativi canali distributori del Po, durante le fasi finali dell'ingressione marina e nelle fasi iniziali dello stazionamento alto del livello del mare.

L'insieme di queste sabbie sepolte appartiene al subsistema di Ravenna (AES₈). A questi depositi è stata attribuita un'età di 8.500-4.500 circa, sulla base di datazioni ¹⁴C non calibrate e dell'inquadramento stratigrafico regionale.

3.4. - ARGILLE E LIMI DI PALUDE SALMASTRA E LAGUNA

Argille, argille limose e limi argillosi, talvolta arricchiti in sostanza organica, con subordinate intercalazioni di strati sabbioso-limosi gradati, legati ad eventi da tempesta e *wash over*. Frequenti resti conchigliari, sia interi che in frammenti, con associazioni oligotipiche dominate da *Cerastoderma glaucum*. Le microfaune appartengono alle associazioni del gruppo B, tipiche di baia o laguna, o all'associazione F, caratteristica di laghi o paludi (vedi Appendice 2). Possono essere presenti frammenti legnosi. Strati da sottilissimi a medi, prevalentemente amalgamati dalla bioturbazione. Nelle penetrometrie CPTU, questi depositi sono caratterizzati da bassi valori di resistenza alla punta e d'attrito laterale, che può essere al di sotto della risoluzione strumentale, e da alti valori di sovrappressione interstiziale (AMOROSI & MARCHI, 1999). Picchi isolati di resistenza alla punta sono legati a resti bioclastici. Altri picchi di spessore decimetrico, associati

Fig. 25 - Diagramma a recinto che sintetizza le geometrie tridimensionali dei vari corpi deposizionali, nel sottosuolo dell'area cartografata. L'andamento planimetrico dei profili selezionati per questa sintesi grafica è indicato in figura 9. Nella parte inferiore del diagramma, si descrivono sabbie da riempimento di canali fluviali di media pianura fredda, che formano la parte sommitale del Subsistema di Villa Verucchio. Il Subsistema di Ravenna registra una complessa evoluzione trasgressivo-regressiva olocenica e mostra spessori assai notevoli, variabili da 20 a circa 40 m. La parte occidentale è dominata da successioni di piana interdistributrice con intercalazioni salmaestre; nella parte centrale sono sviluppati imponenti corpi di sabbie di delta estuario, seguite da grandi volumi di sabbie deltizie regressive che verso oriente e verso il basso passano a fanghi di fronte deltizia.



alla caduta della sovrappressione interstiziale e del rapporto fra attrito laterale e resistenza alla punta, corrispondono ad intercalazioni granulari permeabili, originate da eventi di tempesta. Questi sedimenti registrano ambienti di palude salmastra, baia interdistributrice e laguna che possono essere ancora soggetti ad un'attiva dinamica sedimentaria (Sacca di Goro). Nella parte centrale del Foglio, questi sedimenti fini formano corpi con spessori fino a qualche metro, con base netta, su sabbie costiere, come ad esempio nell'area dell'ex Valle Giralda, ad oriente di Pomposa. Questi corpi sono allungati secondo la direzione dei cordoni principali, con base netta su sabbie di cordone litorale. Nella parte orientale del Foglio, sedimenti simili formano corpi assai più spessi ed estesi, con base sfumata su fanghi di prodelta e contatti laterali con sabbie di scanno. In queste aree, si riconoscono faune più diversificate, spesso concentrate in strati da tempesta, associati a sabbie gradate di ventaglio da tempesta marina (*spill over fan*). Il loro spessore può essere rilevante, superando anche i 10 m. Nella parte inferiore del subsistema di Ravenna, facies analoghe si appoggiano in modo trasgressivo su depositi di piana alluvionale e deltizia o palude dulcicola. Si possono individuare diverse litofacies. **a)** Argille limose e limi omogenei, con sostanza organica diffusa, ma relativamente poco abbondante. Frammenti conchigliari e gusci interi molto abbondanti, ma in associazioni oligotipiche, bioturbazione diffusa fino alla totale omogeneizzazione biogenica. Rappresenta la litofacies più diffusa e registra ambienti di laguna, baia interdistributrice e palude salmastra. **b)** Argille e limi di aspetto varvato, con lamine millimetriche spesso fortemente arricchite in sostanza organica, bioturbazione rara o assente, sporadici bioclasti conchigliari; presenti frammenti di legno, livelli d'argille nere e torbe; si tratta di depositi di paludi salmastre con fondali fortemente disossici o francamente anossici. **c)** Intercalazioni d'argille limose e sabbie finissime e limose, in strati sottili e medi, raramente spessi, associati a bioclasti, spesso molto fratturati. Questa facies si trova particolarmente nelle porzioni delle lagune più prossime alla linea di costa e maggiormente soggette all'effetto delle tempeste ed alla formazione di ventagli di *wash over*.

4. - PRODELTA E TRANSIZIONE ALLA PIATTAFORMA

4.1. - ARGILLE E LIMI DI PRODELTA (SOLO SOTTOSUOLO)

Argille, argille limose, limi argillosi e limi, ricchi di materiale conchigliare, con subordinati strati centimetrici da piena-tempesta, formati da sabbie fini limose a gradazione diretta. Abbondanti molluschi in associazioni relativamente differenziate di mare aperto, con lamellibranchi, gasteropodi e scafopodi tipo *Dentalium* (fig. 17C), sia dispersi dalla bioturbazione che concentrati in *lags* conchigliari. Gli strati granulari sono spesso correlabili lateralmente per vari chilometri, tracciando geometrie dolcemente clinostratificate. La porzione più

antica di questi depositi, accumulatasi nei pressi della massima trasgressione, presenta una stratificazione sub-orizzontale e concentrazioni di lumachelle conchigliari da tempesta particolarmente sviluppate. Nella parte orientale del Foglio, si passa quindi ad un grande cuneo di fanghi di prodelta progradante, che passano superiormente a sabbie deltizie (fig. 25). Nella parte orientale del Foglio, questi sedimenti marini fini possono sfumare superiormente in sedimenti salmastri di laguna e baia interdistributrice, senza l'interposizione di alcun corpo di sabbie ad altra energia, a causa della crescita laterale di corpi di scanno costiero, come ad esempio nella Sacca di Goro (fig. 20). Lo spessore del cuneo di fanghi di prodelta aumenta progressivamente verso est, fino a superare 25 m. Questi sedimenti non compaiono in affioramento nell'area cartografata, ma sono presenti nel sottosuolo, come rappresentato nelle sezioni geologiche, ed affiorano al fondo marino, ad est del Foglio, ove sono ancora in attiva evoluzione deposizionale, particolarmente davanti alle bocche attive del delta attuale.

PROGETTO
CARG

VI - CARTOGRAFIA

La piatta morfologia bidimensionale delle aree di pianura ostacola ovviamente l'osservazione tridimensionale dei corpi geologici e limita quindi fortemente la tradizionale rappresentazione cartografica delle unità stratigrafiche, storicamente sviluppata nei rilievi montuosi. Le aree di pianura alluvionale e piana deltizia prossime al litorale emiliano-romagnolo sono formate in gran parte da sedimenti di deposizione recente, in gran parte olocenica. Se l'intervallo cronologico registrato dai sedimenti affioranti è quindi molto breve, non di meno la complessità stratigrafico-sedimentologica è assai elevata, caratterizzata, com'è, dall'articolato intrecciarsi e dal diacrono sovrapporsi di depositi d'ambienti assai diversi. Secondo le norme codificate e cogenti della cartografia geologica ufficiale d'Italia, la descrizione dei corpi quaternari si basa sull'individuazione d'unità limitate da superfici inconformi di discontinuità. Queste unità presentano una chiara connotazione cronologica e sono organizzate secondo una precisa gerarchia stratigrafica (titolo IV). Seguendo queste norme, alla rappresentazione delle unità stratigrafiche a limiti inconformi si riserva la simbologia cromatica con campiture di colori chiari e pieni, mentre il complesso articolarsi di litologie, corpi e facies sedimentarie deve essere indicato con il solo uso di retini discontinui e soprassegni. La carta geologica ufficiale di aree di pianura si materializza così come uno strumento grafico ricco d'informazioni, ma non sempre d'intuitiva lettura, cromaticamente quasi omogeneo, ma denso di sovrapposti simboli e graficismi, cui è affidato il complesso compito di identificare i sistemi deposizionali.

La ricostruzione dell'evoluzione ambientale delle ultime centinaia di migliaia d'anni, l'indagine geologica a scopi applicativi e la stessa piena comprensione dei corpi affioranti richiede però anche l'analisi del sottosuolo, a cui è stata data ampia enfasi nella cartografia geologica della Regione Emilia-Romagna.

Una piccola parte di queste informazioni è stata rappresentata nel primo Foglio della carta geologica, sotto forma di due sezioni pellicolari, con esagerazione verticale di 100 a 1. Data la complessità intrinseca della carta di superficie, non è parso opportuno soprapporvi ulteriori informazioni sul sottosuolo, che avrebbero appesantito il contesto visivo, a discapito di comprensione e fruibilità. Si è perciò deciso di dedicare un Foglio Allegato alla sintesi tridimensionale dei dati di sottosuolo, attraverso vari elaborati grafici, quali carte delle isobate di alcune superfici chiave e sezioni geologiche con esagerazione verticale di 50 a 1. A questa articolazione grafica si è giunti sull'esempio della produzione cartografica estera in aree di pianura (es. Carta Geologica d'Olanda, al 1:50.000 o Carta Geologica della Danimarca, in scala 1:200.000) e della precedente esperienza di cartografia di pianura della Regione Emilia-Romagna, a partire dal "prototipo" del Foglio 223-Ravenna (2002) e successive realizzazioni (es. Foglio 219-Sassuolo, Foglio 240/241-Forlì/Cervia e Foglio-256 Rimini, 2005). In questo contesto, la Carta Geologica che illustra la "geologia di superficie" diviene, se ci è concessa un'informale metafora, "l'immagine del coperchio" dell'edificio stratigrafico, mentre il Foglio Allegato alla Carta Geologica illustra la geologia di sottosuolo. Le informazioni ricavabili dai vari elaborati grafici consentono quindi una percezione tridimensionale dei corpi sedimentari. Nei paragrafi seguenti sono evidenziati gli aspetti cartografici salienti di questa edizione del Foglio 187 Codigoro, mentre i caratteri delle unità stratigrafiche e dei sistemi deposizionali sono più ampiamente descritti nei titoli IV e V.

1. - CARTA GEOLOGICA

1.1. - STRUTTURA E SIMBOLOGIA

La Carta Geologica, alla scala 1:50.000, descrive la distribuzione spaziale e le caratteristiche litologico-sedimentologiche delle unità stratigrafiche a limiti inconformi (titolo IV), affioranti nella piana deltizia e nelle contigue aree sommerse. La carta si basa su rilevamenti di terreno e tecniche di telerilevamento (titolo III). I sedimenti affioranti si sono depositi nel corso degli ultimi 4.000 anni circa ed appartengono interamente al subsistema di Ravenna (AES₈), porzione più recente del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES; titolo IV). All'interno del subsistema di Ravenna, è distinta un'unità stratigrafica di rango inferiore, l'unità di Modena (AES_{8a}), corrispondente alla parte sommitale di AES₈, deposta negli ultimi 1.500 anni circa. La carta distingue l'unità di Modena dalle porzioni precedenti del subsistema di Ravenna con l'uso di due diverse tonalità di colore.

All'interno delle due unità stratigrafiche, la carta descrive la distribuzione areale dei litotipi dominanti, organizzati in associazioni di facies sedimentarie (es. sabbie di cordone litorale, ecc.), indicate da retini e soprassegni disconti-

nui, di colori diversi. Altri elementi geologico-stratigrafici, di carattere lineare o puntuale, sono indicati con segni convenzionali, come **a)** contatto fra unità stratigrafiche diverse; **b)** traccia di canale minore, in aree interdistributrici e palustri; **c)** traccia di canale lagunare, sviluppato, sotto influenze tidali, in aree interdistributrici; **d)** ventagli di sedimenti sabbiosi, ridistribuiti durante un evento di rotta fluviale o nelle fasi di successiva “ricatrazzazione” dell’argine naturale; **e)** traccia arcuata di cordoni litorali, che materializzano la successiva posizione di linee di costa, deposti in ambienti di spiaggia, con influenze eoliche più o meno pronunciate; **f)** traccia delle principali linee di costa, che in genere separano lobi deltizi d’età diversa; **g)** depressioni generate dallo sfondamento di dune eoliche da parte d’acque non incanalate (*gorgo*), sia ancora occupate dall’emergenza d’acque di falda, sia colmate di materiali naturali o artificiali; **h)** ventagli creati dallo sfondamento di dune eoliche per opera d’acque non incanalate, associate alla formazione delle predette depressioni. Altri simboli indicano ulteriori elementi utili alla lettura, quali la presenza di aree di cava, le isobate in metri dei fondali, il sito dei sondaggi del Progetto CARG, con la relativa sigla e profondità in metri, la traccia delle sezioni geologiche.

1.2. - PRINCIPALI ELEMENTI DELLA CARTA

La carta geologica è suddivisibile in tre aree caratterizzate da associazioni di facies omogenee.

(a) La porzione occidentale è formata dall’intreccio eterocrono di corpi allungati prodotti dal riempimento di canali distributori del Delta del Po, intercalati a sedimenti fini e torbosi, deposti in aree depresse interdistributrici, in condizioni dulcicole. L’area registra il mutevole corso dei vari canali del Delta del Po, dall’epoca preistorica ad oggi. Questa zona è limitata a nord dall’attuale alveo del Po ed a sud da quello del Volano. La regione è interamente prosciugata da estese bonifiche idrauliche, perciò vi dominano ampie aree depresse, ben sotto al livello del mare, a cui s’intercalano dossi corrispondenti ai corpi di riempimento di paleocanale. Questi caratteri si sviluppano ampiamente più ad occidente, nel contiguo Foglio Copparo.

(b) La porzione centrale è formata quasi interamente da un’estesa piana di sabbia, solcata da numerosissimi cordoni costieri, intercalati da importanti corpi di dune eoliche, che corrispondono a fasi di stabilizzazione della linea di costa. Ampi accumuli si possono ad esempio osservare fra Italba e Massenzatica e a sud-est di Mesola. Questa area centrale si è formata per la giustapposizione laterale di varie generazioni di lobi deltizi del Po. Alle sabbie litorali s’intercalano i depositi di riempimento dei tratti terminali dei canali distributori. Essi sono spesso caratterizzati da veri e propri meandri, il cui sviluppo fu influenzato dal rimaneggiamento di precedenti sabbie costiere, come ad esempio visibile ad oriente di Codigoro. I sedimenti fini sono poco sviluppati e si trovano solo come riempimento di paleoalvei abbandonati e nelle aree già sede di stagni salmastri,

sviluppatasi in zone in precedenza emerse, come nell'ex Valle Giralda, ad occidente di Pomposa. La maggior parte di quest'area si trova sopra al livello del mare, anche se non mancano aree depresse.

(c) La parte orientale e nord-orientale del Foglio è formata dai depositi del Delta attuale del Po, formatosi a partire dal XVII secolo (titolo VII). Questa area è assai più ricca delle precedenti in sedimenti fini, deposti in baie interdistributrici e in stagni salmastri. Le porzioni bonificate si trovano in gran parte sotto al livello del mare, da cui sono talvolta separate solo da un esile argine artificiale, come nei pressi di Goro; altre aree sono tuttora sommerse (Sacca di Goro).

All'interno di tutto il Foglio, la distribuzione delle unità sintemiche riflette ovviamente l'età dei corpi sedimentari. Nella parte occidentale, appartengono all'unità di Modena (AES_{8a}) i depositi di riempimento dei canali distributori e degli argini naturali dell'attuale Po Grande, del Po di Goro, del Volano e, in misura più limitata, del Gaurus, a nord di Codigoro. In questa zona, l'unità ha spessore generalmente limitato, ma può localmente superare i 10 m, in corrispondenza dei maggiori paleocanali distributori. Precedenti porzioni del subsistema di Ravenna affiorano ampiamente nelle aree interposte tra questi canali distributori. Questi sedimenti precedenti sono talvolta amalgamati in superficie con uno spessore decimetrico non cartografabile di sedimenti più recenti, da tracimazione e palude dolce, coevi all'unità di Modena. Queste zone di amalgamazione sono in genere assai rimaneggiate dall'aratura agricola. Nella fascia centrale, la piana di sabbia litorale appartiene in gran parte alle porzioni pre-medievali del subsistema di Ravenna, che è attraversato dal riempimento d'alcuni alvei più recenti, appartenenti all'unità di Modena. I sedimenti dell'unità di Modena affiorano poi in modo continuo in tutta l'area orientale del Foglio, dove formano i lobi deltizi del Po di Volano altomedievale, del Po di Goro e dell'Abate, d'età tardo-medievale e rinascimentale, della parte meridionale del lobo del Po di Tramontana e di Venezia, d'età rinascimentale, e del delta attuale, formatosi a partire dall'inizio del XVII secolo. Sedimenti recenti, ancora in evoluzione deposizionale e geomorfologica, si trovano nella Sacca di Goro e nelle attuali aree golenali del Po (b₁).

1.3. - SEZIONI PELLICOLARI E SCHEMI GRAFICI

Nello spazio disponibile sotto la Carta Geologica, le due sezioni pellicolari (A-A', B-B') illustrano i rapporti stratigrafici fra AES_{8a} ed AES₈, con scala orizzontale di 1:50.000 ed esagerazione verticale di 1:100. Attraverso la pianura dell'Emilia-Romagna, l'unità di Modena ha normalmente un carattere pellicolare, con spessori di pochi metri, come nelle porzioni occidentali del Foglio Codigoro. Nella parte orientale del Foglio questa unità può però raggiungere spessori assai rilevanti, fino a quasi 20 m all'interno di fanghi di prodelta (titolo VI). Le sezioni geologiche illustrano anche la stratificazione inclinata verso mare (clinostratificazione deposizionale), tipica dei depositi di fronte deltizia, interpretata sulla

base delle correlazioni geometriche delle curve penetrometriche e della coerenza sedimentologica interna.

Per una migliore comprensione geologica dell'area, è opportuno esaminare il suo quadro cronologico ed evolutivo regionale. A questo scopo, nel primo Foglio sono presenti alcuni ulteriori elaborati grafici: (a) schema d'inquadramento geologico regionale, (b) schema evolutivo della costa, (c) schema cronostratigrafico del subsistema di Ravenna.

(a) Lo **Schema di inquadramento geologico regionale** illustra, in modo sintetico, l'organizzazione regionale dei corpi affioranti lungo la fascia costiera, fra Rimini e Chioggia, e nella retrostante pianura alluvionale. In questo schema, si osserva il ventaglio dei canali distributori del Delta del Po, limitato a sud dai depositi dei fiumi d'origine appenninica, fra cui il Reno, a nord e da varie generazioni di canali dell'Adige. Lo schema mostra inoltre lo sviluppo regionale dei cordoni di sabbie litorali. Esso non fornisce esplicite indicazioni cronologiche; gran parte dei sedimenti rappresentati nelle aree di pianura appartengono in ogni modo all'Olocene ed al subsistema di Ravenna.

(b) Lo schema dell'**Età dei depositi costieri** illustra lo sviluppo delle varie generazioni di lobi deltizi di Po, Adige e fiumi appenninici, durante lo stazionamento alto olocenico del livello del mare, negli ultimi 5.000 anni circa. Le diverse generazioni di lobi sono spesso separate da superfici di non deposizione, erosione e discordanza, come quella, particolarmente continua, che marca la base di AES_{8a} (unità di Modena). La posizione della linea di massima trasgressione marina è da considerarsi indicativa, sia a causa della sua natura intrinsecamente transizionale, sia perché i depositi di questa età non sono conosciuti in affioramento.

(c) Lo **Schema cronostratigrafico del subsistema di Ravenna** fornisce una rappresentazione sintetica dei rapporti cronologici fra i vari corpi sedimentari di AES₈, lungo un profilo est-ovest sviluppato nella parte centrale del Foglio, corrispondente alla strada "Gran Linea" e coincidente con la sezione geologica D-D' del Foglio Allegato. Le considerazioni cronologiche illustrate in questo schema possono essere facilmente estrapolate su tutta l'area del Foglio, fornendo una datazione di massima delle fasi trasgressive e regressive. Una discussione approfondita di questa cronologia è fornita nel titolo VII, a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti.

2. - FOGLIO ALLEGATO - GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO

Il Foglio Allegato fornisce un'immagine sintetica della geologia di sottosuolo, tramite due carte delle isobate del (a) tetto delle sabbie litorali e del (b) tetto delle sabbie continentali pleistoceniche del Fiume Po, che materializza il limite fra AES₇ e AES₈. Il Foglio Allegato contiene inoltre (c) cinque sezioni geologiche superficiali (C-C', D-D', E-E', F-F', G-G') che illustrano i primi 40 m di sottosuolo e (e) una sezione geologica profonda a scala regionale, sviluppato fino a circa 500 m di profondità.

2.1. - SEZIONE GEOLOGICA PROFONDA

La sezione profonda illustra l'assetto stratigrafico dei primi 500 m di sottosuolo, che in questa area corrispondono a soli 500.000 anni circa, dati i tassi medi di sedimentazione molto elevati, nonostante la presenza di numerose lacune. La sezione si estende ampiamente a sud-ovest del Foglio Codigoro, fino a raggiungere l'area del campo metanifero di Consandolo. Essa ha scala orizzontale di 1:100.000 ed esagerazione verticale di 25x; la scala verticale è quindi 1:4.000. Nelle sezioni, oltre alle unità stratigrafiche, sono riportate indicazioni sulla geometria dei corpi sedimentari, le stratigrafie presenti nella Banca Dati Geologici della Regione Emilia-Romagna, i *logs* di resistività dei pozzi AGIP per idrocarburi (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998) ed i sondaggi realizzati per il Progetto CARG. Questa sezione ha anche beneficiato di dati provenienti da profili di sismica industriale (AGIP). Essa è stata realizzata nell'ambito della ricostruzione tridimensionale a scala regionale dei depositi quaternari continentali e marini, ricostruzione importante sia per la comprensione dell'evoluzione geologica di questo settore dell'Avanfossa Appenninica, sia per la ricerca, sfruttamento e conservazione delle risorse idriche sotterranee (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998) e la previsione della subsidenza.

La sezione geologica rappresenta buona parte del supersistema Emiliano-Romagnolo, comprendendo l'intero sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) ed una significativa porzione di quello inferiore (AEI). La successione è formata dalla sovrapposizione di cinque grandi cicli sedimentari asimmetrici trasgressivo-regressivi, separati da discordanze ed episodi di non deposizione, sviluppati in condizioni subaeree. Nel complesso, la sezione è decisamente dominata dalle facies marine, anche relativamente aperte e profonde. Essa registra però una tendenza evolutiva globalmente *shallowing*, dato che le unità profonde mostrano caratteri marini pronunciati e sono prive d'intercalazioni continentali, che diventano invece importanti all'interno del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, ove sono associate a potenti corpi acquiferi di sabbie di provenienza padana. Nella parte superiore, si osservano intercalazioni di sabbie fluviali di provenienza appenninica, volumetricamente subordinate e confinate nella porzione sud-occidentale della sezione. Nonostante la minore esagerazione verticale rispetto ai profili superficiali, la sezione mostra una chiara inclinazione dei corpi geologici più profondi. Questa pendenza aumenta verso il basso e solo in minima parte riflette geometrie deposizionali, in quanto essa registra variazioni areali della subsidenza e la deformazione tettonica di questa porzione dell'Avanfossa Appenninica.

2.2. - SEZIONI GEOLOGICHE SUPERFICIALI

Le cinque sezioni geologiche hanno scala orizzontale 1:50.000 ed esagerazione verticale di 50x, la scala verticale è quindi di 1:1.000. L'esame integrato di

questa griglia di profili può fornire un'idea abbastanza accurata delle geometrie tridimensionali sviluppate all'interno del ciclo trasgressivo-regressivo olocenico. Queste sezioni geologiche descrivono i primi 40 metri circa di sottosuolo, che comprendono tutto lo spessore del subsistema di Ravenna (AES₈) e la parte superiore del subsistema di Villa Verucchio (AES₇; titolo IV). I vari colori vi indicano diverse associazioni di litologie e facies sedimentarie, quali sabbie di media pianura alluvionale, sedimenti di piana interdistributrice dulcicola, ecc. Sono indicate anche la base del subsistema di Ravenna (AES₈) e la superficie di massima ingressione marina. Altre informazioni riguardano la stratigrafia dei sondaggi realizzati per il Progetto CARG ed i profili di punta delle prove penetrometriche. Le sezioni s'incrociano in 6 punti, come indicato nei profili. La sezione settentrionale (C-C') ha andamento quasi est-ovest, la sezione D-D' presenta un andamento a spezzata, le tre rimanenti sono allungate in direzione grossomodo nord-sud, con azimut intorno a 20°. Le due prime sezioni sono allungate in una direzione all'incirca perpendicolare alle antiche linee di costa e le geometrie deposizionali sono perciò più facilmente visibili. Questi profili registrano una grande variabilità di facies sedimentarie, da depositi di pianura costiera interdistributrice a corpi di sabbie di fronte deltizia e a fanghi di mare relativamente aperto. Le sezioni C-C' e D-D' tagliano le superfici di clinostratificazione in modo quasi perpendicolare alla loro direzione e perciò mostrano inclinazioni prossime a quelle reali, tenendo ovviamente conto della forte esagerazione verticale. Le altre tre sezioni sono orientate all'incirca parallelamente alle antiche linee di spiaggia e mostrano perciò una minore variabilità laterale d'ambienti deposizionali. Le superfici clinostratificate sono sostanzialmente tagliate secondo direzione, per cui risultano apparentemente poco inclinate, anche se sono visibili le discordanze geometriche che separano varie generazioni di corpi deltizi. Le tre sezioni a direzione meridiana sono tracciate rispettivamente (a) immediatamente ad occidente dei più antichi allineamenti dunari affioranti, (b) al centro della piana di sabbia litorale e (c), più ad oriente, all'interno dei depositi deltizi più recenti.

2.3. - CARTA DEL TETTO DELLE SABBIE LITORALI - SUBSISTEMA DI RAVENNA (AES₈)

Il limite superiore sepolto delle sabbie costiere oloceniche è descritto in una carta 1:100.000, mediante isobate con equidistanza di 1 m, riferite al livello del mare attuale. Le zone d'affioramento di queste sabbie sono state rappresentate da aree omogenee. Il tetto di questi sedimenti litorali corrisponde al contatto eterocrono fra sabbie costiere e depositi più fini, di palude salmastra e piana interdistributrice dulcicola. Il contatto può essere associato ad una certa lacuna temporale oppure essere di eteropia fra facies sedimentarie coeve. La superficie può quindi essere netta o, più localmente, sfumata. Le sabbie sottostanti la superficie sono di deposizione più antica verso occidente, ove registrano iniziali condizioni di delta-estuario (par. V.3.3.) e ringiovaniscono progressivamente

verso oriente, dove testimoniano ambienti di spiaggia, scanno costiero e fronte delizia progradante (par. V.3.2.). Entrambi i tipi di deposito sono formati da sabbie da medie a finissime, ricche di bioclasti marini, con composizioni petrografiche padane.

I depositi di delta-estuario presentano concentrazioni bioclastiche da tempesta più importanti e mostrano una “stratificazione” suborizzontale. Queste sabbie hanno spessori massimi di circa 10 m e si sono accumulate durante fasi tardive della trasgressione ed immediatamente dopo la massima trasgressione. Le sabbie di delta-estuario deposte nei pressi della massima trasgressione sfumano verso terra in sabbie fluviali o si sfrangono entro fanghi lagunari; il limite rappresentato in carta corrisponde perciò generalmente ad un contatto sfumato. Le sabbie regressive di fronte del delta sono organizzate in strati da sottili a medi, spesso amalgamati, leggermente inclinati verso mare. Queste sabbie possono superare lo spessore di 15 m e mostrano generalmente un limite occidentale molto netto, tranne che nelle zone d’amalgamazione con canali distributori del Po.

2.4. - CARTA DEL TETTO DELLE SABBIE ALLUVIONALI DEL FIUME PO - SUBSISTEMA DI VILLA VERUCCHIO (AES₇)

Una seconda carta, sempre alla scala 1:100.000, descrive il tetto delle sabbie continentali appartenenti alla parte superiore del subsistema di Villa Verucchio (AES₇). La superficie è rappresentata da linee isobate, in metri sotto il livello del mare attuale, con equidistanza di 2 m. Data la disponibilità di soli dati puntuali discontinui, non è stato possibile ricostruire in grande dettaglio questa superficie sepolta. Si è preferito perciò “diffondere” arealmente l’errore, preservando però l’indicazione dell’andamento di possibili paleovalli allungate. Questa incertezza va tenuta presente per un eventuale uso applicativo, ad esempio idrogeologico, ambito in cui questa superficie limita il primo acquifero confinato (titolo VIII). Questo limite si approfondisce progressivamente da nord-ovest a sud-est. La superficie stratigrafica corrisponde ad un contatto netto, di depositi alluvionali e deltizi trasgressivi su sabbie di media pianura alluvionale (par. V.1.1.), verosimilmente associato ad una lacuna stratigrafica arealmente diffusa, con un’estensione di parecchi migliaia di anni. La superficie sembra corrispondere ad una superficie paleotopografica, incisa in condizioni subaeree. In alcuni punti, la superficie è stata poi rimaneggiata dalla subsidenza differenziale naturale, dal pompaggio d’acque metanifere, ecc. Questo contatto limita superiormente sabbie da fini a molto grossolane o finemente conglomeratiche, con composizione petrografica padana, povere di matrice e con resti vegetali rarissimi, accumulate in ambienti di media pianura alluvionale fredda (par. V.1.1.), durante fasi dell’ultima glaciazione (Wuermiana), in un intervallo di stazionamento basso del livello del mare.

VII - EVOLUZIONE GEOLOGICO-AMBIENTALE

1. - INTERPRETAZIONE CRONOLOGICA

La datazione dei corpi sedimentari è una tappa fondamentale per la ricostruzione della storia geologica di una regione. Per i sedimenti sepolti, sono state utilizzate le misure sul ^{14}C (tab. 1) e l'interpretazione cronologica delle relazioni geometriche. La datazione dei corpi affioranti si è basata sulle relazioni geometriche, su dati archeologici e su fonti storiografiche e di cartografia antica. Come accennato (titolo VI), questi dati sono rappresentati tramite lo schema cronostratigrafico del subsistema di Ravenna, lo schema evolutivo della fascia costiera e l'indicazione dell'età dei cordoni costieri, fornita dalla carta geologica. Lo schema cronostratigrafico (fig. 26) interpreta le relazioni temporali del profilo D-D' (cf. fig. 15), sviluppato nella porzione centrale del Foglio 187 (fig. 9), ma il quadro cronologico può essere esteso a tutta l'area cartografata.

Il quadro cronologico delle sabbie di riempimento di canale fluviale di media pianura alluvionale, sviluppate nella parte superiore del subsistema di Villa Verucchio, è il meno documentato, data la scarsità di resti utili per le determinazioni con il radiocarbonio. Nell'area cartografata, resti legnosi nella parte inferiore di queste sabbie hanno fornito età non calibrate di circa 33.000 anni B.P. I sedimenti fini di pianura alluvionale sviluppati poco sotto la loro base hanno dato datazioni imprecise, ma antecedenti i 40.000 anni. Datazioni su resti ossei di mammiferi continentali d'ambiente periglaciale (*Coelodonta*, *Mammuthus*, *Megaceros*, ecc.), prelevati da sabbie simili e correlabili con questi sedimenti, a monte di Ferrara (Settepolesini), si concentrano intorno i 35.000 anni (SALA & GALLINI, 2002). Nell'area del Foglio Ravenna, sono state ottenute varie datazioni intorno ai 25.000, 30.000, 35.000 anni ed oltre (AMOROSI, 2002), in sedimenti di pianura alluvionale prevalentemente fini, correlabili con questo

Tab. 1 - *Datazioni al ¹⁴C ottenute nel Foglio Codigoro.*

CODICE BANCA DATI	QUOTA SONDAGGIO	PROFONDITÀ CAMPIONE	UNITÀ	ETÀ ¹⁴ C RANGE	Calib 4.1.2 BP*	TECNICA DI DATAZIONE	TIPO DI MATERIALE	LABORATORIO
187-S1	-1	25,85	AE58	8250	9410 to 9020 **	Radiometrica	Frammenti vegetali	BETA ANALYTIC (MIAMI)
187-S1	-1	50,05	AE57	41790	-	AMS-Standard	Torba	BETA ANALYTIC (MIAMI)
187-S2	1	25,30	AE58	8330	9470 to 9120 **	Radiometrica	Argilla organica	BETA ANALYTIC (MIAMI)
187-S4	1	25,45	AE58	8020	9020 to 8610 **	Radiometrica	Torba	BETA ANALYTIC (MIAMI)
187-S7	-2	28,1	AE58	8150	9400 to 9360 **	Radiometrica	Frammenti vegetali	BETA ANALYTIC (MIAMI)
187-S8	-2	42,75	AE57	32810	-	Radiometrica	Frammenti vegetali	BETA ANALYTIC (MIAMI)
187-S9	1	26,75	AE58	8690	7900 to 7910 **	Radiometrica	Argilla organica	BETA ANALYTIC (MIAMI)
187-S11	-2	16,45	AE58	7510	6230 to 6450 **	Radiometrica	Torba	BETA ANALYTIC (MIAMI)
187-S11	-2	17,95	AE58	8210	7420 to 7430 **	Radiometrica	Argilla organica	BETA ANALYTIC (MIAMI)
187-Mezzogor2	-2	2,10	AE58	4360	-	Radiometrica	Argilla organica	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor2	-2	6,65	AE58	4590	4855 to 4990 **	Radiometrica	Frammenti vegetali	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor2	-2	7,30	AE58	4930	5600 to 5730 ***	Radiometrica	Frammenti vegetali	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor2	-2	14,88	AE58	7640	8360 to 8420 ***	Radiometrica	Frammenti vegetali	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor2	-2	14,95	AE58	7650	8360 to 8430 ***	Radiometrica	Frammenti vegetali	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor2	-2	18,45	AE58	7720	8405 to 8545 ***	Radiometrica	Torba	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor3	-3	0,90	AE58	1620	1410 to 1560 ***	Radiometrica	Argilla organica	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor3	-3	1,90	AE58	3300	3465 to 3620 ***	Radiometrica	Frammenti vegetali	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor3	-3	5,85	AE58	4990	5650 to 5860 ***	Radiometrica	Torba	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor3	-3	6,40	AE58	5300	5950 to 6180 ***	Radiometrica	Torba	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor3	-3	9,25	AE58	6350	7195 to 7285 ***	Radiometrica	Frammenti vegetali	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor3	-3	14,70	AE58	7800	8425 to 8590 ***	Radiometrica	Frammenti vegetali	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Mezzogor3	-3	17,40	AE58	8250	9000 to 9370 ***	Radiometrica	Torba	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Massa	-2	2,25	AE58	1990	1870 to 2000 ***	Radiometrica	Frammenti vegetali	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Massa	-2	5,70	AE58	3540	3700 to 3900 ***	Radiometrica	Frammenti vegetali	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Massa	-2	6,25	AE58	3880	4150 to 4410 ***	Radiometrica	Torba	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Massa	-2	7,90	AE58	5070	5730 to 5920 ***	Radiometrica	Argilla organica	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Massa	-2	8,83	AE58	5680	6350 to 6620 ***	Radiometrica	Argilla organica	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Massa	-2	12,35	AE58	6200	6950 to 7200 ***	Radiometrica	Torba	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Massa	-2	48,55	AE57	> 40000	-	Radiometrica	Torba	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Corbola	0	7,50	AE58	6690	80	AMS	Conchiglie (Ostrea)	ROMA (LA SAPIENZA)
187-Corbola	0	8,00	AE58	7270	90	AMS	Conchiglie (Ostrea)	ROMA (LA SAPIENZA)

* Measured radiocarbon age / *** Data base Stuiver et al. 1998 / **** Data base Stuiver & Reimer 1993

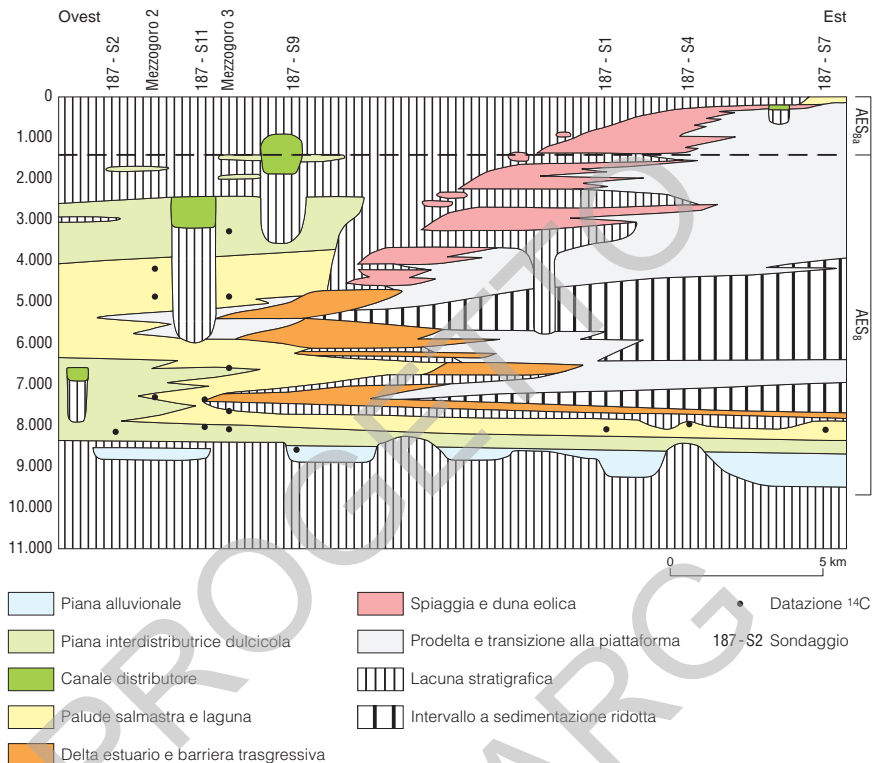


Fig. 26 - Schema cronostratigrafico del Subsistema di Ravenna che sintetizza le relazioni cronologiche ricostruite lungo il profilo geologico D-D', ma che può fornire un'immagine dell'assetto cronologico attraverso tutto il Foglio. Notare l'ampiezza dei periodi di lacuna non deposizionale o di sedimentazione relativamente condensata.

corpo di sabbie padane. Le sabbie ubiquitarie nel Foglio Codigoro sembrano essersi quindi accumulate fra 40.000 e 18.000 fa, durante l'acme dell'ultima glaciazione, probabilmente in almeno due fasi principali.

Una lacuna stratigrafica, di natura non deposizionale o leggermente erosiva, separa i depositi continentali del subsistema di Villa Verrucchio (AES₇) dalla parte basale del subsistema di Ravenna (AES₈). Nell'aria del Foglio, datazioni al ¹⁴C nella parte inferiore di AES₈ hanno fornito datazioni intorno ai 9.400-9.500 anni (tab. 1). Questa lacuna si estende quindi verosimilmente da circa 18.000 a 10.000 anni B.P., ma le informazioni sull'età del tetto di AES₇ sono ancora incomplete. Nel Foglio Ravenna, la lacuna alla base del subsistema di Ravenna (AES₈) è stata valutata di circa 15.000 anni nel sondaggio 223S17 (da 25.580 a 8.790, età ¹⁴C non calibrata, AMOROSI, 2002), ma all'interno di questo Foglio è stata ottenuta anche una datazione isolata di 17.500 anni circa, non calibrata

(*ibidem*). L'accumulo dell'unità trasgressiva olocenica fu assai rapido e sostanzialmente continuo, ma lacune erosive si svilupparono in corrispondenza della diacrona superficie di rimaneggiamento trasgressivo e della base d'alcuni canali distributori. La superficie di massima trasgressione è datata fra 6.000 e 5.000 anni. Verso mare, questa superficie è associata ad un intervallo condensato, sviluppatosi in condizioni sottomarine, d'ampiezza temporale crescente allontanandosi dall'antica linea di costa. Nell'attuale fascia costiera, la sedimentazione fu sostanzialmente continua, ma al largo l'intervallo condensato può estendersi da circa 10.000 anni fa al presente. L'evoluzione regressiva fu caratterizzata dalla crescita diacrona di diverse generazioni di lobi deltizi (fig. 27), separate da episodi di non deposizione ed erosione. Fasi di rapida progradazione di lobi deltizi, nell'area cartografata, corrispondono a lacune stratigrafiche, in aree adiacenti e viceversa. L'attuale superficie topografica è associata ad una lacuna non deposizionale d'estensione variabile, da oltre 3.500 a meno di 100 anni. Nelle aree (fig. 16) ove questa lacuna ha una durata inferiore ai 1500 anni, è stato cartografato l'affioramento dell'unità di Modena (AES_{8a}).

2. - STRATIGRAFIA SEQUENZIALE E FLUTTUAZIONI DEL LIVELLO MARINO

Come abbiamo visto (titolo IV), per migliorare la comprensione dell'evoluzione stratigrafica è utile suddividere i corpi sedimentari seguendo diversi criteri complementari, basati sulle caratteristiche litologico-paleoambientali, sull'uso d'unità a limiti inconformi, o sull'utilizzo di suddivisioni stratigrafico-sequenziali. Le sequenze deposizionali corrispondono a corpi limitati da superfici stratigrafiche legate alla caduta del livello marino relativo (VAIL, 1987). I limiti delle sequenze deposizionali presentano caratteri di discordanza e lacuna stratigrafica e passano lateralmente a superfici di continuità, in particolare nelle aree marine a sedimentazione più continua. I limiti di queste sequenze non coincidono in genere con quelli delle unità a limiti inconformi (UBSU), utilizzate in questa cartografia. Le sequenze deposizionali sono ulteriormente suddivisibili in sistemi di stazionamento basso del livello marino, sistemi trasgressivi e sistemi progradanti di stazionamento alto (VAIL, 1987; POSAMENTIER *et alii*, 1988; BOSELLINI *et alii*, 1989), non necessariamente sviluppati in ogni punto del bacino sedimentario. Durante il Quaternario, lo sviluppo delle sequenze deposizionali fu in gran parte controllato dalle vistose fluttuazioni glacioeustatiche del livello del mare, con ampiezze dell'ordine dei 100-140 m e frequenze intorno ai 100.000 anni. Come noto, il progressivo accumulo di grandi masse di ghiaccio continentale sottraeva ingenti masse d'acqua al ciclo idrologico e produceva perciò un accentuato abbassamento del livello eustatico dei mari. Il graduale accumulo glaciale si sviluppava in diverse decine di migliaia di anni, mentre i processi di fusione avvenivano in modo assai più veloce, anche a causa dell'instabilità dinamica di grandi corpi di ghiaccio continentale, venutesi a trovare in contatto

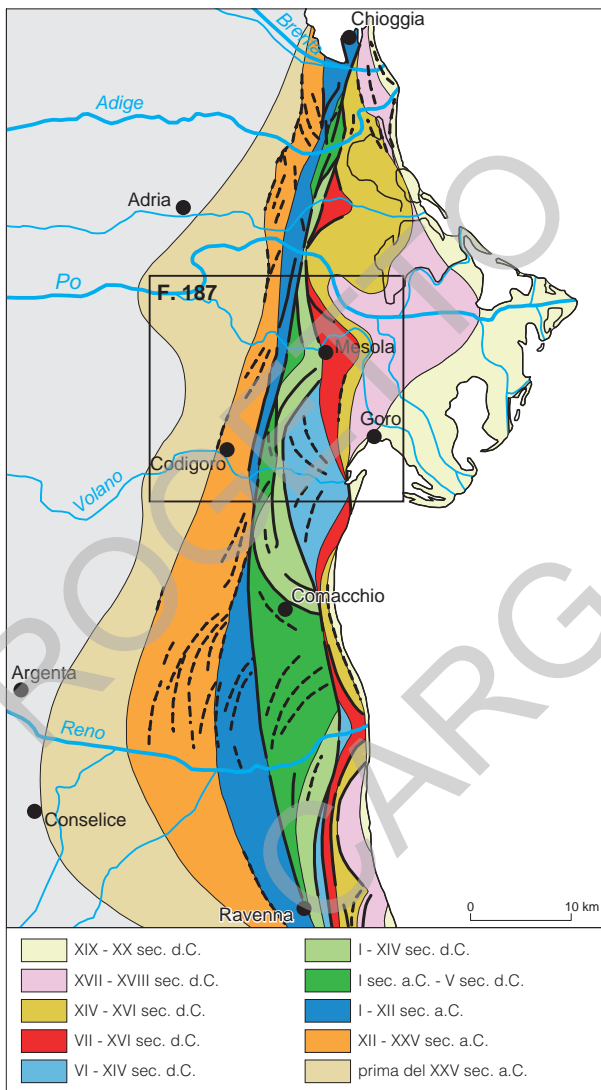


Fig. 27 - Le diverse generazione di lobi deltizi del Po, sviluppate attraverso tutto il periodo di stazionamento alto del livello del mare, a partire da circa 5.500 anni fa. In questo intervallo di tempo, gli apparati deltizi del Po sono migrati su quasi 90 km di latitudine, dalla regione di Ravenna a quella di Chioggia, progredendo lateralmente anche per oltre 25 km. Il confine occidentale dei corpi costieri sepolti rappresenta la posizione raggiunta approssimativamente dalle acque marine o comunque fortemente salmastre, durante la fase di massima trasgressione. Il fronte dei depositi del IX secolo a.C. corrisponde allo sviluppo di una linea di costa continua e quasi rettilinea, durante una fase di attività meteomarina particolarmente intensa. Segui lo sviluppo diacrono di ampi lobi deltizi asimmetrici, poi in parte erosi. Il delta attuale fu artificialmente indotto all'inizio del XVII.

con sottostanti masse d'acque marine. Questo rapido scioglimento provocava veloci episodi d'innalzamento del livello marino globale. La ciclicità climatico-eustatica asimmetrica ha generato limiti di sequenza con caratteristiche non ottimali per la cartografia geologica. Il deterioramento climatico e la caduta eustatica relativamente lenti non hanno infatti facilitato lo sviluppo di superfici di discontinuità nette e facilmente riconoscibili alla scala regionale in corpi continentali, anche a causa della rapida subsidenza, che continuava a creare spazio sedimentario. Al contrario, la velocità delle risalite eustatiche ha determinato lo sviluppo di superfici di inconformità ben marcate e quasi isocrone che registrano fasi di erosione, lacuna o condensazione (GALLOWAY, 1988). Per questo motivo, la Regione Emilia-Romagna ha privilegiato l'uso di queste ultime discontinuità per definire le UBSU della propria cartografia

L'inquadramento stratigrafico sequenziale (cap. IV.1) delle successioni indagate è basato sull'interpretazione genetica delle superfici stratigrafiche, delle geometrie deposizionali e delle associazioni di facies sedimentarie, analizzate nel loro contesto cronologico. I sedimenti olocenici indagati appartengono interamente alla porzione medio-superiore della sequenza deposizionale più recente (fig. 28). La parte inferiore di questa sequenza si estende in sedimenti più antichi, a comprendere la porzione sommitale dei depositi pleistocenici del subsistema di Villa Verucchio (AES₇). Nell'area considerata, la base della sequenza può corrispondere ad una superficie netta, che marca la sovrapposizione di sabbie di riempimento di canale fluviale di media pianura alluvionale fredda (par. V.1.1.) su depositi temperati di piana alluvionale, prevalentemente argillosi. Questa superficie corrisponde probabilmente all'abbassamento del livello marino eustatico, coevo allo sviluppo, nelle regioni alpine, dell'ultima espansione glaciale. Le sabbie di riempimento di canale fluviale di media pianura alluvionale fredda (par. V.1.1.), sviluppate nella porzione sommitale del subsistema di Villa Verucchio si sono accumulate durante fasi singlaciali di basso livello marino. Esse formano quindi il sistema di stazionamento basso dell'ultima sequenza, la cui porzione costiera è registrata nell'attuale Adriatico medio, a sud di Ancona (CORREGGIARI *et alii*, 1996b; TRINCARDI *et alii*, 1996). Il tetto netto e parzialmente erosivo di queste sabbie corrisponde alla base del subsistema di Ravenna (AES₈). Questo contatto disconforme registra una fase di riorganizzazione del reticolo fluviale padano, legata alla deglaciazione alpina, durante le fasi iniziali di risalita del livello eustatico. L'inconformità basale del subsistema di Ravenna e l'associata lacuna temporale registrano quindi importanti variazioni climatiche e del regime idrologico continentale, piuttosto che fluttuazioni eustatiche. Questa superficie separa il sistema di stazionamento basso da quello trasgressivo (fig. 28). L'alta velocità della risalita eustatica, combinata con i bassissimi gradienti topografici della piattaforma, ha determinato il rapido spostamento della linea di costa, impedendo l'accumulo di un significativo spessore di sedimenti, tanto che, nelle parti centrali dell'Adriatico, la sequenza più giovane può mancare del tutto ed i depositi continentali equivalenti al subsistema di Villa Verucchio formano direttamente l'attuale fondo marino (CORREGGIARI *et alii*, 1996a, 2002). Le fasi

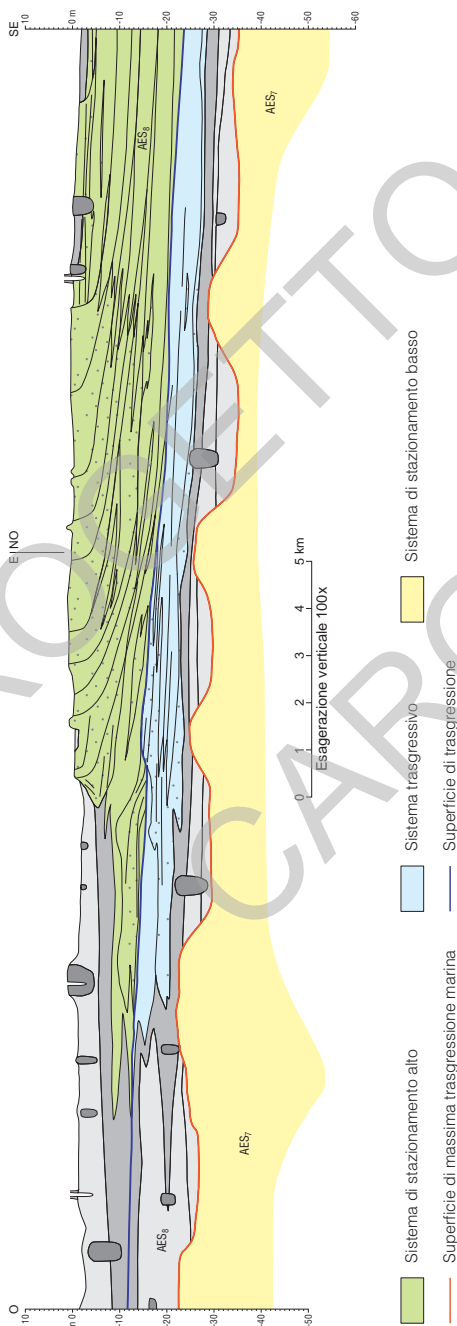


Fig. 28 - Rappresentazione bidimensionale delle relazioni geometriche fra i vari systems tracts della sequenza deposizionale più recente, lungo il profilo D-D', nella parte centro meridionale del Foglio (fig. 15 e Foglio Allegato). Il limite inferiore della sequenza, sviluppata all'interno del Sub-sistema di Villa Verucchio (AES₇), è stato raggiunto da un ridotto numero di prove. Il sistema di stazionamento basso è formato dallo spesso corpo di sabbie di riempimento di canali fluviali in ambienti di media pianura alluvionale fredda. Una superficie debolmente erosiva lo separa dal sistema trasgressivo retrogradante, limitato superiormente dalla superficie di massima trasgressione, a cui segue il sistema regressivo progradante, il solo ad affiorare, in parte, nell'area cartografata.

tardive della trasgressione, sono registrate, nell'area cartografata, da un complesso retrogradante di depositi di piana alluvionale (par. V.1.2.) che passano superiormente e lateralmente a fanghi di palude salmastra e laguna (par. V.3.4.) e quindi a sabbie di barriera trasgressiva e delta-estuario (par. V.3.3.). Lo spessore del sistema trasgressivo, dopo la compattazione, supera i 20 m, nella parte occidentale dell'area cartografata (es. Codigoro, Papozze), ma si riduce a pochi metri, nella parte orientale dell'area studiata (Goro) e nell'adiacente Mare Adriatico. La superficie di massima trasgressione è ben definita attraverso l'area indagata, ma diventa difficilmente riconoscibile nelle contigue aree continentali. Nella parte centrale del Foglio, essa è sviluppata all'interno dei grandi corpi di sabbie di delta-estuario, mentre verso mare corrisponde ad un orizzonte condensato di crescente estensione cronologica (cf. cap. VII.1.). Il sistema di stazionamento alto si è formato durante un periodo di relativa stabilità eustatica. Dopo un'ultima fase di sedimentazione di spessi corpi di sabbie delta-estuario (par. V.3.3.), esso registra la giustapposizione laterale di numerose generazioni di lobi deltizi progradanti, separate da superfici di non deposizione e retrogradazione, come quella, d'estensione regionale, che marca la base dell'unità di Modena (AES_{8a}). Lo spessore del sistema di stazionamento alto varia da 8-9 m, nelle porzioni occidentali dell'area rilevata, ad oltre 30 m sotto il delta attuale, e si riduce poi rapidamente a zero, muovendosi verso il centro del Mare Adriatico (CORREGGIARI *et alii*, 1996a, 2002; CARTA GEOLOGICA DEI MARI D'ITALIA 1:250.000, NL 33-10 Ravenna, 2001). L'assetto stratigrafico dell'area cartografata si correla bene sia con quello dei fogli emiliano-romagnoli, rilevati più a sud (AMOROSI, 2002; CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000 Foglio 223-Ravenna, 2002; Foglio 256-Rimini, 2005), sia con l'architettura deposizionale delle adiacenti successioni a mare (TRINCARDI *et alii*, 1994; CORREGGIARI *et alii*, 1996a, 2002). In particolare vi è un'ottima corrispondenza con l'architettura stratigrafico-sequenziale descritta nel Foglio Ravenna (AMOROSI, 2002), in cui però il sistema di stazionamento basso è rappresentato in generale da sedimenti di pianura alluvionale più fini. Il Foglio Codigoro si caratterizza inoltre per il grande sviluppo dei corpi di delta estuario nella parte sommitale del sistema trasgressivo e nella porzione iniziale di quello di stazionamento alto.

3. - EVOLUZIONE PALEOAMBIENTALE

Questo paragrafo sintetizza l'evoluzione ambientale dell'area deltizia padana, dall'ultima glaciazione, attraverso la trasgressione marina e la regressione deposizionale, fino all'attuale quadro ambientale, dominato dall'alterazione antropica. La comprensione dell'area cartografata richiede qualche considerazione regionale, dato che i sistemi costieri e fluviali sono fortemente interconnessi alla scala del bacino sedimentario. L'evoluzione ambientale è stata fortemente influenzata dalle variazioni climatiche ed eustatiche e registra l'interazione fra fattori locali ed "autociclici" ed eventi sovraregionali o globali. Il controllo eustatico fu

particolarmente importante durante l'evoluzione trasgressiva, mentre l'influenza delle fluttuazioni climatiche fu significativa anche in tempi protostorici e storici (STEFANI & VINCENZI, 2005).

3.1. - SEDIMENTAZIONE CONTINENTALE SINGLACIALE

Durante l'ultima glaciazione, il livello eustatico era più basso dell'attuale di circa 120 m ed il clima padano era freddo e generalmente secco (BERTOLDI, 1996; CATTANI, 1990; PAGANELLI, 1996). Il sottosuolo della fascia centrale della Pianura Padana mostra però grandi volumi di sabbie e ghiaie, accumulati in intervalli di tempo relativamente brevi. Il quadro stratigrafico testimonia grossi sistemi fluviali, con portate di piena molto elevate, in grado di trasportare ingenti quantità di sedimento grossolano. Questo contesto deposizionale può suggerire la rapida alternanza di fasi climatiche secche ed altre assai piovose e nevose. Piene eccezionali potevano essere legate all'instabilità dei sistemi morenici e dei laghi associati ai fronti glaciali. La notevole disponibilità di sedimento per i sistemi fluviali era anche legata alla scarsa copertura vegetazionale, la mancanza di laghi prealpini e l'affacciarsi d'ampi fronti morenici sulla pianura. L'area esaminata si trovava a circa 300 km dalle foci del Po ed a circa 100 m sopra al livello del mare. (CORREGGIARI *et alii*, 1996b; CATTANEO & TRINCARDI, 1999). In tutta l'area cartografata, si accumulavano sabbie fluviali grossolane, in ambienti di media pianura alluvionale. La sedimentazione di queste sabbie terminò probabilmente intorno a 18.000 anni fa. Questo corpo sabbioso sembra registrare due fasi d'accumulo, separate da un temporaneo ritorno a condizioni relativamente più umide e temperate, registrate da una superficie di discontinuità stratigrafica e da un livello d'argille organiche, conosciuto anche a monte dell'area del Foglio (Ferrara, Sette Polsini nei pressi di Bondeno).

3.2. - DALLA DEGLACIAZIONE ALLA MASSIMA TRASGRESSIONE

Non deposizione o debole erosione subaerea post-glaciale

Fra 18.000 e 16.000 anni fa, si sviluppò una rapida fase di riscaldamento climatico e deglaciazione dell'arco alpino (OROMBELLI & RAVAZZI, 1996). Circa 15.000 anni fa, i principali laghi prealpini si erano già sviluppati, con dimensioni maggiori delle attuali (BINI & ZUCCOLI, 2004), ed iniziavano a catturare grandi volumi di sedimento. L'erosione delle aree sorgente era ridotta dalla crescita di una fitta copertura di vegetazione, che culminò durante l'intervallo paleoclimatico del Bölling (fig. 12). Condizioni climatiche più umide aumentavano inoltre il deflusso idrico e quindi il potere erosivo dei fiumi. Tutti questi fattori favorirono fenomeni d'erosione fluviale, incisione apicale di conoidi pedemontane (FONTANA *et alii*, 2004) e formazione di terrazzi continentali (AMOROSI *et alii*, 1996). L'area indagata rappresentava una regione di transito per i sedimenti che alimentavano

la crescita del Delta del Po, attiva ancora in aree assai più meridionali (CATTANEO & TRINCARDI, 1999). Durante la deglaciazione e le fasi iniziali di risalita eustatica, nell'area analizzata si sviluppò quindi un intervallo di non deposizione e limitata erosione fluviale, che marca il tetto del subsistema di Villa Verrucchio (AES₇). A nord e sud dell'area cartografata, questa superficie sembra correlarsi con orizzonti pedogenizzati, sviluppati al tetto di depositi fini (AMOROSI *et alii*, 1999a; BONDESAN & MENEGHEL Ed.s, 2004). Paleosuoli maturi sono, al contrario, assenti nella regione del Foglio Codigoro, a causa sia del frequente rimaneggiamento fluviale, sia dell'elevata permeabilità e relativa stabilità mineralogica delle sabbie, che rallentavano le reazioni pedogenetiche.

Nel frattempo, il mare avanzò, con impulsi successivi, sull'Adriatico Centro-Settentrionale, giungendo nei pressi dell'area indagata, a causa di rapidi episodi d'innalzamento eustatico, legati all'instabilità delle calotte glaciali. Fasi di veloce trasgressione si alternavano ad intervalli di relativa stabilità della linea di costa (TRINCARDI *et alii*, 1994; CORREGGIARI *et alii*, 1996b; STEFANI *et alii*, 2002), mentre erano registrate ripetute fluttuazioni climatiche (ASIOLI *et alii*, 1999, 2001).

Sedimentazione di piana costiera trasgressiva

Circa 11.000 anni fa, un'altra pulsazione trasgressiva portò ambienti marini a svilupparsi subito ad oriente dell'attuale area deltizia, dove la temporanea stabilizzazione del livello del mare, durante la fase fredda del Drias III (fig. 12), è testimoniata da sabbie deltizie depositate in ambienti sottomarini, sotto l'azione delle correnti di marea uscente (CORREGGIARI *et alii*, 1996a, 2002; TRINCARDI & ARGNANI Ed.s., 2001). Questi corpi sabbiosi sono stati recentemente sfruttati, a cura della Regione Emilia-Romagna, per opere di ripascimento costiero. Nell'area cartografata, l'accumulo di limi e sabbie fluviali, alla base dell'unità di Ravenna (AES₈), iniziò verosimilmente durante il Preboreale (fig. 12), circa 10.000-9.000 anni fa. Il clima era relativamente secco e le pinete erano comuni, anche nella Pianura Padana, mentre i ghiacciai alpini si erano già ritirati ad altezze analoghe a quelle attuali (ACCORSI *et alii*, 1996; LOWE *et alii*, 1996). Un ulteriore innalzamento del livello eustatico innescò quindi un'attiva sedimentazione di piana costiera, attraverso buona parte della regione cartografata. Si svilupparono ampie paludi e laghi costieri ducicoli, che evolvevano rapidamente a condizioni salmastre (BONDESAN *et alii*, 1999). In questa fase, incominciarono a deporsi estesi corpi d'argille organiche, ben note anche nei fogli limitrofi (205-Comacchio, 223-Ravenna, 240/241-Forlì/Cervia, ecc.). Il veloce aumento del livello marino fece aggradare gli alvei fluviali, rendendoli sempre più pensili ed innescando un'accennata instabilità. Molti affluenti del Po furono quindi disconnessi dall'asse di drenaggio principale, generando delta interni che, intrappolando sedimenti in aree continentali, riducevano ulteriormente l'apporto sedimentario ai sistemi costieri.

Sistemi tardo-trasgressivi di delta-estuario

Nell'area costiera indagata, la trasgressione delle acque marine si sviluppò durante il Boreale (fig. 12), testimoniata, in una prima fase di rapido avanzamento del mare, solo da un sottile livello di sabbie bioclastiche con tempestiti

addensate. Durante l'Atlantico, si sviluppò la fase climatica più calda delle ultime decine di migliaia d'anni (ACCORSI *et alii*, 1996) ed il fronte dei ghiacciai alpini si ritirò alle quote più elevate (TINNER & AMMANN, 2001). L'estensione della copertura vegetazionale ridusse ulteriormente l'azione erosiva sui rilievi e quindi l'apporto sedimentario nelle aree costiere. Nel frattempo, la velocità d'aumento del livello eustatico diminuì ed il reticolo idrografico della bassa pianura fu in grado di riorganizzarsi e interconnettersi. Nell'area cartografata, si svilupparono ampie baie sabbiose di delta-estuario. La baia più ampia era sviluppata ad ovest dell'Isola d'Ariano ed a sud di Adria, una seconda era sviluppata ad occidente di Codigoro (fig. 31).

La massima trasgressione

La massima trasgressione si sviluppò probabilmente fra 6.000 e 5.500 anni fa, all'inizio del Subboreale (fig. 12), quando l'aumento del livello marino relativo e il tasso di sedimentazione si compensavano reciprocamente. All'epoca, mancava spesso una linea di costa ad alta energia e ambienti con acque francamente marine sfumavano in estese lagune e paludi salmastre, che si estendevano ampiamente verso terra, ben ad occidente del limite del Foglio. Per un certo tempo, la tendenza evolutiva rimase incerta e la localizzata progradazione di foci deltizie coesisteva con la perdurante trasgressione verso terra di baie marine.

3.3. - INIZIO DELLA REGRESSIONE E PROGRADAZIONE DI VARIE GENERAZIONI DI LOBI DELTIZI

Rapida sedimentazione in sistemi di delta-estuario

Dopo la massima trasgressione, l'innalzamento del mare rallentò ulteriormente. La componente eustatica era ormai nettamente subordinata e l'aumento del livello marino relativo era ormai dominato dalla subsidenza locale. Il clima era ancora tendenzialmente caldo ed umido e l'apporto sedimentario alle foci fluviali era in aumento, perché i sedimenti erano trattenuti in misura minore dagli ambienti continentali, a causa della ridotta aggradazione fluviale. L'apporto di sedimento prese perciò il sopravvento sulla creazione di spazio sedimentario e, in tempi diversi da zona a zona, iniziò la progradazione costiera. In una fase iniziale dello stazionamento alto, rimanevano attivi i sistemi di delta-estuario, in cui si depositavano rapidamente grandi volumi di sabbie, senza che si sviluppassero ancora veri e propri cordoni costieri (fig. 29A). La morfologia delle baie rimaneva anzi abbastanza piatta, con corpi sedimentari verosimilmente allungati lungo il deflusso. Nell'area cartografata, è possibile che il ramo meridionale, ad ovest di Codigoro, fosse precocemente chiuso dall'inizio della deriva litoranea di sabbia, mentre permaneva attivo il più grande sistema settentrionale.

Progradazione delle bocche deltizie e chiusura delle baie costiere

La progradazione delle foci deltizie divenne quindi più decisa, sia a nord che a sud dell'area rilevata, rispettivamente a meridione di Adria e nella regione di Comacchio. La deriva litoranea riforniva la crescita di scanni ed isole barriera, che chiusero progressivamente le precedenti baie di delta-estuario, riducendo

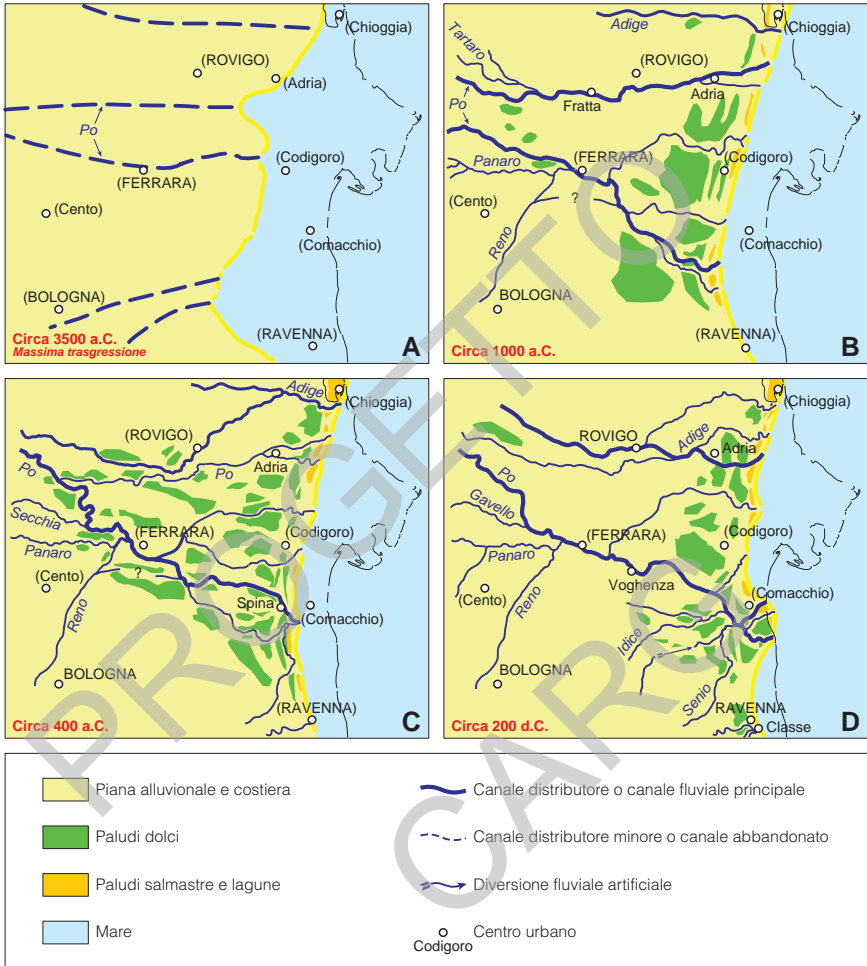


Fig. 29 - Ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica dei canali distributori e dei lobi deltici del Po e di fiumi veneti ed appenninici, a partire dalla massima trasgressione fino all'età romana imperiale. La ricostruzione più antica è in buona parte ipotetica, dato che i sedimenti di quest'epoca sono ovunque sepolti. Notare i grandi spostamenti laterali subiti dalle foci deltizie e la vicinanza, in epoca romana, della foce dell'Adige all'area cartografata, testimoniata anche da dati petrografici (Appendice 3).

gradualmente i loro scambi idrici con il mare aperto. La crescita laterale di questi corpi sabbiosi fece sì che ampie aree potessero passare da condizioni marine ad ambienti lagunari, di paludi salmastre e di piana interdistributrice dulcicola, senza che avvenisse la progradazione frontale d'alcuna linea di costa ad alta energia, come ad esempio riconoscibile nei dintorni di Codigoro o di Papozze.

Sviluppo di una linea di costa continua durante una fase d'intensa attività meteomarina

Durante il Subboreale, fra XIII e X secolo a.C., il clima era divenuto assai più freddo e ventoso che nelle fasi precedenti. I sistemi di scanno ed isola barriera si unirono fra loro, coalescendo in un sistema continuo di spiagge e cordoni litorali ad alta energia (fig. 29B), con un andamento planimetrico quasi rettilineo, che si può seguire da Riccione alla Laguna Veneta (fig. 27). Questa evoluzione fu favorita sia dal riempimento dello spazio sedimentario ereditato dalle fasi tardotrasgressive, sia da un contesto meteomarina particolarmente attivo, con forti venti, sia di bora che di scirocco, e da un accentuato moto ondoso. L'accelerazione del trasporto lungo costa ridistribuiva ampiamente i sedimenti sabbiosi lungo la fascia costiera ed impediva la protrusione di lobi deltizi. L'azione delle onde da tempesta giungeva a profondità particolarmente elevate, forse una dozzina di metri, un valore molto elevato per un mare semichiuso con moto ondoso ridotto come quello adriatico, con una ridotta area di *fetch*. I sedimenti di provenienza appenninica erano trasportati lungo costa fino ad aree molto settentrionali, raggiungendo certamente Ravenna e probabilmente anche l'area del Foglio Comacchio, senza giungere però nell'area cartografata. Le condizioni climatiche favorirono anche lo sviluppo di un imponente sistema di dune eoliche, che tagliano diagonalmente tutto il Foglio, come ancora testimoniato da notevoli emergenze geomorfologiche (Dune di Italba-Massenzatica e di San Basilio, par. VIII.3.3.).

Progradazione asimmetrica di diverse generazioni di lobi deltizi

Durante il VII-VI secolo a.C., si sviluppò un clima più mite (ACCORSI *et alii*, 1996; VEGGIANI, 1994), associato ad una forte diminuzione dell'attività eolica. La riduzione dell'azione erosiva delle mareggiate e del trasporto solido lungo costa permise la crescita di varie generazioni di lobi deltizi cuspidati. La progradazione dei lobi fu sempre asimmetrica, a causa del trasporto lungo costa in direzione settentrionale, legato ai frequenti venti di Scirocco, mentre il fango in sospensione era trasportato prevalentemente verso sud, per il moto antiorario delle correnti dell'Adriatico Settentrionale, influenzato dall'accelerazione di Coriolis. Questi fattori facevano sì che l'ala meridionale di ciascun delta progradasse più rapidamente di quella settentrionale. Fasi di rapida progradazione si alternavano, nel tempo e nello spazio, ad altre d'abbandono e ritiro. L'erosione dei lobi abbandonati produceva importanti quantità di sedimenti granulari che migravano verso nord, a rifornire l'ala meridionale di delta in crescita, accrescendo l'asimmetria dei sistemi deltizi. Vi era perciò un continuo riciclo di materiali fra generazioni diverse di delta. Questo quadro evolutivo si mantenne attivo fino a tempi recenti.

All'inizio di questa fase, importanti canali distributori passavano all'interno dell'area cartografata e sono ancora in parte riconoscibili nella porzione occidentale del Foglio. I canali distributori meridionali del Po presero poi progressivamente il sopravvento e circa 2.500 anni fa le foci principali si erano spostate all'interno del Foglio 205-Comacchio, nei pressi di Spina.

3.4. - L'EVOLUZIONE AMBIENTALE DALL'EPOCA ROMANA AL 1500

Stabilità fluviale ed ampia progradazione deltizia nelle aree meridionali

Fra VI secolo a.C. ed il V secolo d.C., il reticolo fluviale rimase relativamente stabile, pur subendo continue modifiche di dettaglio (fig. 29C-D). I canali distributori principali del Po continuavano ad essere attivi a sud dell'area cartografata, ove cresceva il grande lobo dell'Eridano (ALFIERI, 1967). All'interno del Foglio Codigoro, progradò però un delta cuspidato di una certa importanza. Durante l'Impero Romano, il clima era tendenzialmente temperato caldo e l'azione antropica iniziò ad esercitare un significativo impatto sulla dinamica sedimentaria. L'erosione continentale e l'apporto sedimentario ai sistemi deltizi erano incrementati dal disboscamento, dalla messa a cultura d'ampie aree di collina e pianura centuriata e dalla parziale arginatura e regimentazione artificiale dei corsi d'acqua, in più punti artificialmente rettificati, compreso il canale distributore principale del Po, come visibile ad esempio sul ramo dell'Eridano nei pressi del Verginese. L'area cartografata era in buona parte emersa ed era sede di un insediamento agricolo sparso. Lungo il limite occidentale del grande allineamento dunare formatosi intorno al X secolo a.C., correva, a partire dal II secolo a.C., un tratto della Via Popilia, che univa *Ariminum* (Rimini) con *Aquileia*. Di particolare rilevanza, per l'evoluzione sedimentaria del territorio cartografato, fu lo scavo della Fossa Augusta, un canale per la navigazione interna, che collegava il porto di *Classe* con *Hatria* (Adria) ed *Altinum* (Altino). All'interno del Foglio Codigoro, questo intervento unì fra loro tratti di precedenti canali distributori indipendenti, generando il canale del Gaurus, esteso fra Codigoro ed Ariano, con un tracciato oggi seguito dalla Strada 495, e risaliva poi probabilmente il tratto iniziale dell'attuale Po di Goro. Questo intervento antropico ha generato quindi un canale ad andamento quasi meridiano, nettamente distinto dalle naturali linee di deflusso dei canali distributori.

Raffreddamento climatico e la riorganizzazione dei canali distributori alla base di AES_{8a}

Fra il V e VII secolo d.C., la dinamica deposizionale del delta subì notevoli modifiche, legate sia a modificazioni antropiche che a cambiamenti climatici. Questo cambiamento marca la base dell'unità di Modena (AES_{8a}). L'abbandono delle infrastrutture territoriali romane e la riduzione degli insediamenti urbani riportò buona parte del bacino sedimentario in condizioni quasi naturali, mentre le condizioni climatiche divennero più fredde ed umide (VEGGIANI, 1994). L'avvento di diffuse rotte ed inondazioni è testimoniato anche da fonti storiografiche contemporanee, per altro ricche d'aspetti agiografici e miracolistici (*Historia Langobardorum* di Paulus Diaconus, VIII secolo d.C.; edizione a cura di CRIVELLUCCI, 1914). Nella pianura alluvionale, la superficie d'occupazione romana fu spesso sepolta da vari metri di sedimento (CREMASCHI & GASPERI, 1989), mentre l'accelerata deposizione fluviale produceva una rapida aggradazione degli alvei (GIORGI, 2000) e si diffondevano stagni dolci, anche all'interno dell'area cartografata. Il canale principale del Po migrò in una posizione più settentrionale, diver-

gendo nei due canali distributori del Primario e del Volano, nei pressi del sito ove sorgerà presto Ferrara (fig. 30A). Il canale distributore principale era quello del Volano che attraversava la parte meridionale dell'area cartografata, alimentando la rapida progradazione di un lobo deltizio, con tassi di sedimentazione elevati. In circa 500 anni, questo lobo avanzò per più di 8 km, fino ad oltre l'attuale linea di costa, su fondali profondi fino a 20 m. Sul cordone sabbioso che marca la discordanza basale di questo lobo sorse, in epoca altomedievale, l'Abbazia

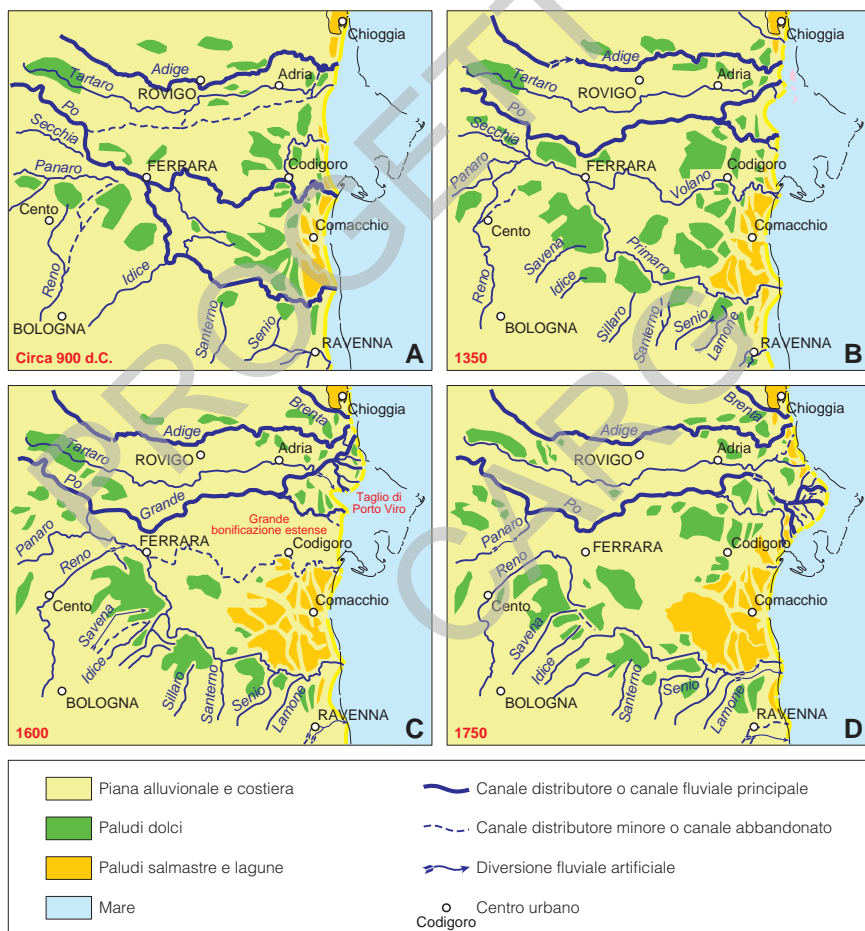


Fig. 30 - Evoluzione del reticolo idrografico della fascia costiera fra Romagna e Veneto, attraverso gli ultimi 1200 anni. Questa evoluzione è stata soggetta ad un crescente impatto delle azioni umane, che determinò la nascita dell'attuale apparato deltizio. L'accuratezza della ricostruzione aumenta verso le fasi più recenti.

di Pomposa. Un altro apparato deltizio d'importanza più ridotta progrediva in corrispondenza dell'attuale foce del Reno (Po di Primaro). In questa fase, nelle piane deltizie si svilupparono, forse per la prima volta, significative lagune e canali tidali, ben visibili anche nell'area cartografata.

Riscaldamento climatico e crescente alterazione antropica

Fra il XII e XIII secolo, a valle di Polesella-Ficarolo, il Po migrò ancora più a nord, aprendosi il corso attuale, fin entro la regione cartografata (fig. 30B). Una foce importante si sviluppò a settentrione dell'area del Foglio, un altro ramo catturò un precedente canale distributore, formando l'attuale ramo del Po di Goro, che si biforcava nei pressi di Mesola (fig. 31). I due canali distributori alimentavano la rapida progredazione del lobo dell'Abate, che s'interdigitava verso sud con quello del Volano, su cui prese rapidamente il sopravvento. Durante questa fase tardomedievale, il clima doveva essere più caldo del precedente, mentre ritornavano attivi gli interventi antropici, con intensità crescente. Nell'area cartografata, varie paludi dolci furono temporaneamente bonificate per gravità dai monaci pomposiani, come testimoniato da fonti storiche e dal reticolo scolante ben visibile in foto aerea. Ben più importanti furono gli interventi patrocinati dalla Casa d'Este. Nel 1530, l'infelice tentativo di fare scolare a mare le acque del Reno attraverso Volano e Primaro risultò nel rapido abbandono di questi due canali distributori, che furono poi lentamente colmati da sedimenti fini. Nella seconda metà del secolo XVI, buona parte dell'area cartografata fu interessata da un ambizioso programma di bonifica per gravità (fig. 30C). Le paludi dolci che si estendevano nella parte centro-occidentale del Foglio e ad occidente di esso furono prosciugate attraverso lo scavo di centinaia di chilometri di canali, che convergevano in quattro collettori principali, che a loro volta scolavano a mare attraverso due chiaviche a porte vinciane (par. VIII.3.5.). I due rami settentrionali confluivano nel canale distributore dell'Abate, che era stato artificialmente sconnesso dal Po di Goro, all'altezza dell'erigendo Castello della Mesola; i due canali meridionali confluivano nell'antica foce del Volano. Le grandiose opere, realizzate in buona parte fra il 1564 e il 1572, ebbero inizialmente un buon successo, permettendo la messa a cultura circa 400 km² di territorio. L'evoluzione geologica le condannò però presto ad una rapida decadenza. Il fortissimo costipamento delle argille organiche e delle torbe di piana interdistributrice, prodotto da disseccamento e degradazione ossidativa, indusse una rapida subsidenza, particolarmente attiva nella porzione occidentale del Foglio. La subsidenza naturale era del resto significativa anche in aree non bonificate (BRUNETTI *et alii*, 1998). I corpi di sabbie litorali assai meno compattabili e in parte già in precedenza sopraelevate vennero quindi a formare un corpo elevato, ostacolando fortemente il deflusso. Il lobo deltizio dell'Abate, non più rifornito di sedimenti, entrò rapidamente in erosione, mentre le acque salse risalivano i canali, la cui pendenza era stata invertita dalla compattazione differenziale, allagando ampie aree da poco messe a cultura. Nel frattempo, continuava, a nord della zona cartografata, la rapida crescita del lobo deltizio del Po di Tramontana e di Venezia, la cui crescita preoccupava la Serenissima, perché favoriva l'interramento deposizio-

nale della laguna ed in particolare della Bocca di Chioggia. Questa evoluzione deposizionale cinquecentesca fu probabilmente accompagnata da un inizio di raffreddamento climatico.

3.5. - LA CRESCITA DEL DELTA MODERNO E L'ATTUALE CONTESTO AMBIENTALE

Rapida progradazione del lobo deltizio moderno

All'inizio del XVII secolo, gli interventi antropici modificarono in modo ancor più radicale la dinamica sedimentaria, inducendo la rapidissima crescita del delta attuale (fig. 30D), che interessò anche la porzione nord-orientale dell'area rilevata. Il vuoto di potere creato dal passaggio del territorio Ferrarese allo Stato della Chiesa, nel 1598, permise alla Repubblica di Venezia di attuare importanti opere idrauliche, al fine di ridurre l'apporto sedimentario alla laguna veneta, danneggiare le opere idrauliche a sud del confine ed impedire l'eventuale sviluppo di una zona portuale a Mesola. Fra 1599 e 1604, fu rapidamente scavato un grande canale (Taglio di Porto Viro) ed innalzate robuste dighe per forzare il Po a sboccare nell'antica baia interdistributrice di Goro, nella località oggi detta appunto Taglio di Po, immediatamente a nord del Foglio. La progradazione della parte sud di questo nuovo apparato è testimoniata dalla successione di linee di costa presenti nel Foglio Codigoro. Questo lobo appare assai diverso da ogni precedente apparato deltizio. Esso progradò con estrema rapidità, divenendo fortemente aggettante, mentre il rimaneggiamento ondoso era molto basso e non riusciva quindi ad accumularsi alcun significativo deposito di spiaggia o duna eolica. Il rapporto fra sabbia e fango era perciò particolarmente basso. Tassi di sedimentazione molto elevati erano associati alla rapida migrazione di canali distributori molto instabili, che controllavano una complessa architettura deposizionale (CORREGGIARI *et alii*, 2005a, 2005b). Durante i primi 120 anni di crescita, i canali distributori avanzarono di oltre 20 km, con una progradazione anche di parecchie centinaia di metri in un singolo intervallo autunnale-invernale, come testimoniato da fonti scritte e cartografiche (BONDESAN, 1990; GABBIANELLI *et alii*, 2000). La progradazione era tanto rapida da impedire l'espulsione dei fluidi e quindi la consolidazione dei fanghi del nuovo lobo. Una significativa subsidenza iniziò perciò con ritardo, all'inizio del XVIII secolo, inducendo una parziale stabilizzazione della linea di costa, documentata da una fascia di sabbie di spiaggia, visibili nella carta, a sud-ovest di Goro. La veloce progradazione fu favorita dalla progressiva arginatura del Po e dei suoi affluenti, che inibiva la sedimentazione in aree continentali, dalla deforestazione antropica dei rilievi e da una variazione climatica in senso freddo umido, la così detta "piccola età glaciale". Questa evoluzione paleoclimatica è registrata anche nella pianura romagnola (VEGGIANI, 1984) e nella regione alpina, ove i ghiacciai raggiunsero la posizione più avanzata di tutto l'Olocene (BINI & ZUCCOLI, 2004).

La progradazione si mantenne attiva fino alla prima metà del XX secolo, generando una configurazione digitata di "*river dominated delta*" (GALLOWAY,

1975). Questa terminologia è però fuorviante, perché essa registra una progressiva riduzione del rapporto fra spazio sedimentario e disponibilità di sedimento, in altre parole, una progressiva crisi del sistema sedimentario fluviale.

Durante l'imponente sviluppo del delta moderno, nella parte meridionale del Foglio, acque salmastre invasero precedenti aree dulcicole di piana interdistributrice, anche se per un'estensione minore di quella visibile nel Foglio Comacchio. Nell'area cartografata, le acque salmastre conquistarono la quasi totalità degli ambienti alla sommità del lobo di Volano (Valle Giralda, Cannevié e Taglio della Falce a nord, Valle Bertuzzi a sud), raggiungendo aree ad occidente della Strada Romea. Questa tendenza fu esaltata dall'uomo, per favorire la pesca delle anguille nelle valli salmastre. Le ampie paludi che nella porzione centro-occidentale del Foglio avevano riconquistato gran parte delle aree bonificate nel '500 rimanevano invece in condizioni dolci, grazie anche ai consistenti apporti idrici dei canali distributori attivi del Po.

L'impatto antropico sull'attuale instabile contesto territoriale

Nel corso del XIX e XX secolo, lo sviluppo economico-industriale aumentò l'impatto antropico sugli equilibri ambientali dell'area indagata. Tra 1872 e 1911, una serie di complessi interventi di bonifica portarono al prosciugamento di tutte le aree comprese fra Po Grande, Volano e il limite occidentale d'affioramento delle sabbie litorali, grazie alla costruzione dei grandiosi impianti idrovori di Codigoro (par. VIII.3.5.). Questi interventi ribonificarono l'area già temporaneamente prosciugata nel XVI secolo e causarono un'ulteriore, accentuata fase di costipamento e subsidenza. La regione bonificata si trova ora, quasi interamente, ben sotto il livello del mare, con abbassamenti complessivi anche di 5-6 m, in circa 400 anni. Contemporaneamente, fu riscavato l'alveo del Volano, il cui tratto terminale funge ora da collettore per le acque sollevate dagli Impianti di Codigoro. Nei decenni successivi, fu prosciugata gran parte delle aree umide dell'Isola d'Ariano e del delta attuale, mentre nel secondo dopoguerra furono bonificate le aree salmastre ad est della Strada Romea (Valle Bertuzzi e, ultimo, il Taglio della Falce). Nel frattempo, il tratto finale dei canali distributori del Po fu confinato da strette arginature, costantemente innalzate, fino ad epoca recentissima. Nella seconda metà del '900, il grande collettore storico di bonifica del Canal Bianco non fu più in grado di fluire per gravità al mare, fu perciò costruito l'impianto idrovoero della Romanina, prospiciente la Sacca di Goro. All'interno della carta, solo le aree golenali ed una ristretta fascia costiera, al Lido di Volano, possono oggi scolare a mare per gravità. A partire dagli anni trenta, le acque marine tornarono ad inondare buona parte della Sacca di Goro. Nel secondo dopoguerra, la drammatica diminuzione degli apporti solidi fluviali e l'accentuarsi della subsidenza, legato all'emungimento idrico e di acque metanifere, indussero forti fenomeni erosivi in quasi tutto il litorale veneto ed emiliano-romagnolo. Solo il costante ed oneroso intervento umano impedisce oggi una rapida trasgressione marina su gran parte dell'area analizzata (titolo VIII).

VIII - ASPETTI GEOLOGICO-APPLICATIVI E GEOTOPI

Una discussione approfondita sugli aspetti geologico-applicativi ed ambiental-naturalistici dell'area indagata esula dallo scopo di queste note, ma, di seguito, sono brevemente affrontati alcuni aspetti rilevanti per la gestione ambientale dell'area, come previsto dalle raccomandazioni APAT. Queste pagine forniscono un'introduzione generale qualitativa ai problemi ambientali dell'area indagata e non intendono in alcun modo sostituire indagini *ad hoc*, indispensabili per la pianificazione territoriale e la risoluzione di specifici problemi geotecnici ed idrogeologici.

1. - ATTIVITÀ ESTRATTIVE

Nell'ultimo secolo, l'area esaminata è stata interessata dalla diffusa estrazione di sabbia per l'edilizia e di argilla per laterizi, oltre che dall'intenso pompaggio di acque metanifere. La documentazione di queste attività estrattive, avvenute in gran parte sotto uno scarso controllo pubblico, è in genere assai limitata e di difficile reperibilità. La modesta estrazione d'argille da depositi olocenici di piana interdistributrice del subsistema di Ravenna è cessata da tempo.

Sabbie di duna eolica, cordone litorale e spiaggia (par. V.3.1., V.3.2.), appartenenti al subsistema di Ravenna, affiorano ampiamente nella parte centrale del Foglio, ove sono state oggetto d'intensa attività estrattiva, particolarmente durante l'ultimo cinquantennio. Si tratta di sabbie arcsoliche medio-fini, dominate dagli apporti del Fiume Po (vedi l'Appendice sulle analisi petrografiche). In passato, sono state attive cave di sabbie recenti nell'area golenale del Po, come nei pressi della fornace abbandonata di Serravalle Ferrarese, a cui fornivano lo scheletro granulare per i materiali laterizi. Le sabbie d'origine eolica sono

quelle più attraenti per un impiego edilizio, data la loro elevata classazione e la mancanza di matrice argilloso-limosa o di resti carboniosi. Negli ultimi decenni, l'attività estrattiva ha distrutto gran parte delle morfologie eoliche e delle notevoli testimonianze archeologiche loro associate (es. area di San Basilio). Un'ampia cava sotto falda è ora attiva, in Provincia di Ferrara, all'interno di sabbie costiere d'età preromana e romana, nei pressi di Caprile, ad oriente della Strada Romea. La rimozione di sabbia da ampie superfici agricole è stata attuata attraverso opere di "miglioria agraria", che possono fornire un reddito superiore a quello delle stesse attività agricole. Questa attività ha notevolmente abbassato la superficie topografica, con conseguente sovraccarico della rete scolante e degli impianti idrovori. Gli scorsi decenni hanno visto la massiccia estrazione di sabbia dall'alveo attivo del Po, sia nell'area cartografata che a monte di essa, con gravi conseguenze sulla dinamica fluviale e sull'apporto sedimentario ai sistemi deltizi, divenuto fortemente deficitario. Tali attività sono cessate all'interno della Regione Emilia-Romagna, ma perdurano altrove, continuando ad influenzare negativamente la dinamica sedimentaria.

A partire dagli anni a cavallo della Seconda Guerra Mondiale, la regione è stata interessata dalla diffusa estrazione d'acque metanifere da depositi del Quaternario superiore. La profondità d'estrazione non è, in genere, ben nota, ma variava da poche decine a qualche centinaio di metri, non superando in ogni caso i 500 m. Si tratta d'acque salmastre e riducenti, contenenti una quantità relativamente modesta di metano biogenico, con un ordine di grandezza del m^3 di gas per m^3 d'acqua, in condizioni standard di pressione e temperatura. L'attività è stata particolarmente intensa nei pressi dei centri abitati e nel lobo deltizio attuale. La contaminazione delle falde idriche da parte d'acque saline e soprattutto i gravi effetti sull'accelerazione della subsidenza (CAPUTO *et alii*, 1970), sull'altimetria della rete scolante e sulla sicurezza delle arginature hanno fatto proibire lo sfruttamento delle acque metanifere, durante gli anni '60. Recentemente (2004), si sono avute evidenze giudiziarie del perdurare di limitate attività d'estrazione d'acque metanifere, dalla piana deltizia. Ogni ulteriore estrazione d'acque metanifere va ovviamente repressa, per il suo impatto sulla subsidenza. L'elevato rischio d'allagamento consiglierebbe inoltre di ridurre fortemente o sospendere la rimozione di sabbia dalle superfici agricole. Un'attività estrattiva ben gestita, da corpi di sabbie costiere, può essere proseguita, tenendo presente la necessità di continuare poi, nel futuro, il controllo e la salvaguarda di queste aree d'emersione della falda freatica, che rappresentano zone di potenziale inquinamento dei corpi idrici sotterranei.

2. - CENNI SULL'ASSETTO IDROSTRATIGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

Sull'area indagata manca (2005) una moderna sintesi idrogeologica, con l'eccezione del lavoro, a scala regionale, sulle risorse idriche sotterranee di REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998). L'interesse dei corpi acquiferi sotterranei

è qui frequentemente limitato dalla loro elevata salinità, il che spiega, in parte, l'incompletezza dei dati disponibili. Lo studio è inoltre ostacolato, oltre che dalla deficienza di misure idrogeologiche ed idrochimiche, dall'imperfetta conoscenza dell'altimetria e della data di misura di gran parte dei pozzi, piezometri e prove penetrometriche pregresse. Una dettagliata discussione idrogeologica esula dallo scopo di queste note, ma l'interpretazione fluidostratigrafica del contesto geologico permette qualche considerazione preliminare. L'assetto idrostratigrafico regionale delle prime centinaia di metri di sottosuolo è illustrato nella sezione geologica profonda (fig. 14 e Foglio Allegato). Nella regione cartografata, gran parte di questi acquiferi è occupata da acque salmastre. Più dettagliata è la conoscenza del primo acquifero confinato e dell'acquifero freatico, appartenenti rispettivamente al subsistema di Villa Verucchio (AES₇) ed al subsistema di Ravenna (AES₈). Questi corpi sono stati raggiunti da gran parte dei sondaggi e prove penetrometriche utilizzate per l'elaborazione di questa carta (figg. 14 e 25). Prove di dissipazione, misure geotecniche su campioni indisturbati e misure di resistività elettrica in situ hanno pure fornito informazioni utili. Da questo quadro generale, appare evidente che questo territorio presenta un potenziale assai ridotto per l'emungimento d'acque dolci ad uso potabile od irriguo. Grande impegno andrebbe posto nella prevenzione dell'ulteriore penetrazione verso l'entroterra del cuneo salino freatico.

2.1. - IL CONTESTO IDROLOGICO

Nella regione esaminata, le precipitazioni sono relativamente scarse, intorno ai 600 mm l'anno, concentrate in una settantina di giorni, soprattutto nei mesi autunnali e, in misura minore, invernali e primaverili, mentre l'estate mostra una certa aridità, mitigata da episodi temporaleschi. L'intensità dei singoli episodi piovosi sembrerebbe essere cresciuta lungo l'ultimo secolo, come forse indicato dall'analisi dei dati disponibili. Un archivio comprendente oltre un secolo di registrazioni meteorologiche e mareografiche è disponibile presso l'Impianto Idrovoro di Codigoro, del Consorzio di Bonifica del Primo Circondario. La porzione settentrionale dell'area cartografata è attraversata dai canali distributori attuali del Po. A monte della biforcazione deltizia di Santa Maria in Punta, la portata media annua è stimata a 1.500 m³/sec (intervallo 1918-1981), con piene che possono eccedere i 13.000 m³/sec, come nell'ottobre 2000, e magre estive di poche centinaia di m³/sec, come nell'estate 2003. Durante le piene, il pelo dell'acqua si trova a circa 8-10 metri sopra le aree circostanti, il che genera un significativo carico idraulico, ma anche durante le magre il livello fluviale sovrasta di alcuni metri le piane interdistributrici circostanti, impedendo un'efficace azione drenante del fiume sui corpi freatici circostanti. Durante le magre estive, un cuneo d'acqua marina risale ampiamente al fondo dei canali distributori deltizi, fino a monte dell'area cartografata. La superficie freatica è quasi interamente controllata artificialmente, dalla contrapposta azione del pompaggio degli

apparatî idrovori e dall'immissione d'acque irrigue, provenienti da Po, Canal Bianco e Volano. Il Volano è caratterizzato da acque ipertrofiche, ipossigenate e ricche di reflui zootecnici, il Canal Bianco presenta parametri idrochimici e biologici relativamente migliori. Il controllo artificiale fa sì che la superficie freatica sia, in genere, maggiormente depressa nei periodi piovosi (autunno-inverno) che in quelli siccitosi (estate), in cui sono più attive le pratiche irrigue. Nell'ultimo decennio, l'insufficienza delle risorse idriche ha però limitato più volte il ricorso all'irrigazione, come nell'estate 2003. D'altra parte, il pompaggio degli impianti idrovori è stato temporaneamente incapace di mantenere asciutte varie aree depresse, lasciando affiorare la superficie freatica, durante periodi piovosi o temporali estivi. Il pompaggio dell'impianto idrovoro di Codigoro è inoltre limitato dalle difficoltà di scolo del tratto terminale del Volano e dagli episodi di "acque alte" che creano crescenti problemi, particolarmente nell'area urbana di Codigoro (par. VIII.3.5.).

2.2. - CONSIDERAZIONI SULL'ASSETTO IDROSTRATIGRAFICO

Il primo acquifero confinato è ospitato nelle sabbie di media pianura fredda che formano la parte superiore del subsistema di Villa Verucchio (AES₇), attraverso tutta l'area cartografata, con spessori intorno ai 20-25 m. Il corpo si sviluppa ampiamente al di fuori del Foglio, sia verso mare, sia verso monte. Questo acquifero è formato da sabbie di riempimento di canale fluviale (par. V.1.1.), povere di matrice, che presentano una notevole permeabilità. Data la notevole continuità fisica e l'elevata conducibilità idraulica, questo acquifero deve presentare la massima trasmissività fra quella di tutti i corpi presenti nei primi 100 m di sottosuolo. Il corpo è confinato a tetto e letto da sedimenti argillosi, depositi in ambienti di pianura alluvionale e stagno, spesso ricchi in sostanza organica, che formano efficaci livelli d'acquicludo. In particolare, al tetto delle sabbie, sono presenti estesi orizzonti d'argille a bassa permeabilità (parte basale del subsistema di Ravenna, AES₈), solo localmente interrotti da corpi sabbiosi di riempimento di paleoalveo. Allo stato attuale delle conoscenze, non sembra che i canali distributori attivi del Po siano in diretto contatto con questo corpo, all'interno del Foglio, al contrario di quanto avviene più ad ovest, ove il fiume può ricaricare direttamente l'acquifero (es. nei pressi di Ferrara). Al fondo del Mare Adriatico, diverse decine di km a est dell'area di studio, questi depositi sono pressoché affioranti e si trovano in diretta connessione idraulica con le acque marine.

Un importante acquifero freatico è ospitato nelle sabbie litorali e di fronte deltizia, nella parte centrale del Foglio, con spessori fino ad oltre 15 m. Le permeabilità più elevate si incontrano nelle sabbie ben classate di duna eolica (par. V.3.1.), in porzioni superficiali di AES₈. La maggior parte di questi corpi è ben affiorante, in aree favorevoli all'infiltrazione. La loro ridotta estensione verticale riduce però il loro interesse come corpi acquiferi. Le sabbie regressive di cordone

litorale, spiaggia e fronte deltizia (par. V.3.2.) sono invece caratterizzate da un notevole volume e continuità spaziale. Queste sabbie affiorano in superficie e sono in contatto con corpi di riempimento di canale distributore, sia fossili che attivi. Questa continuità idraulica può causare fenomeni di “sortumazione” sotto strutture arginali, come nei pressi di Mesola. Verso il basso, questo acquifero sfuma in sedimenti acquitardi di prodelta, ove estesi straterelli limoso-sabbiosi agiscono come vie di flusso preferenziale (*hydrological carriers*). Le argille e limi di prodelta (par. V.4.1.) conservano, infatti, una certa trasmissività, per la presenza di intercalazioni limose o limoso-sabbiose, legate ad episodi di piena-tempesta. Questi livelli sono lateralmente continui per molti chilometri, con geometrie dolcemente clinostratificate.

2.3. - CENNI SULLA DINAMICA IDROGEOLOGICA

Il primo acquifero confinato presenta un’ottima trasmissività e, nell’area cartografata, è probabilmente in gran parte scollegato dai corpi idrici superficiali. A qualche decina di chilometri dalla costa, esso è in diretta comunicazione con le acque marine, a monte comunica con l’attuale alveo del Po. In condizioni naturali, esso doveva presentare una stratificazione fra acque dolci, di ricarica padana, attiva soprattutto a monte di Ferrara, ed acque salmastre, come confermato da passati emungimenti ad uso agricolo. L’equilibrio è stato però del tutto perturbato dal diffuso emungimento d’acque metanifere e d’acqua per uso industriale soprattutto nelle aree di Codigoro, Iolanda, Copparo e Ferrara, che ha fatto risalire le acque salate ben a monte del Foglio 187. Anche gran parte del corpo freatico delle sabbie litorali regressive è oggi occupato da acque salmastre, la cui entrata è stata favorita dai diffusi emungimenti e dall’abbassamento, sotto il livello del mare, di gran parte della superficie topografica del Foglio. Una limitata falda freatica dolce è mantenuta dalla ricarica dal Po Grande, Po di Goro, Canal Bianco e dalle opere irrigue. Il livello freatico è fortemente influenzato dall’azione contrapposta dell’irrigazione e del drenaggio delle idrovore. La migrazione verso terra del cuneo salino continua, favorita dalla risalita d’acque salmastre lungo i canali distributori del Po, durante le magre estive. La penetrazione d’acque ad elevata attività ionica all’interno di sedimenti argillosi d’ambienti ducicoli può avere potenziali effetti negativi sull’equilibrio degli ioni adsorbiti dalle argille, con conseguente accelerazione della subsidenza, un fenomeno in ogni caso subordinato rispetto da altri effetti antropici.

3. - ASPETTI GEOLOGICO-AMBIENTALI, GEOTOPI E VALORIZZAZIONE GEOTURISTICA

Il territorio cartografato mostra alcune delle più notevoli emergenze geologico-naturalistiche della fascia costiera padana (fig. 31), pur in un contesto

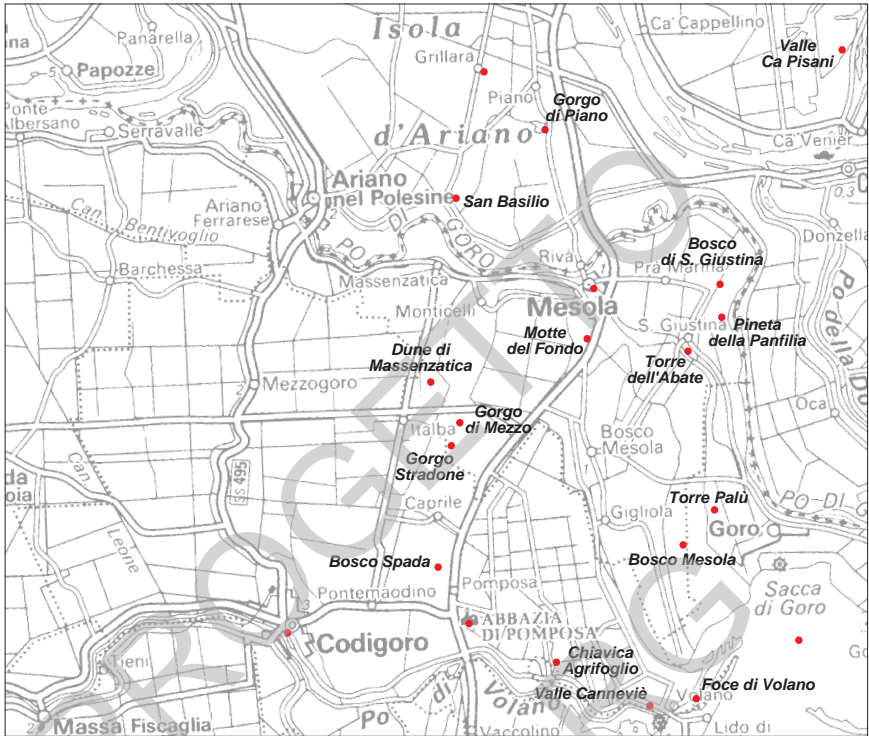


Fig. 31 - Localizzazione geografica dei principali siti d'interesse geologico-naturalistico ancora presenti all'interno del Foglio.

dominato dall'alterazione antropica. Data l'origine recente dei sedimenti considerati, si può spesso ricostruire una complessa interazione fra processi naturali ed azioni umane, che conferisce un fascino particolare a questo territorio. I geotipi descritti in Provincia di Ferrara appartengono in gran parte al Parco Regionale del Delta del Po.

3.1. - PALUDI SALMASTRE E BAIA INTERDISTRIBUTTRICE

Nella regione cartografata, sopravvivono importanti aree umide salmastre, sviluppate su sedimenti recenti, appartenenti ad AES_{8a}. La Sacca di Goro è posta nella porzione sud-orientale del Foglio e prosegue ad est di esso, con un'estensione complessiva di oltre 2.000 ettari. Essa è limitata ad ovest dai cordoni costieri del Bosco Mesola e da arginature artificiali e ad est è separata dal mare dallo Scanno dell'Amore, che diverge dalla Bocca di Goro. Nella sacca sbocca il

Volano, assai ricco di nutrienti, quali fosforo ed azoto organici. L'area è tuttora soggetta ad un'attiva dinamica sedimentaria e morfologica. La sacca, interessata da una significativa circolazione tidale, presenta una profondità media di soli 1,5 m e riveste un notevole interesse naturalistico, in particolare ornitologico. Negli ultimi decenni, la sacca ha subito il forte impatto della raccolta di lamellibranchi eduli, endo- ed epibionti (vongole e mitili), che ha completamente rimaneggiato i sedimenti al fondo e distrutto le precedenti biocostruzioni ad ostriche e serpulidi. Il contesto fisiografico limita l'interscambio idrico e le acque sono perciò spesso ipertrofiche e disossiche, con notevoli conseguenze sulle attività ittiche. Questa situazione ha spinto al taglio artificiale del cordone costiero, che ne ha fortemente accelerato l'erosione. Alcune opere di protezione contro l'erosione sono state al contrario realizzate nei pressi della Bocca del Po di Goro, con l'impiego di ripascimenti artificiali. La difesa dello scanno dall'azione erosiva del mare e da ulteriori distruzioni antropiche appare di primaria importanza, sia per preservare le delicate condizioni ambientali della sacca, sia per la tutela delle arginature artificiali che la separano da estesissime aree sotto il livello del mare, diffuse fin nei pressi di Copparo.

Altre aree salmastre sono sopravvissute nell'area cartografata (fig. 31), come (a) la Valle Pisani, nei pressi di Ca' Giustiniàn e Ca' Pisani, sviluppata a cavallo fra i lobi deltizi d'età rinascimentale e moderna (fig. 27); (b) la foce morta del Volano, chiusa nel XIX secolo dal trasporto lungo costa verso nord di sabbie rimaneggiate dall'erosione costiera; (c) gli scampoli sopravvissuti di Valle Canneviè, nei pressi di Volano; (d) le propaggini settentrionali di Valle Bertuzzi, che si estende per oltre 2000 ettari, nel lato meridionale del lobo altomedievale del Po di Volano, prevalentemente all'interno del contiguo Foglio 205. Tutte queste aree umide preservano un'elevata valenza naturalistica, in particolare per la notevole avifauna, ma sono soggette alla minaccia d'ingressione marina, già verificatasi in passato, come registrato da ventagli di *spill over* e dalle strutture erosive tipo gorgo, rappresentate in parte nella carta.

3.2. - CORDONI LITORALI ED AREE SABBIOSE BOScate

Le aree boscate sopravvissute, per quanto molto discontinue, sono assai interessanti, sia per l'ottima preservazione delle morfologie sedimentarie, sia per l'interesse naturalistico di questi biotopi. Nella parte sud-orientale del Foglio, il Bosco Mesola, o Gran Boscone, si sviluppa su cordoni litorali d'età tardomedievale, appartenenti all'unità di Modena ed al lobo deltizio del Po dell'Abate. La riserva, in parte integrale, copre una superficie di 1.058 ettari e rappresenta il più esteso corpo forestale sopravvissuto nella pianura padano-veneta. Allungato secondo le antiche linee di costa, il bosco è separato in due porzioni ineguali dalla strada Bosco Mesola-Goro. Il bosco costiero termofilo, dominato dal leccio, preserva in modo mirabile la morfologia dei cordoni costieri, intervallati a depressioni, colonizzate da associazioni igrofile, dominate dal frassino.

La continuità della copertura vegetazionale e le difficoltà del telerilevamento e d'acquisizione topografica hanno impedito un'immagine accurata di questa interessante espressione morfologica dei processi sedimentari. Le porzioni orientali del bosco, prospicienti alla Sacca di Goro, sono soggette a fenomeni erosivi e d'ingressione marina. Il livello freatico del bosco risente direttamente delle fluttuazioni di marea. Prima delle bonifiche idrauliche, la falda freatica dolce del bosco era in equilibrio dinamico su quella salmastra. La falda dolce era alimentata prevalentemente dal Po di Goro, con un flusso verso sud-est. La situazione attuale è assai più critica. La subsidenza della porzione occidentale del bosco, indotta dal prosciugamento del Taglio della Falce, ha causato il basculamento di tutta l'area, inducendo un flusso trasversale d'acque marine, dalla sacca verso le aree bonificate, ormai sotto al livello del mare. Per permettere la sopravvivenza della comunità fitosociologica dell'area sono stati perciò scavati alcuni canali d'acque dolci, che hanno rallentato l'ingressione del cuneo salino.

Nei pressi del Bosco Mesola, esistono altre aree boscate (fig. 31), come il Bosco Spada, cresciuto su dossi costieri di età romana a sud di Caprile, il Bosco di Santa Giustina e la Pineta della Panfilia, sviluppate su cordoni d'età rinascimentale, a sud del Po di Goro, e le pinete del Lido e della Foce di Volano, cresciute su cordoni costieri di più recente formazione (XIX Sec.). Queste pinete sono in gran parte d'origine artificiale, ma presentano, in ogni caso, un notevole interesse naturalistico e faunistico.

3.3. - DUNE EOLICHE

Le emergenze geomorfologiche più spettacolari dell'area sono i campi di dune costiere che possono preservare altezze di oltre 12 m. I corpi principali sono allineati lungo una marcata paleolinea di costa, che registra una fase meometarina particolarmente attiva, sviluppatasi circa 3000 anni fa (par. VII.3.3.). Altre dune più recenti sono presenti in aree orientali. Prima delle bonifiche, queste dune si ergevano imponenti sulle circostanti aree paludose, formando allineamenti continui, interrotti solo da alvei o paleoalvei di canali distributori (fig. 7). Questo risalto morfologico è testimoniato, nella toponomastica, da una varietà di nomi come monti, monticelli, motte, bonde, tombe, tombine, tutti termini indicanti dossi elevati. Le aree dunari sono state storicamente importanti anche perché erano le uniche zone ove fosse possibile la viticoltura. Su questi allineamenti sono stati tracciati importanti vie di comunicazione, come la Via Popilia romana. Purtroppo, nel corso del XX secolo, estese escavazioni (par. VIII.8.1.) hanno distrutto gran parte delle morfologie dunari. L'ampiezza del fenomeno è ben visibile, ad esempio, nell'Isola d'Ariano, in cui le case storiche si trovano sospese su piccoli rilevati residui. Pur con qualche danno periferico, è stato invece salvato *in extremis*, nel corso degli anni '70, il maggiore campo dunare della zona, sviluppato fra Italba e Massenzatica, ora preservato ad oasi protetta, con caratteristiche associazioni xerofile. L'assenza d'erbivori e la forte

crescita del pioppo da semi d'origine agricola stanno però producendo squilibri ambientali ed impedendo la visione geomorfologica. Gli apparati radicali delle specie arboree e lo sradicamento delle piante ad alto fusto mettono in più punti a repentaglio la conservazione delle strutture sedimentarie. Forme eoliche coeve sono visibili a Grillara e nei dintorni di San Basilio, ove sono associate a notevoli resti archeologici d'età romana. Modesti depositi eolici marcano la base dell'unità di Modena e del lobo deltizio del Volano. Su questi depositi è stato tracciato un buon tratto della Strada Statale Romea ed edificato il complesso abbaziale di Pomposa, che con la sua presenza ha preservato, in parte, le forme eoliche, distrutte nelle aree circostanti. Corpi eolici d'età altomedievale, appartenenti all'unità di Modena, sono preservati poco a sud di Mesola, alle Motte del Fondo ed a nord del paese di Bosco Mesola.

3.4. - CORPI IDRICI ISOLATI IN DEPRESSIONI EROSIVE TIPO "GORGO"

Nel Foglio Geologico, sono evidenziate depressioni generate dall'azione erosiva d'acque turbolente non incanalate ("gorgi", par. VI.1.2.), all'interno di sabbie di duna eolica, cordone litorale e spiaggia. Dopo la loro rapida formazione, esse hanno contenuto, per secoli e talora millenni, corpi idrici affioranti, alimentati dalla circolazione freatica, del tutto separati dai canali fluviali e perciò soggetti a scarsissimi apporti sedimentari. Essi formavano biotopi isolati, dai caratteri ecologici assai peculiari, ospitanti piccole comunità, spazialmente confinate. La maggior parte di queste strutture è stata interrata nel corso del XX secolo, spesso attraverso l'utilizzo come discariche. Altri "gorgi" si sono venuti a trovare nei pressi di discariche di rifiuti, come quelli dello Stradone, a nord di Caprile. Nell'area cartografata, rimangono però vari "gorgi" d'elevato interesse naturalistico, come poco ad est d'Italba in località "Tirasegno", alle Motte del Fondo, o nell'Isola d'Ariano, fra Piano e Riva.

3.5. - CANALI DISTRIBUTORI DELTIZI, RETICOLO DRENANTE ARTIFICIALE ED OPERE DI BONIFICA STORICA

Il Foglio è attraversato dai canali distributori attivi del Po Grande e del Po di Goro, interamente arginati, mentre a sud scorre il Volano, oggi a regime del tutto artificiale. Aree boschive artificiali, dominate dal pioppeto, caratterizzano le aree golenali allagabili del Po, le sole ancora soggette ad una dinamica sedimentaria (b_1 nella carta geologica). Il Volano presenta una minore escursione di livello, controllata, a valle del Sostegno (chiusa) di Tieni, dalle maree, sesse e dall'attività dell'Impianto Idrovoro di Codigoro. Lungo il Volano, permangono ristretti ambienti ripariali di un certo interesse naturalistico, specialmente faunistico, anche per la contiguità con l'area abbandonata dello Zuccherificio di Codigoro, molto ricca d'avifauna.

Come abbiamo visto (titolo VII), l'area cartografata registra l'intima interazione fra evoluzione sedimentaria ed interventi umani. Il territorio conserva perciò notevoli testimonianze a cavallo fra il naturalistico e lo storico-artistico, rilevanti per la valorizzazione turistico-culturale dell'area, ma in parte neglette e gravemente danneggiate. I canali collettori della "Grande Bonificazione Estense" (par. VII.3.4.) fluivano a mare attraverso due grandi chiaviche a porte vinciane, ora separate dalla rete scolante. La struttura settentrionale della Chia-vica dell'Abate o Torre Abà, ben preservata nei pressi di Santa Giustina, esibisce un notevole segno architettonico tardorinascimentale, mentre quella meridionale dell'Agri-foglio si trova attualmente (2005) in un deplorabile stato d'abbandono, soggetta, anche recentemente, a gravi atti di vandalismo e furto di laterizi. La rapida progradazione del lobo del-tizio attuale rese inutilizzabili queste strutture, perciò, nel XVIII secolo, fu costruita sul Canal Bianco, ad ovest di Goro, la chiavica di Torre Palù, recentemente restaurata, ma poi nuovamente danneggiata da atti di vandalismo.

I due principali collettori delle grandi bonifiche del XIX Secolo (Acque Alte e Acque Basse) convergono nel grandioso impianto idrovoro di Codigoro, che rappresenta un segno architettonico eminente degli attuali fragili equilibri ambientali dell'area. L'impianto scola un'area di oltre 56.000 ettari, con flussi di picco di oltre 120 m³/sec, che superano perciò quelli di buona parte dei fiumi italiani. La struttura dei pochi insediamenti storici dell'area dipende ampiamente dalla sua evoluzione deposizionale, come Mesola, che trae sito e nome dal punto di biforcazione dei canali distributori di Goro e dell'Abate, innervanti il lobo del-tizio tardomedievale; il paese di Mezzogoro, allungato lungo il sinuoso paleoalveo del Gaurus, attivo in età romana e medievale; Codigoro, allungato lungo le sponde del Volano, nei pressi della defluenza del Gaurus. Il lungocanale di Codigoro ha rappresentato la direttrice di sviluppo urbano e permesso un continuo rapporto con il Volano. L'accelerata subsidenza, la crescente minaccia delle acque alte e la problematica gestione dell'impianto idrovoro hanno ripetutamente costretto alla sopraelevazione di un muro di protezione, che negli ultimi anni ha visualmente separato il lungocanale dal Volano. Questa evoluzione urbana fornisce una drammatica percezione visiva della problematicità degli assetti territoriali dell'area cartografata. Nel prossimo futuro sarà probabilmente necessaria la creazione di un ramo artificiale, che separi l'abitato di Codigoro dall'influenza delle acque alte.

APPENDICE 1

DESCRIZIONE DEI SONDAGGI STRATIGRAFICI

(a cura di M. Stefani)

Questa prima Appendice illustra graficamente (fig. 32) le stratigrafie degli 11 sondaggi eseguiti a carotaggio continuo, nell'ambito del Progetto CARG, per la realizzazione della Carta Geologica, a cura del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna. La localizzazione geografica dei sondaggi è illustrata in figura 9. La rappresentazione grafica delle stratigrafie carotate descrive il profilo granulometrico, la presenza di particolari costituenti degni di nota, quali bioclasti, legni, intraclasti, extraclasti, le principali strutture sedimentarie e l'età misurata al carbonio 14. A lato del profilo, è riportata l'interpretazione paleoambientale delle facies sedimentarie. Per la discussione delle unità stratigrafiche, si rimanda al titolo IV, per quella sulle associazioni di facies e sugli ambienti deposizionali, al titolo V. Il contesto stratigrafico dei sondaggi è illustrato dal profilo stratigrafico di figura 11, dal diagramma a recinto di figura 25 e nel Foglio Allegato. Per l'interpretazione dell'evoluzione deposizionale di questi sondaggi, si rimanda alla discussione generale nel testo (cap. VII.2).





Il sondaggio 187-S1 ha raggiunto la profondità di 188 metri, attraverso tre subsintemi (AES_{6,7,8}), e, data la sua importanza e complessità, è diffusamente trattato nell'Appendice 2, in cui vengono anche discussi i risultati delle analisi paleontologiche. Il suo contesto stratigrafico è illustrato dal profilo regionale di figura 14, oltre che discusso nel su citato titolo IV. Gli altri sondaggi hanno raggiunto in genere profondità comprese fra i 40 e i 50 m ed hanno perciò riguardato il subsistema di Ravenna (AES₈), d'età olocenica, raggiungendo molto spesso (187-S2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11) la porzione sommitale di quello di Villa Verucchio (AES₇), attribuita al Pleistocene finale. Due sondaggi (187-S6 e 10) sono stati

invece interrotti a profondità inferiori a quelle di progetto, all'interno di AES₈, per la presenza d'acque in pressione, con elevati tenori di metano biogenico (vedi cap. VIII.1.), che ne hanno provocato l'eruzione, particolarmente intensa nei pressi del paese di Bosco Mesola (187-S6).







Le successioni stratigrafiche descritte nei sondaggi si possono schematicamente suddividere in quattro gruppi areali, sviluppati sopra una comune unità sabbiosa di media pianura alluvionale fredda (parte sommitale di AES₇). **(a)** I sondaggi eseguiti nella porzione sud-occidentale del Foglio (187-S5, 187-S8, 187-S11) sono dominati da litologie a grana fine e registrano il passaggio verticale da condizioni di pianura alluvionale ad ambienti costieri salmastri, seguiti dal ritorno regressivo a condizioni di piana interdistributrice dulcicola. Un'evoluzione analoga è registrata dai sondaggi effettuati a cura dell'Università di Ferrara (Sondaggi Mezzogoro1-2-3, localizzazione di tutti i sondaggi in fig. 9). **(b)** Nella parte nord-occidentale del Foglio (187-S2, 187-S9, 187-S10), ad analoghe successioni continentali e salmastre, si intercalano estesi corpi di sabbie di delta-estuario, deposte durante le fasi finali della trasgressione ed in quelle iniziali della regressione. Queste sabbie possono raggiungere anche spessori notevoli, come nel 187-S2, perforato nei pressi di Panarella. **(c)** Nella fascia centrale del Foglio (187-S1, 187-S3, 187-S4, 187-S6), ai depositi inferiori di piana alluvionale e deltizia si sovrappongono sottili corpi di sabbie di barriera trasgressiva e quindi significativi spessori di fanghi marini, seguiti da spessi corpi sabbiosi regressivi di fronte deltizia, spiaggia e cordone litorale. Le successioni stratigrafiche della porzione più orientale del Foglio presentano corpi di sabbie trasgressive relitte molto limitati, seguiti da spesse successioni di argille e limi fossiliferi di piattaforma e prodelta.

Facies sedimentarie






Ambiente alluvionale

-  Sabbie medie e grossolane di riempimento di canale fluviale
-  Sabbie, limi e subordinate argille di argine e rotta fluviale
-  Argille e limi di piana inondabile
-  Argille e limi ricchi in C organico di palude dolce ed area interfluviale

Ambiente deltizio, litorale e marino

-  Sabbie di duna eolica, cordone litorale e fronte deltizio
-  Sabbie e limi di argine e riempimento di canale distributore
-  Argille e limi bioclastici di palude salmastra e laguna
-  Argille, limi e torbe di piana interdistributrice dulcicola
-  Argille e limi con intercalazioni sabbiose di prodelta e transizione alla piattaforma
-  Sabbie e limi bioclastici di delta estuario e barriera trasgressiva

Litologia

-  Sabbia
-  Sabbia limosa e limo sabbioso
-  Limo e limo argilloso
-  Argilla e argilla limosa
-  Argilla organica e torba

Simboli




















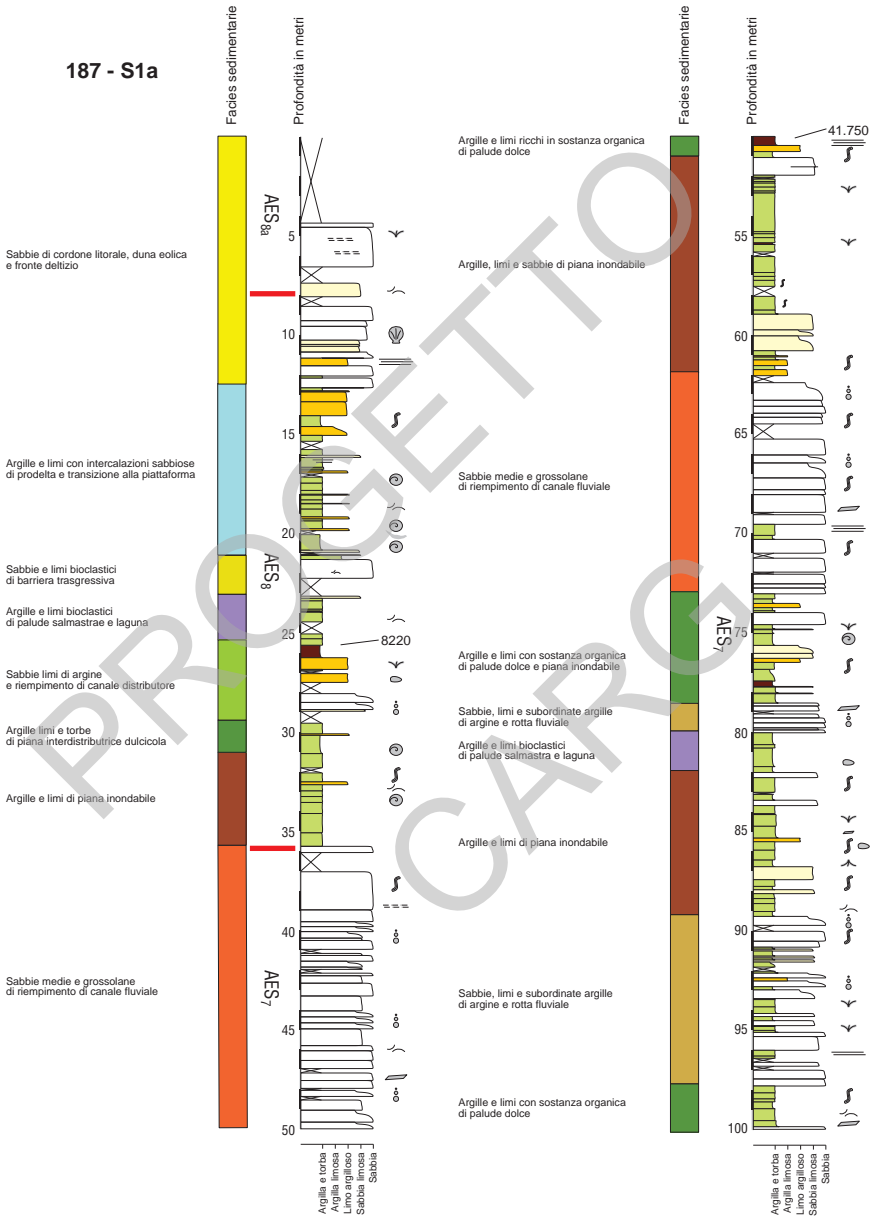
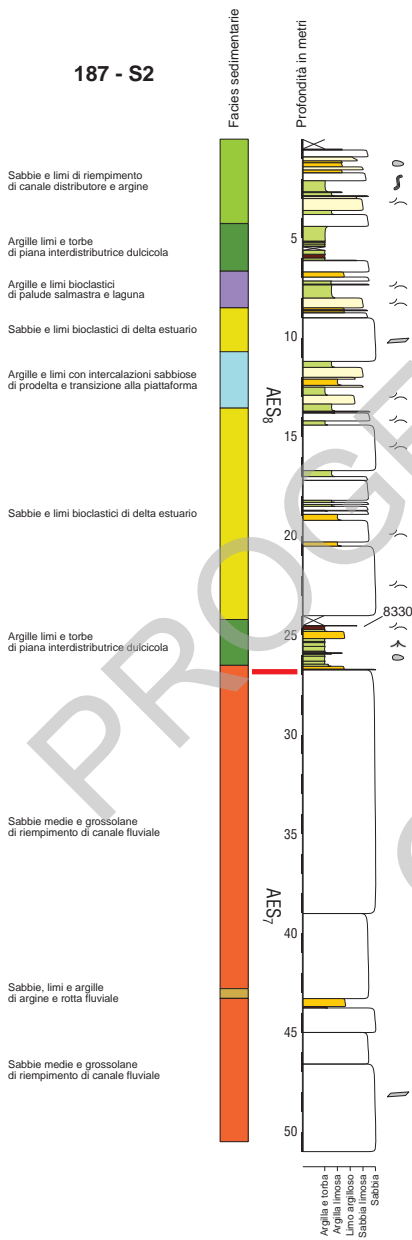
-  Base di strato netta ed erosiva
-  Stratificazione mal definita
-  Gradazione *fining up*
-  Laminazione
-  Resti di sostanza organica vegetale
-  Bioturbazione
-  Bioturbazione da apparati radicali
-  Noduli diagenetici
-  Intraclasti
-  Extraclasti
-  Lumachella
-  Bioclasti
-  Resti lignei
-  Ostreidi
-  Gasteropodi
-  Lamellibranchi generici
-  -4990
-  Età 14C in anni B.P. non calibrata
-  AES₈ Unità stratigrafica

Fig. 32 - Colonne stratigrafiche che descrivono il sondaggio profondo 187-S1, i 10 sondaggi stratigrafici 187-S2-11, perforati nell'ambito di questo rilevamento CARG e i sondaggi Mezzogorol-2-3, effettuati a cura dell'Università di Ferrara, sotto la supervisione degli autori. La simbologia è descritta nella acclusa legenda. Il contesto stratigrafico tridimensionale di questi sondaggi è illustrato dal diagramma a recinto di figura 25; l'interpretazione cronostatigrafica della loro porzione olocenica è illustrata in figura 26. Ulteriori dettagli sono forniti nei profili allegati alla carta geologica e nel Foglio Allegato.

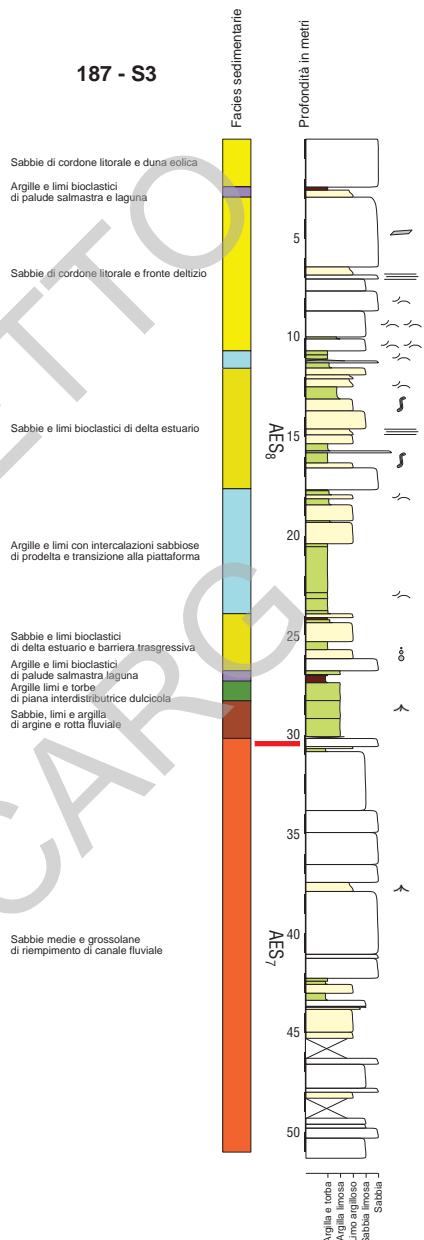
187 - S1a

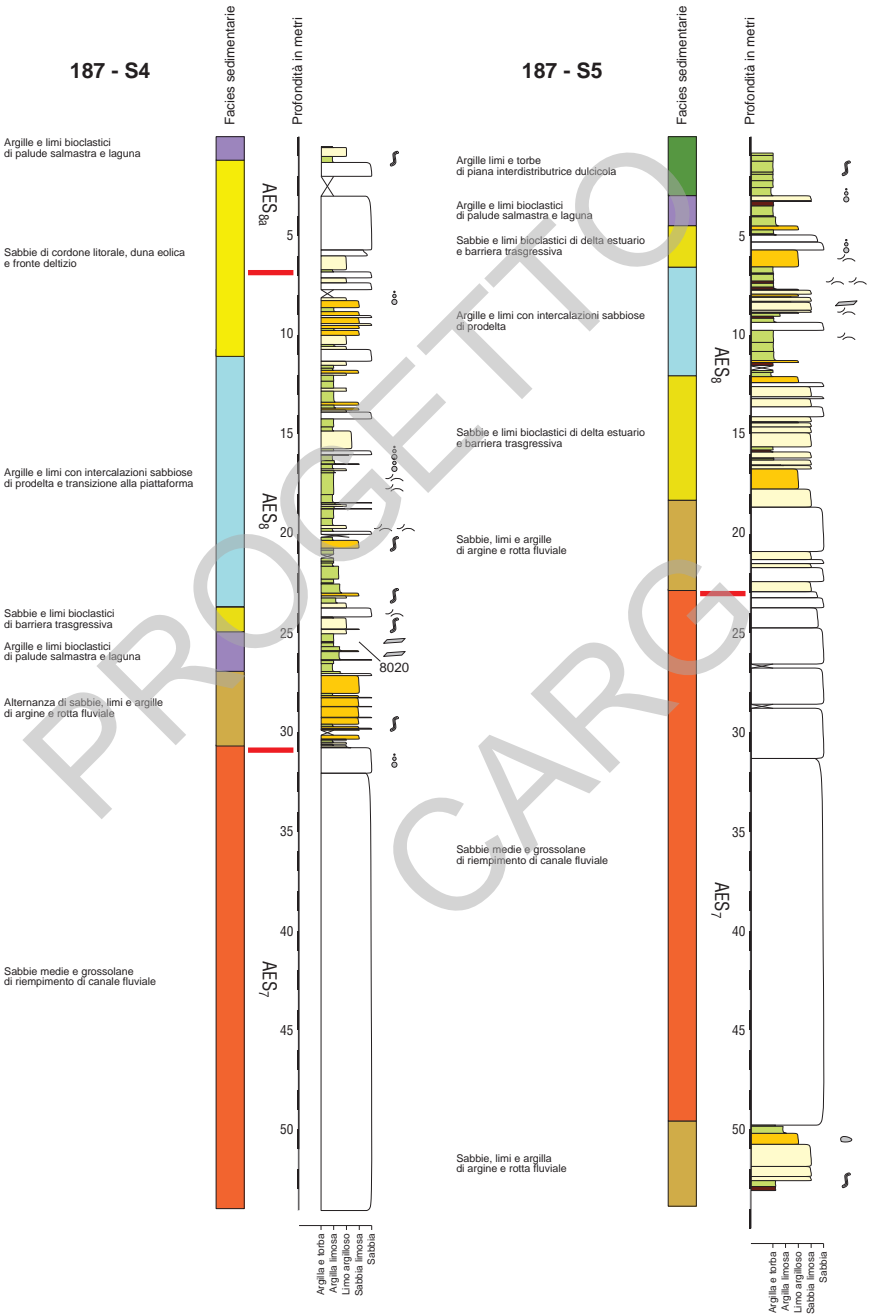


187 - S2

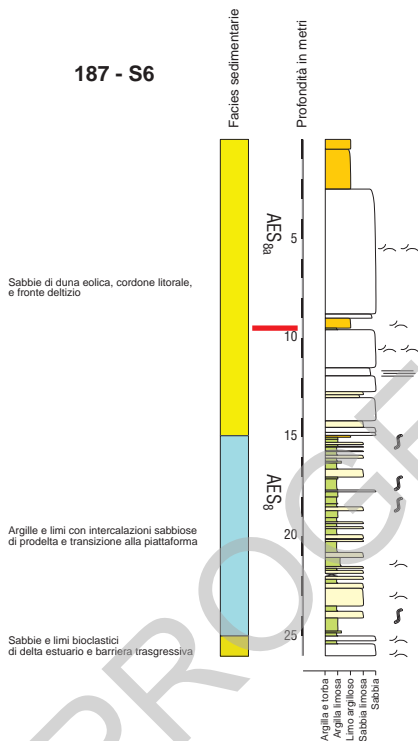


187 - S3

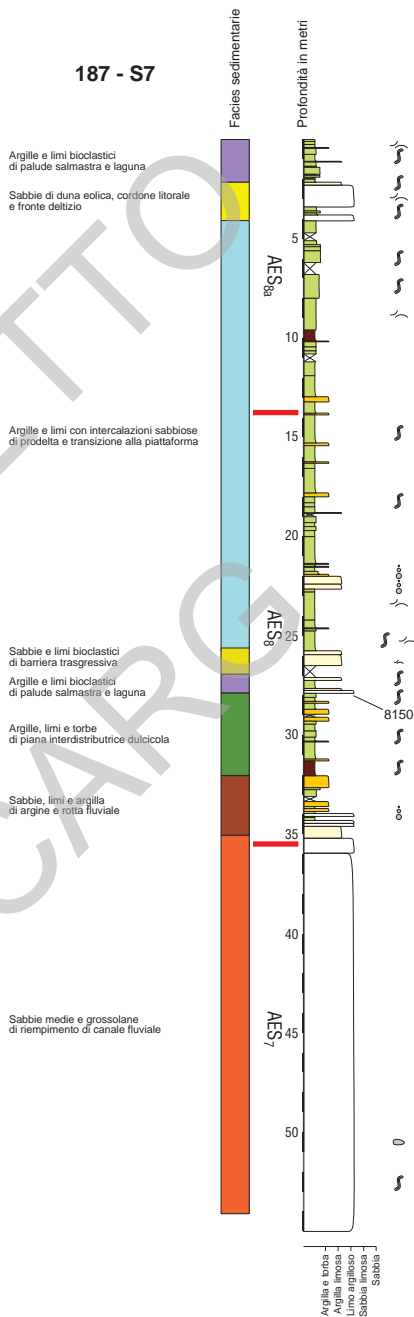




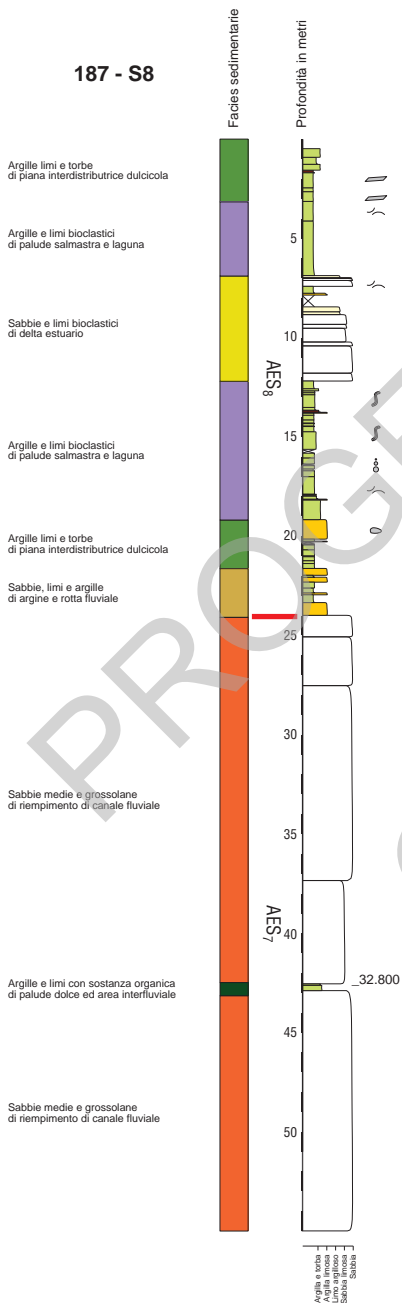
187 - S6



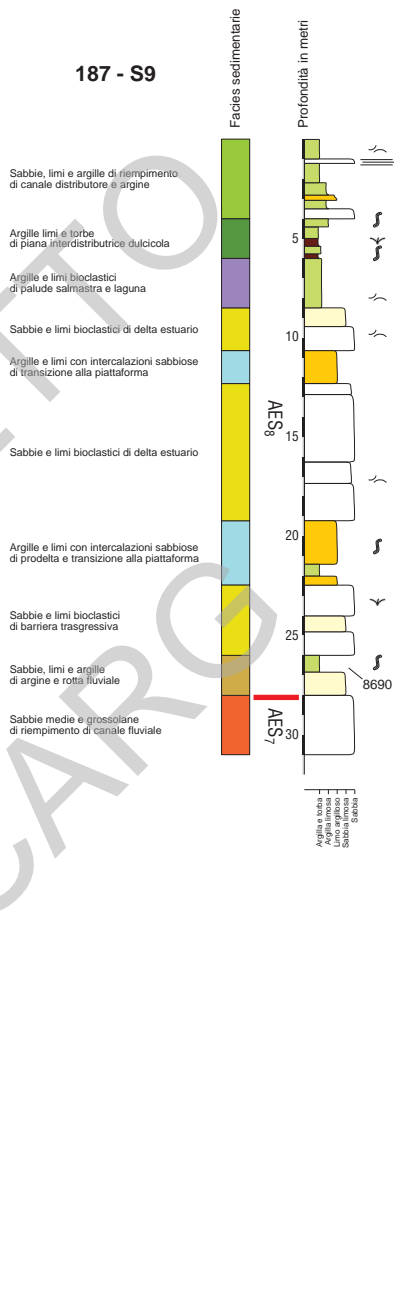
187 - S7



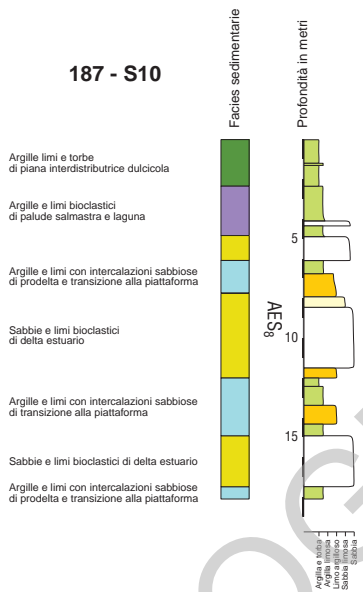
187 - S8



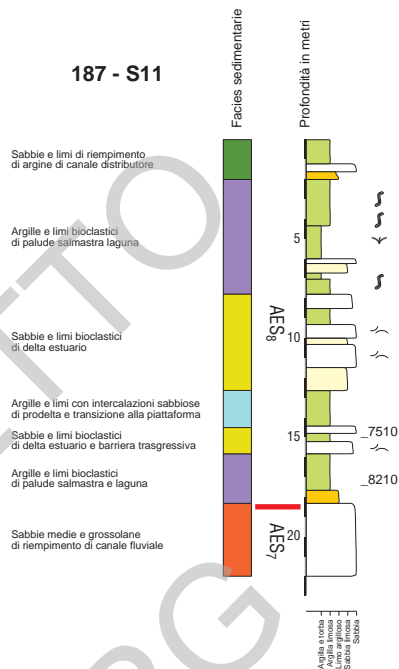
187 - S9



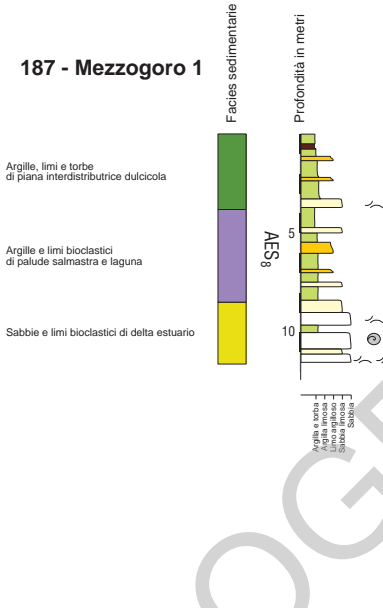
187 - S10



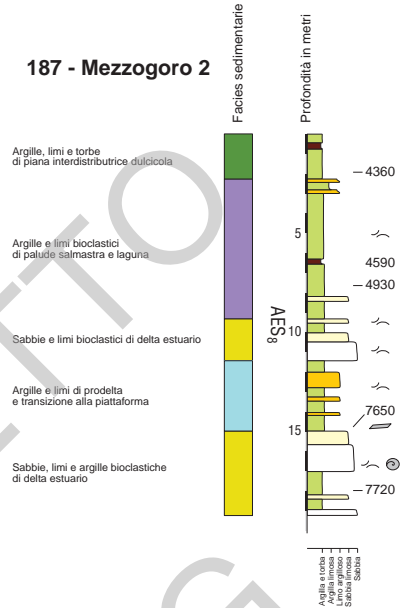
187 - S11



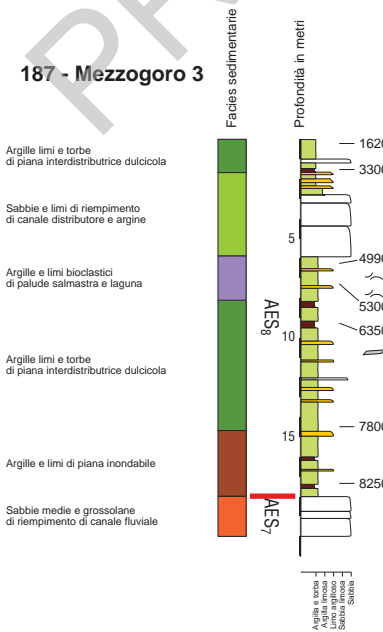
187 - Mezzogoro 1



187 - Mezzogoro 2



187 - Mezzogoro 3



APPENDICE 2**IL SONDAGGIO PROFONDO VALLE GIRALDA 187-S1:
ANALISI PALEONTOLOGICHE, POLLINICHE, PETROGRAFICHE ED
EVOLUZIONE AMBIENTALE**

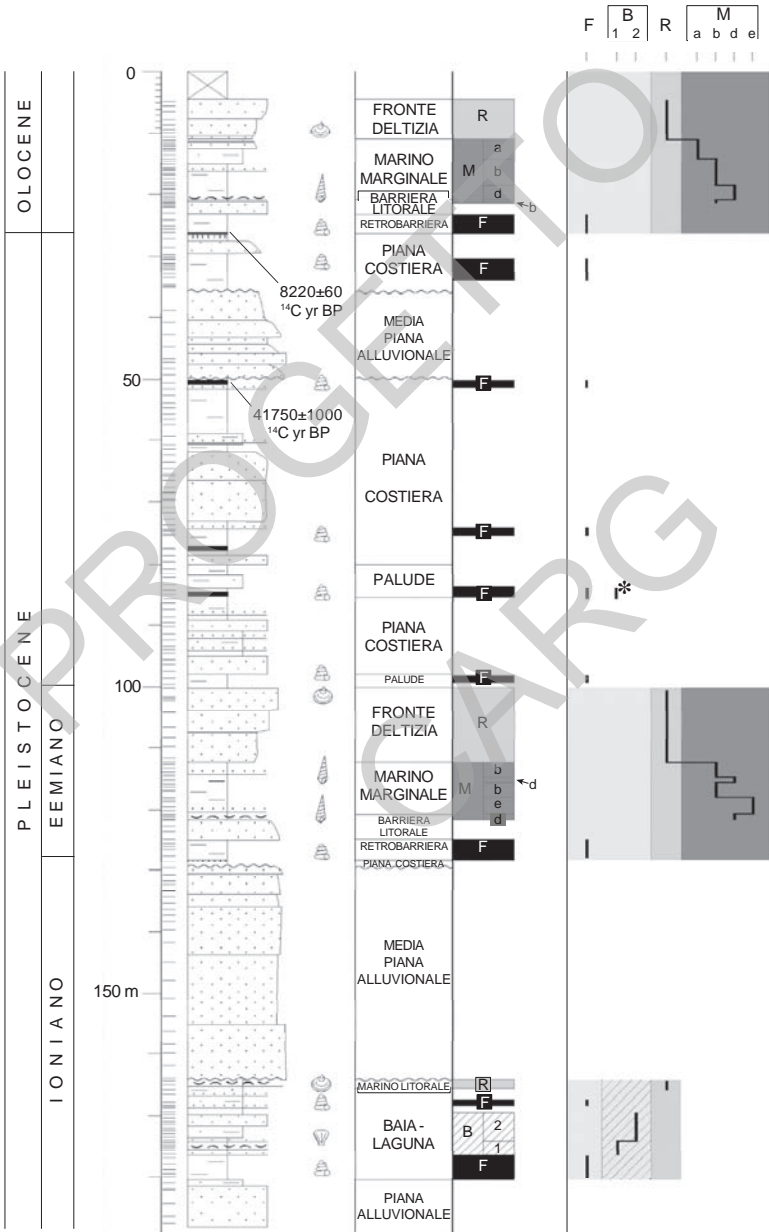
(a cura di M. Bondesan, L. Cattani, A. Ceriani, M. L. Colalongo, A. Di Giulio,
N. Pugliese, E. Tsakiridis, F. Serra, M. Stefani e S. C. Vaiani)

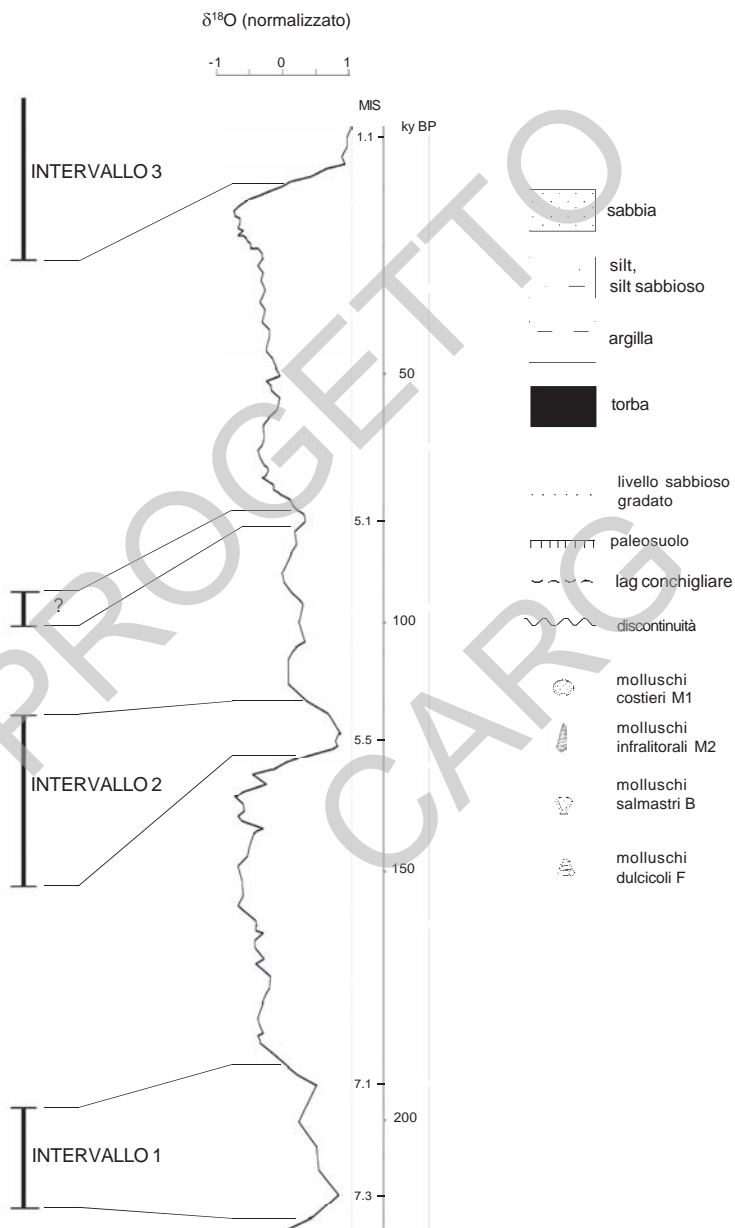
In questa Appendice vengono discussi i risultati delle analisi macro e micropaleontologiche, polliniche e di petrografia delle sabbie (tab. 6) eseguite sul Sondaggio 187-S1, rappresentato in figura 32 e sintetizzato in figura 33, con evidenziate le varie associazioni paleontologiche. Questo sondaggio è stato perforato, fino alla profondità di 188 m, nell'ex Valle Giralda, poco ad est dell'Abbazia di Pomposa (figg. 9, 31), attraverso tre subsintemi (AES_{6,7,8}). A questo studio hanno partecipato diversi tecnici specialisti, che sono stati menzionati in ogni specifico capitolo dell'Appendice a seconda del settore di studio di cui si sono occupati.

1. - ASSOCIAZIONI PALEONTOLOGICHE

Le indagini paleontologiche hanno riguardato le associazioni a molluschi, foraminiferi ed ostracodi. La distribuzione delle associazioni faunistiche ha fornito importanti informazioni paleoecologiche (BONDESAN *et alii*, 2004) che, integrate con le osservazioni sedimentologiche, hanno generato una buona ricostruzione dell'evoluzione paleoambientale verticale, che è stata poi inquadrata nel suo contesto regionale (AMOROSI *et alii*, 2003, 2004). La successione mostra tre episodi di sedimentazione marina, intercalati da potenti corpi d'origine continentale. Questi corpi sedimentari registrano circa 200.000 anni di storia paleoambientale e sono accumulati con tassi di sedimentazione decisamente elevati.

SERIE	PIANO	profond.	Litologia sondaggio 187 S1	associazione di facies	associazione paleontologica
-------	-------	----------	-------------------------------	---------------------------	--------------------------------





1.1. - METODOLOGIE D'ANALISI MICROPALÉONTOLOGICA

Il Sondaggio è stato perforato a carotaggio continuo con tecnica *wire line*, con un tasso di recupero molto elevato (figg. 32, 33). Per le analisi micropaleontologiche, sono stati prelevati 210 campioni, del peso medio di circa 200 g. Tutti i campioni sono stati essiccati per 8 ore a 60 °C, sciacquati e setacciati con maglie di 63 micron (240 mesh). La frazione granulometrica maggiore di 707 micron è stata esaminata per la determinazione tassonomica dei molluschi; quella compresa fra 707 e 125 micron è stata oggetto di analisi micropaleontologiche semiquantitative, effettuate su foraminiferi ed ostracodi, separati per flottazione in CCl₄. Per la descrizione dell'abbondanza dei foraminiferi, è stata usata la seguente suddivisione: abbondante, più del 50%; comune, dal 50 al 5%; subordinata, dal 5 al 1%; rara, meno del 1%. Per gli ostracodi, si è considerata abbondante la presenza di più di 9 esemplari, comune da 9 a 5, subordinata da 4 a 2, rara quella di un individuo.

L'analisi paleontologica ha permesso di riconoscere (tab. 2) quattro gruppi di associazioni faunistiche (M, R, B e F); ulteriori suddivisioni hanno consentito, in certi casi, di attribuire singole associazioni fossili a sottoambienti più specifici. Le associazioni M sono indicative di ambienti marini generalmente poco profondi, le associazioni R sono caratterizzate da faune rimaneggiate e ridepositate in ambienti costieri, generalmente di spiaggia, le associazioni B sono tipiche di aree lagunari salmastre, quelle F indicano ambienti continentali dulcicoli, come laghi o paludi.

1.1.1. - Associazioni a foraminiferi bentonici (a cura di M. L. Colalongo e S. C. Vaiani)

Associazione **B**

L'associazione presenta una microfauna scarsamente differenziata, ma ricca di individui, ed è composta da specie tolleranti condizioni di scarsa salinità (tab. 2). Sono dominanti le specie *Ammonia tepida* e *Ammonia parkinsoniana*. Sono inoltre localmente presenti alcuni esemplari di *Elphidium granosum*, *Elphidium maioricensis* e *Nonion depressulum*.

Associazione **R**

L'associazione è composta da esemplari mal conservati di numerose specie di foraminiferi, fra le forme più comuni, si segnalano *Ammonia beccarii*, *Elphidium crispum*, *Textularia* spp. e Miliolidae. Si rinvenivano inoltre alcuni foraminiferi planctonici rimaneggiati.

Fig. 33 (v. pagina precedente) - Colonna schematica riassuntiva del sondaggio 187-S1 che descrive l'interpretazione paleoecologica delle varie associazioni paleontologiche presenti e la correlazione fra l'evoluzione paleoambientale registrata nel sondaggio e la curva globale del rapporto isotopico dell'ossigeno, che registra le variazioni paleoclimatiche e il volume totale dei ghiacci terrestri.

Associazione **Ma**

L'associazione è caratterizzata da un basso numero di specie e di individui ed è quasi interamente composta da forme tolleranti condizioni iposaline e moderatamente schizoaline, come *Ammonia tepida* ed *Ammonia parkinsoniana*; sono inoltre presenti alcuni esemplari di *Ammonia perlucida*, *Elphidium* spp. e *Nonion depressulum*.

Associazione **Mb**

L'associazione è caratterizzata essenzialmente da specie di *Ammonia* ed *Elphidium*, si osservano, in particolare, notevoli concentrazioni di *Ammonia beccarii*, *Ammonia inflata*, *Ammonia papillosa*, *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Elphidium advenum*, *Elphidium crispum*, *Elphidium granosum*, *Elphidium lidoense*, *Elphidium macellum* ed *Elphidium poeyanum*. Sono inoltre presenti numerose specie di Miliolidae. Localmente, si osservano concentrazioni di *Adelosina elegans*, *Adelosina mediterranea*, *Cycloforina costata*, *Miliolinella elongata*, *Pseudotriloculina oblonga*, *Quinqueloculina seminula*, *Quinqueloculina stelligera*, *Siphonaperta aspera*, *Triloculina schreiberiana* e *Triloculina trigonula*.

Associazione **Md**

L'associazione è dominata da specie di Miliolidae e presenta una notevole differenziazione faunistica. Fra le forme più frequenti, si segnalano: *Adelosina cliarensis*, *Adelosina mediterranea*, *Cycloforina costata*, *Miliolinella elongata*, *Pseudotriloculina oblonga*, *Pseudotriloculina rotunda*, *Quinqueloculina lata*, *Quinqueloculina seminula*, *Siphonaperta aspera*, *Triloculina adriatica*, *Triloculina gibba*, *Triloculina marioni*, *Triloculina schreiberiana* e *Triloculina trigonula*. Si osservano inoltre numerose specie di *Elphidium* e *Textularia*.

Associazione **Me**

L'associazione Me mostra caratteri simili a quella Md, ma gli esemplari di *Textularia* vi appaiono più numerosi e sono costituiti principalmente da *Textularia agglutinans* e *Textularia bocky*, mentre *Elphidium* e Miliolidae sono sensibilmente più scarsi, sebbene mostrino una differenziazione specifica elevata.

1.1.2. - Associazioni ad ostracodi

(a cura di N. Pugliese e E. Tsakiridis)

L'analisi delle microfaune ad ostracodi ha portato alla distinzione di quattro associazioni (tab. 3): una di ambiente dulcicolo (F), due di acque salmastre (B1 e B2) ed una di ambiente marino poco profondo (M).

Associazione **F**

La microfauna è dominata da *Ilyocypris bradyi*. Sono inoltre localmente presenti rari esemplari di *Candona neglecta*, *Cyclocypris? serena*, *Cyclocypris laevis*, *Cypria ophthalmica*, *Darwinula stevenson*, *Heterocypris salina*, *Limnocythere* sp., *Pseudocandona sarsi* e *Pseudocandona sucki*.

Tab. 2 - Distribuzione dei foraminiferi bentonici nelle associazioni osservate. B = zone salmastre; R = associazioni rimaneggiata o trasportate; Ma-Me = ambienti marini (da BONDESAN et alii, 2006).

FORAMINIFERI	Associazione					
	B	R	Ma	Mb	Md	Me
<i>Adelosina cliarensis</i> (Heron-Allen & Earland)					—	
<i>Adelosina dubia</i> (d'Orbigny)						
<i>Alelosina duthiersi</i> Schlumberger						
<i>Adelosina elegans</i> (Williamson)						
<i>Adelosina ferussacii</i> (d'Orbigny)						
<i>Adelosina intricata</i> (Terquem)						
<i>Adelosina italica</i> (Terquem)						
<i>Adelosina longirostra</i> (d'Orbigny)						
<i>Adelosina mediterraneensis</i> (Le Calvez J. & Y.)					—	
<i>Adelosina</i> sp.						
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus)						
<i>Ammonia inflata</i> (Seguenza)						
<i>Ammonia papillosa</i> (d'Orbigny)						
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny)	—		—			
<i>Ammonia perlucida</i> (Heron-Allen & Earland)	—					
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	—		—			
<i>Asterigerinata mamilla</i> (Williamson)						
<i>Asterigerinata</i> sp.						
<i>Buccella granulata</i> (Di Napoli Alliata)						
<i>Bulimina elongata</i> d'Orbigny						
<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker & Jacob)						
<i>Criboelphidium decipiens</i> (Costa)						
<i>Criboelphidium granosum</i> (d'Orbigny)				—		
<i>Criboelphidium lidoense</i> (Cushman)						
<i>Criboelphidium pauciloculum</i> (Cushman)						
<i>Criboelphidium poeyanum</i> (d'Orbigny)						
<i>Criboelphidium translucens</i> (Natland)						
<i>Cycloforina contorta</i> (d'Orbigny)						
<i>Cycloforina costata</i> (d'Orbigny)					—	
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman)						
<i>Elphidium complanatum</i> (d'Orbigny)						
<i>Elphidium crispum</i> (Linnaeus)						
<i>Elphidium jenseni</i> Cushman						
<i>Elphidium macellum</i> (Fichtel & Moll)						
<i>Elphidium maioricensis</i> (Colom)						
<i>Lagena laevis</i> (Montagu)						
<i>Lagena semistriata</i> Williamson						

FORAMINIFERI	Associazione					
	B	R	Ma	Mb	Md	Me
<i>Miliolinella elongata</i> Kruit					■	
<i>Miliolinella subrotunda</i> (Montagu)						
<i>Nonion depressulum</i> (Walker & Jacob)						
<i>Nonion</i> sp.						
<i>Nonionella opima</i> Cushman						---
<i>Nonionella turgida</i> (Williamson)						---
<i>Planorbulina mediterraneensis</i> (d'Orbigny)						---
<i>Protoelphidium</i> sp.						---
<i>Pseudotriloculina oblonga</i> (Montagu)					■	
<i>Pseudotriloculina rotunda</i> (d'Orbigny)					■	
<i>Quinqueloculina lata</i> Terquem					■	
<i>Quinqueloculina oblonga</i> Reuss					■	
<i>Quinqueloculina padana</i> Perconig						---
<i>Quinqueloculina parvula</i> Schlumberger						---
<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus)					■	
<i>Quinqueloculina stelligera</i> Schlumberger						---
<i>Quinqueloculina vulgaris</i> d'Orbigny						---
<i>Rosalina bradyi</i> (Cushman)						---
<i>Sigmoilinita tenuis</i> (Czjzek)						---
<i>Siphonaperta aspera</i> (d'Orbigny)					■	
<i>Spiroloculina communis</i> Cushman & Todd						---
<i>Spiroloculina excavata</i> d'Orbigny						---
<i>Stainforthia complanata</i> (Egger)						---
<i>Textularia aciculata</i> d'Orbigny						---
<i>Textularia agglutinans</i> d'Orbigny						■
<i>Textularia bocki</i> Höglund						■
<i>Textularia conica</i> d'Orbigny						---
<i>Textularia sagittula</i> Defrance						---
<i>Textularia truncata</i> Höglund						---
<i>Triloculina adriatica</i> Le Calvez J. & Y.					■	
<i>Triloculina affinis</i> d'Orbigny						---
<i>Triloculina gibba</i> d'Orbigny					■	
<i>Triloculina inflata</i> d'Orbigny						---
<i>Triloculina marioni</i> Schlumberger					■	
<i>Triloculina schreiberiana</i> d'Orbigny					■	
<i>Triloculina tricarinata</i> d'Orbigny						---
<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck)					■	

Tab. 3 - Distribuzione degli ostracodi nelle associazioni osservate. F = zone dulcicole; B1-B2 = zone salmastre; Ma = ambienti marini (da BONDESAN et alii, 2006).

OSTRACODI	Associazione			
	F	B1	B2	M
■ abbondante ▬ comune — scarso - - raro				
<i>Basslerites berchoni</i> (Brady)			- - - -	- - - -
<i>Callistocythere rastrifera</i> Ruggieri				- - - -
<i>Candona neglecta</i> (Sars)	- -			
<i>Carinocythereis whitei</i> (Baird)				- - - -
<i>Cistacythereis turbida</i> (G. W. Müller)				- - - -
<i>Cyclocypris ? serena</i> (Koch)	- -			
<i>Cyclocypris laevis</i> (G. W. Müller)	- -			
<i>Cypria ophthalmica</i> (Jurine)	- -			
<i>Cyprideis torosa</i> (Jones)				- - - -
<i>Cytheretta subradiosa</i> (Roemer)				- - - -
<i>Cytheridea neapolitana</i> Kollmann				- - - -
<i>Cytherois fischeri</i> (Sars)			- - - -	
<i>Darwinula stevenson</i> (Brady & Robertson)	- -			
<i>Hemicytherura videns</i> (G. W. Müller)			- - - -	
<i>Heterocypris salina</i> (Brady)	- -			
<i>Ilyocypris bradyi</i> Sars	■			
<i>Leptocythere bacescoi</i> (Rome)				- - - -
<i>Leptocythere lagunae</i> Hartmann				- - - -
<i>Leptocythere macella</i> Ruggieri				- - - -
<i>Leptocythere multipunctata</i> (Seguenza)				- - - -
<i>Leptocythere ramosa</i> (Rome)				- - - -
<i>Limnocythere</i> sp.	- -			
<i>Loxoconcha elliptica</i> Brady				- - - -
<i>Loxoconcha ovulata</i> Costa				- - - -
<i>Loxoconcha rhomboidea</i> (Fischer)				- - - -
<i>Loxoconcha rubritincta</i> Ruggieri				- - - -
<i>Loxoconcha</i> sp.				- - - -
<i>Loxoconcha subrugosa</i> Ruggieri				- - - -
<i>Microcythere vitrea</i> Bonaduce, Ciampo & Masoli				- - - -
<i>Neocytherideis fasciata</i> (Brady & Robertson)				- - - -
<i>Palmoconcha turbida</i> (G. W. Müller)				- - - -
<i>Pontocythere turbida</i> G. W. Müller				- - - -
<i>Procytherideis</i> sp.				- - - -
<i>Pseudocandona sarsi</i> (Hartwig)	- -			
<i>Pseudocandona sucki</i> (Hartwig)	- - -			
<i>Sagmatocythere napoliana</i> (Puri)				- - - -
<i>Semicytherura incongruens</i> (G. W. Müller)				- - - -
<i>Semicytherura rarecostata</i> Bonaduce, Ciampo & Masoli				- - - -
<i>Semicytherura</i> sp. 2				- - - -
<i>Semicytherura</i> sp.4				- - - -
<i>Semicytherura sulcata</i> (G.W. Müller)				- - - -
<i>Tetracytherura angulosa</i> (Seguenza)				- - - -
<i>Xestoleberis</i> ex gr. <i>X. dispar</i> G. W. Müller				- - - -
<i>Xestoleberis</i> sp.				- - - -

Associazione B1

L'ostracofauna monospecifica è composta esclusivamente da *Cyprideis torosa*.

Associazione B2

La microfauna è più differenziata della precedente ed è composta da esemplari di *Basslerites berchoni*, *Cyprideis torosa*, *Cytherois fischeri*, *Hemicytherura videns*, *Leptocythere bacescoi*.

Associazione M

L'associazione presenta un'ostracofauna differenziata, in cui si osservano numerosi esemplari dei generi *Leptocythere*, *Loxoconcha*, *Procytherideis*, *Semicytherura* e *Xestoleberis*. Fra le specie più frequenti, si segnalano *Loxoconcha rubritincta*, *Semicytherura incongruens* e *Semicytherura sulcata*; sono inoltre localmente presenti valve di *Cytheridea neapolitana* e *Tetracytherura angulosa*.

1.1.3. - *Associazioni a molluschi*

(a cura di M. Bondesan e M. Stefani)

Le faune a molluschi (tab. 4) hanno permesso di riconoscere quattro associazioni: una di ambiente dulcicolo (F), una di acque salmastre (B) e due di ambiente marino poco profondo (M1 e M2).

Associazione F

L'associazione è dominata da *Planorbis* e *Hydrobia*; sono inoltre localmente presenti esemplari di *Andonta* sp., *Bythinia* sp., *Lymnaea stagnalis*, *Pisidium* sp., *Unio* sp. e *Valvata piscinalis*.

Associazione B

Cerastoderma glaucum è la specie più comune di questa associazione che presenta anche numerosi esemplari di *Bittium reticulatum*.

Associazione M1

L'associazione è dominata da *Chamelea gallina* e *Lentidium mediterraneum*. Oltre a queste, sono comunemente presenti anche *Bittium reticulatum*, *Dentalium* sp. e *Glycymeris insubrica*. Questi molluschi sono spesso concentrati in strati da tempesta.

Associazione M2

La malacofauna è dominata da *Corbula gibba* e *Turritella communis*, a cui si associano numerosi esemplari di *Corbulidae*, *Turritella* sp., *Glycymeris insubrica* e *Dentalium* sp..

1.2. - INTERPRETAZIONE PALEOECOLOGICA SINTETICA

Le associazioni F sono tipiche di ambienti continentali, quali laghi e paludi d'acqua dolce e si ritrovano in sedimenti fini, spesso ricchi di resti vegetali. Esse

Tab. 4 - Distribuzione dei molluschi nelle associazioni osservate. F = zone dulcicole; B = zone salmastre; M1-M2 = ambienti marini (modificato da BONDESAN et alii, 2006).

MOLLUSCHI	Associazione			
	F	B	M1	M2
■ abbondante ▬ comune — scarso - - raro				
<i>Andonta</i> sp.				
<i>Aporrhais</i> sp.				
<i>Bythinia</i> sp.				
<i>Bittium reticulatum</i> (Da Costa)		▬		
<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière)		▬		
<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus)			▬	
<i>Chlamys</i> sp.				
<i>Ciclope neritea</i> (Linnaeus)				
<i>Corbula gibba</i> (Olivi)				▬
Corbulidae				▬
<i>Dentalium</i> sp.			▬	
<i>Donax trunculus</i> (Linnaeus)				
<i>Glycymeris insubrica</i> (Brocchi)			▬	
<i>Hydrobia</i> sp.	▬			
<i>Lentidium mediterraneum</i> (Costa)			▬	
<i>Lymnaea stagnalis</i> (Linnaeus)				
<i>Loripes lacteus</i> (Linnaeus)				
<i>Macra stultorum</i> (Linnaeus)				
<i>Mysia undata</i> (Pennant)				
<i>Nassarius reticulatus</i> (Linnaeus)				
<i>Pisidium</i> sp.				
<i>Planorbis carinatus</i> (Linnaeus)				
<i>Planorbis complanatus</i> (Linnaeus)				
<i>Planorbis corneus</i> (Linnaeus)				
<i>Planorbis vortex</i> (Linnaeus)	▬			
<i>Planorbis</i> sp.	▬			
<i>Scrobicularia plana</i> (Da Costa)				
<i>Turritella communis</i> Risso				▬
<i>Turritella</i> sp.				▬
<i>Unio</i> sp.				
<i>Valvata piscinalis</i> (Mueller)				

sono dominate dall'ostracode *Ilyocypris bradyi*, a cui si associano malacofaune composte principalmente da *Planorbis* e *Hydrobia*, mentre non sono presenti foraminiferi. In vari campioni, sono stati rinvenuti anche forme subaeree, quali gasteropodi polmonati.

Le associazioni B indicano ambienti salmastri di palude o laguna costiera. Queste associazioni sono caratterizzate da faune poco diversificate, dominate dai foraminiferi *Ammonia tepida* ed *A. parkinsoniana* e dal lamellibranco *Cerastoderma glaucum*. Le faune ad ostracodi sono particolarmente sensibili alle variazioni ecologiche di questi ambienti salmastri ed è stato quindi possibile distinguere due diverse associazioni, la B1 e la B2. La prima, composta unicamente da *Cyprideis torosa*, è ritenuta indicativa di zone a salinità molto bassa, soggette a forti afflussi di acque continentali. L'associazione B2 appare più diversificata, dato che vi si osservano, oltre a *Cyprideis torosa*, esemplari di *Basslerites berchoni*, *Cytherois fischeri*, *Hemicytherura videns* e *Leptocythere bacescoi*. Essa indica ambienti costieri, soggetti a minori apporti di acque dolci e meglio comunicanti con aree marine aperte, come le parti esterne di lagune o baie interdistributrici.

L'associazione a foraminiferi R si ritrova all'interno di sedimenti sabbiosi bioclastici ed indica ambienti ad alta energia, come cordoni litorali o di fronte deltizia. Essa è composta da pochi esemplari, spesso frammentati e con evidenze di abrasione; sono localmente presenti anche forme rimaneggiate da unità stratigrafiche più antiche, comprendenti talvolta anche forme planctoniche.

Il gruppo di associazioni M indica ambienti marini (fig. 34). All'interno di questo gruppo, è stato possibile distinguere le quattro associazioni a foraminiferi Ma, Mb, Md e Me che registrano un progressivo aumento della profondità e della distanza dalle bocche dei canali distributori delitizi, ma sempre nell'ambito della zona infralitorale.

L'associazione Ma è tipica di zone marino-marginali, fortemente influenzate da afflussi di acque fluviali. Essa è composta da pochi esemplari di foraminiferi, appartenenti a specie tolleranti condizioni iposaline e schizoaline, come *Ammonia tepida*, *Ammonia parkinsoniana* e *Elphidium* spp.

Questi taxa dominano anche l'associazione Mb che tuttavia è maggiormente diversificata e più ricca di esemplari. Si osservano, in particolare, varie specie di *Elphidium* e Miliolidae. Rispetto ad Ma, questa associazione riflette una minore influenza fluviale ed una salinità più costante.

L'associazione Md indica condizioni marine infralitorali relativamente aperte e soggette a scarsi influssi fluviali. La microfauna a foraminiferi è ben diversificata ed è dominata da Miliolidae, il resto dell'associazione è composto essenzialmente da specie di *Textularia* ed *Elphidium*. La notevole concentrazione di specie epifite, quali *Adelosina cliarensis*, *Pseudotriloculina rotunda* e *Triloculina schreiberiana*, testimonia una diffusa copertura algale al fondo.

Me indica condizioni marine infralitorali aperte, a circa 20-40 metri di profondità (BONDESAN *et alii*, 2004). Essa è in buona parte composta dalle specie già osservate in Md, ma gli esemplari di *Textularia* sono qui notevolmente più abbondanti.

L'associazione ad ostracodi M è ben diversificata e caratterizzata da numerose specie di *Leptocythere*, *Loxoconcha*, *Procytherideis* e *Semicytherura*. Essa indica ambienti marini, generalmente poco profondi. La locale presenza di valve



Fig. 34 - Foraminiferi bentonici dal sottosuolo del Foglio. In alto (A): Esempio d'associazione Md, dominata da specie di Miliolidae e con notevole differenziazione faunistica; fra i generi più frequenti si osservano *Adelosina*, *Quinqueloculina* e *Triloculina*. (Sondaggio 187-S1, profondità m 20.85). In basso (B): associazione Me, più ricca in *Textularia* e forme agglutinanti e povera in Miliolidae (187-S1, m 118,55). Entrambe le associazioni si sono formate in mare relativamente aperto. Per il contesto stratigrafico di queste faune, vedi le figure 32 e 33 e la discussione nel testo.

di *Cytheridea neapolitana* e *Tetracytherura angulosa* riflette probabilmente un leggero approfondimento batimetrico, sempre nell'ambito della zona infralitorale.

Le malacofaune marine hanno permesso di distinguere due associazioni: M1 e M2. La prima indica fondali sabbiosi o limoso-sabbiosi, soggetti all'azione delle onde da tempesta ed a significative variazioni di salinità. M1 è infatti dominata da *Chamelea gallina* e *Lentidium mediterraneum*, a cui si associano esemplari di *Bittium reticulatum*, *Dentalium* spp. e *Glycymeris insubrica*. I resti possono essere frantumanti e concentrati in strati di tempestiti. L'associazione M2 indica un ambiente infralitorale a scarsa energia idrodinamica, relativamente più profondo e caratterizzato da fondali fangosi bioturbati e da condizioni di salinità relativamente costanti. Essa è dominata da *Corbula gibba* e dal gasteropode *Turritella communis*, il resto della macrofauna a molluschi è essenzialmente composto da Corbulidae, *Glycymeris insubrica*, da altre specie di *Turritella* e dallo scafopode *Dentalium* spp. I fossili presentano limitati segni di fatturazione meccanica e le infaune si possono ancora ritrovare in posizione di vita.

2. - ANALISI PALINOLOGICHE

(a cura di L. Cattani)

L'analisi pollinica è stata condotta su 82 dei 263 campioni prelevati. Durante la preparazione dei pollini per le analisi, si sono incontrati notevoli problemi. In un primo gruppo di 8 campioni, si sono sottoposti ad attacchi chimici differenziati (acido cloridrico, acido fluoridrico, soda caustica) 10 g di sedimento. Valutata la scarsità dei resti pollinici, si è proceduto, per tutti gli altri campioni, al trattamento di 30 g, per i fanghi più ricchi in sostanza organica, e di 50 g, per quelli più limosi. Alle reazioni di disgregazione chimica si è quindi fatto seguire un "arricchimento pollinico" per flottazione in cloruro di zinco liquido, con densità 2 circa. Per la determinazione specifica dei pollini, è stato utilizzato un microscopio a luce trasmessa ad alta risoluzione (Leica DMLB). Di ciascun preparato, sono stati analizzati in dettaglio 6-7 vetrini (24 x 60 mm). L'analisi ha fornito solo 7 campioni con contenuto pollinico relativamente abbondante e 28 campioni con contenuto pollinico inferiore al minimo statistico; i rimanenti sono risultati sterili. Nei 7 spettri valutabili, a fronte di uno stato di conservazione ottimale di tutti i granuli, si registra una notevole povertà di taxa pollinici, per cui si è riusciti ad ottenere associazioni statisticamente significative in soli 4 campioni. Questa povertà non è legata all'alterazione diagenetica, ma alla mancata sedimentazione dei resti pollinici, oltre che a fattori legati al campionamento ed alla preparazione. La discontinuità dei risultati pollinici non ha consentito l'elaborazione di un diagramma continuo e si sono quindi potute ricavare solo limitate conclusioni sul contesto climatico-vegetazionale. Queste conclusioni si inquadrano comunque bene con i dati dell'analisi sedimentologica e micropaleontologica, rafforzando quindi l'interpretazione paleoambientale. Per il contesto

stratigrafico dei campioni analizzati, si confronti la colonna del Sondaggio 187-S1 in figura 32 e figura 33.

Il campione 48 (25,20-25,30 m) ha fornito 158 granuli. Il campione proviene dalla parte inferiore del subsistema di Ravenna, più precisamente dal tetto della successione trasgressiva di piana costiera olocenica. Le erbacee (37,34%) sono subordinate alle arboree (62,66%), rappresentate da conifere, fra cui spiccano *Pinus* (17,4%) e *Abies* (11,4%), mentre fra le latifoglie emergono *Quercus* (13,8%) e *Corylus* (13,2%). La presenza dell'abete (*Abies*), con buona probabilità di tipo bianco, ben si inquadra con l'età olocenica dei sedimenti, confermata dalla datazione al ¹⁴C. La presenza di questi pollini testimonia l'esistenza di fasce vegetazionali montane, verosimilmente sviluppate fra 800 e 1800 m di altitudine, con clima freddo e relativamente umido, ma con temperature medie invernali non particolarmente rigide. Querce (*Quercus*) e noccioli (*Corylus*) documentano ambienti temperati e ben soleggiati, sviluppati a quote più basse e nella Pianura Padana. Fra le essenze erbacee, dominano *Compositae*, *Tubuliflorae* (15,6%) e *Cruciferae* (10,2%) e, in percentuale minore, *Potamogetonaceae* (4,2%), *Ranunculaceae* (3%) e *Thypha angustifolia* (1,8%), tipiche di ambienti umidi di pianura alluvionale, con acque dolci in lento corso o stagnanti. Il contenuto pollinico del campione 71 (50,10 m) si è rivelato il più ricco, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, con 833 granuli. Il campione proviene da un livello d'argille organiche, presente immediatamente sotto la base delle sabbie di media pianura alluvionale fredda, deposte in fasi dell'ultima glaciazione. Le essenze arboree sono le più rappresentate (66,75%) e sono dominate dalle aghifoglie, in particolare dall'abete rosso (*Picea*, 47,78%) e dal *Pinus* (8,04%), che testimoniano ambienti freddi, verosimilmente montani. Sono presenti, con percentuali inferiori, anche elementi tipici dell'associazione forestale *Quercus-Carpinetum*, quali *Quercus* (2,76%), *Acer* (0,6%) e *Carpinus* (0,6%) e di quella *Abieti-Fagetum* (*Abies* 0,36% e *Fagus* 1,68%), a sottolineare condizioni temperato-fresche con piovosità elevata, associate ad altre più fredde, sviluppate in aree montane. Ontano e betulla (*Alnus* 2,64%, *Betula* 2,28%) documentano ambienti con clima temperato-freddo, ricchi d'acque dolci più o meno stagnanti. Una serie abbastanza nutrita di erbacee indica ambienti ripariali e lacustro-palustri, come *Cyperaceae* (8,16%), *Iridaceae* (1,44%), *Nympheaceae* (0,96%), *Sparganiaceae* (1,08%) e *Typha angustifolia* (5,88%). Nell'impossibilità di definire palinologicamente il genere e la specie della maggioranza delle piante erbacee, è opportuno ricordare che anche le Liliacee, Umbellifere, Ranunculacee e l'*Artemisia* comprendono molte varietà legate ad ambienti umidi. Tale insieme floristico, soprattutto i pollini delle piante legnose, sembra indicare una fase interstadiale relativamente temperata, sviluppata all'interno di un ciclo glaciale; facendo riferimento alla datazione ¹⁴C, il campione sarebbe ascrivibile all'oscillazione temperata che prelude all'Interpleniglaciale Würmiano. Il campione 92 (55,00 m), proviene dalla parte superiore di una spessa successione di piana alluvionale. Nonostante l'abbondanza di granuli pollinici (306), il campione non è statisticamente signifi-

cativo, a causa dell'eccessiva concentrazione di pollini di *Iridaceae*. La varietà di taxa presenti è quindi inferiore al minimo necessario per definire un ricoprimento vegetale. Le essenze legnose (23,86%) sono dominate da conifere, quali *Picea* (15,36%) e *Pinus* (3,92%), indicatori di ambienti montani freddi con piovosità moderata; le abbondanti essenze erbacee (76,14%) non sembrano al contrario significative, se non per la frazione (9,6%) che registra ambienti umidi locali, con in particolare la forte presenza di *Iridaceae*, legata ad un ambiente di palude dolce. Per il campione 115 (74,70 m) valgono le stesse osservazioni proposte per lo spettro pollinico soprastante. Esso proviene da una porzione sottostante della spessa successione di piana alluvionale. Le essenze erbacee (77,64%) prevalgono nettamente sulle arboree (22,36%) e documentano la presenza di pianure alluvionali e vicine aree palustri. In questo campione, è sovrarappresentato il polline di *Butomus*, detto "giunco fiorito", che alligna nelle acque basse di canali e paludi. Dai risultati sembra trasparire un contesto climatico piuttosto freddo e localmente umido. Anche il campione 138 (85,10 m) non è ben interpretabile statisticamente, per la scarsa rappresentatività dei taxa. Esso pure proviene da facies di piana alluvionale. La presenza di quercia fra le arboree (18,3%) suggerisce climi piuttosto temperati e sono ben documentati ambienti palustri e di pianura costiera umida, localizzati nei pressi dell'ambiente di sedimentazione. Lo spettro pollinico del campione 159 (95,10 m) è invece valido ai fini dell'interpretazione paleoambientale, con 321 granuli totali, dominati dalla componente erbacea (76,01%) che documenta chiaramente una vegetazione di bassa pianura costiera, con elevata incidenza di specie palustri, quali tife, ranuncoli acquatici, ciperacee e giunco fiorito, associate ad erbacee tendenzialmente xerofile, colonizzatrici di ambienti dunari o retrodunari sabbiosi. Fra le piante arboree, spiccano i pini, non sempre ben identificabili da un punto di vista specifico su base pollinica, ma sempre indicatori di aridità, verosimilmente legata ad ambienti costieri sabbiosi. Il secondo elemento arboreo significativo è rappresentato dall'ontano (*Alnus*). Il campione 192 (116,68 m) è fra i più statisticamente significativi, sia per la quantità dei granuli pollinici, spore comprese (oltre 300), sia per numero di taxa. L'associazione è preservata all'interno di fanghi marini di fronte del delta, depositi durante una fase di stazionamento alto del livello marino. Il dominio delle piante arboree, fra cui molti elementi termofili, legati ad ambienti caldo-umidi di tipo caucasico (*Pterocarya*), documenta un contesto climatico decisamente temperato-caldo e piuttosto piovoso. Questa associazione pontico-caucasica perdura in Italia fino all'interglaciale eemiano. Ad essa si accompagnano, in aree montane, fasce vegetazionali a latifoglie temperate di tipo *Quercus-Carpinetum* e, in ambienti montani d'alta quota più freddi, consorzi forestali a conifere. La componente erbacea testimonia aree palustri, circondate da spazi aperti a graminacee, sviluppati in aree di pianura alluvionale o del delta. Questo campione può essere attribuito ad una fase iniziale di leggero deterioramento dell'assetto climatico ottimale dell'interglaciale Eemiano, in buon accordo con il contesto stratigrafico generale.

3. - ANALISI GRANULOMETRICHE E PETROGRAFICHE (a cura di A. Ceriani, A. Di Giulio e F. Serra)

In questo paragrafo sono riassunti gli aspetti principali delle procedure analitiche adottate, mentre per i dettagli metodologici si fa riferimento all'Appendice 3. Nell'ambito del sondaggio 187-S1 sono stati prelevati 6 campioni di sabbie. Su ciascuno di essi è stata effettuata un'analisi granulometrica tramite setacciatura, con vagli standard ad intervallo di 1 phi, tra -4 e +5 phi (fig. 35 e tab. 5). La frazione compresa tra 1-2 phi (0.5-0.25 mm) è stata inglobata in resina per essere studiata in sezione sottile al microscopio ottico. L'analisi petrografica è stata condotta con conteggio per punti secondo il Metodo Gazzi-Dickinson (DI GIULIO & VALLONI, 1992; CIBIN & DI GIULIO, 1996), su 250 punti per campione. La composizione principale è espressa dai parametri Quarzo, Feldspati, Litici+Carbonati Extrabacinali (diagramma QFL+CE), particolare attenzione è stata posta alla frazione litica a tessitura fine, espressa dai parametri Litici metamorfici, Litici vulcanici, Litici silicoclastici+carbonatici (diagramma LmLvLs+C), che forniscono gli elementi chiave per discriminare le diverse sorgenti di sedimento. I dati composizionali sono illustrati in tabella 6; in figura 36 sono riportati i diagrammi della Composizione Principale (fig. 36A) e della Composizione Litica dell'Ossatura (fig. 36B). La frazione compresa tra 2-4 phi è stata ulteriormente separata, utilizzando liquidi a diversa densità, per l'analisi microscopica dei minerali pesanti (fig. 37).

Tab. 5 - Parametri granulometrici principali dei campioni dal sondaggio 187-S1. I valori di cernita, espressi sotto forma di *trask index*, descrivono sabbie ben cernite.

Sondaggio 187S1						
Profondità (in metri)	42,8	72,7	100,7	136,3	160,2	187,7
MEDIA (phi)	2,77	1,63	1,53	1,75	2,29	1,85
MEDIA (mm)	0,14	0,32	0,35	0,29	0,2	0,27
TRASK INDEX	1,39	1,36	1,24	1,36	1,19	1,41

3.1. - ANALISI GRANULOMETRICHE

In tabella 5 sono riportati i parametri granulometrici principali (media e cernita). I parametri granulometrici considerati sono il diametro medio (M) ed il grado di selezionamento (cernita), espresso tramite il *trask index* (T.I.). I risultati delle analisi granulometriche sono espressi dalle curve di frequenza e curve cumulative (fig. 35).

Le curve di frequenza non evidenziano particolari differenze nel tipo di distribuzione (unimodale o bimodale), anche se si possono osservare alcune

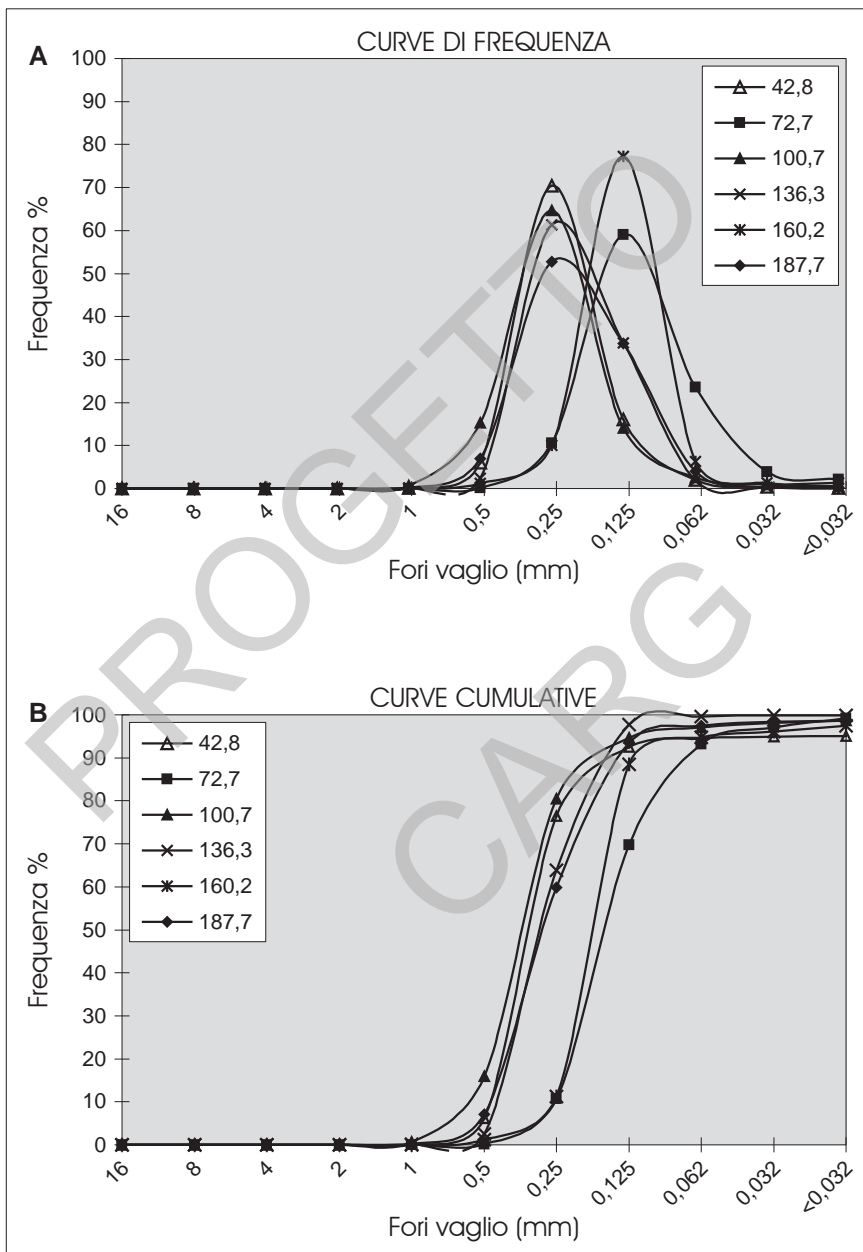


Fig. 35 - In alto, curve granulometriche di frequenza e, in basso, curve cumulative relative alle misure granulometriche sui campioni del sondaggio 187-S1.

variazioni nella distribuzione modale. Le analisi granulometriche non si sono quindi dimostrate utili per separare diverse popolazioni di campioni.

3.2. - ANALISI PETROGRAFICHE

Dai dati bibliografici sui fiumi attuali (GARZANTI *et alii*, 1988; GAZZI *et alii*, 1973; CAVAZZA *et alii*, 1993) e dalle analisi effettuate su sondaggi di Fogli emiliano-romagnoli adiacenti si ricava che i principali caratteri utili all'identificazione della petrofacies sono (1) la composizione Principale dell'Ossatura (DI GIULIO & VALLONI, 1992); (2) la composizione della Frazione Litica dell'Ossatura (DI GIULIO & VALLONI, 1992); (3) l'abbondanza relativa di granato, epidoto, anfiboli e pirosseni fra i minerali pesanti.

I campioni del sondaggio 187-S1 appaiono piuttosto omogenei, sia nella Composizione Principale (fig. 36A), sia nella frazione Litica (fig. 36B). In base alla Composizione della Frazione Litica dell'Ossatura, in particolar modo all'abbondanza di frammenti di metamorfiti (tra 39 e 70,9% sul totale litici), possiamo stabilire con sicurezza che tutte le sabbie analizzate sono state deposte dal Fiume Po. Questa attribuzione è confermata dall'analisi dei minerali pesanti: tutti i campioni (fig. 37) presentano infatti granato in quantità variabile tra il 15 e il 35%, epidoto variabile tra il 20 e il 30%, orneblenda *l.s.* variabile tra il 20 e il 40% e pirosseno attorno al 10%, il che riconduce ad una provenienza padana *s.s.* (GAZZI *et alii* 1973; MARCHESINI *et alii*, 1999, 2000).

Sulla base della Composizione Principale, della Frazione Litica dell'Ossatura e del contenuto in minerali pesanti è quindi possibile riconoscere, attraverso tutto l'intervallo indagato, un'unica petrofacies, chiaramente riferibile a depositi del Fiume Po (cfr. MARCHESINI *et alii*, 1999, Appendice alle NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000, Foglio 223-Ravenna, 2002). La sorgenti

Tab. 6 - Parametri petrografici principali del sondaggio 187-S1, espressi come valore percentuale sul totale della frazione d'ossatura e della frazione litica.

PROFONDITÀ CAMPIONE dal Sondaggio 187-S1 (in metri)	42,8	72,7	100,7	136,3	160,2	187,7
PARAMETRI PETROGRAFICI (%):						
Q	46,9	40,4	50,6	41,3	42,4	46,3
F	22,7	20,4	19,5	27,0	20,7	25,4
L+C	30,4	39,2	29,9	31,7	36,9	28,2
Lm	70,9	39,0	66,7	42,0	43,0	42,0
Lv	7,8	11,0	4,0	16,0	18,0	25,0
Ls+C	21,4	50,0	29,3	42,0	39,0	33,0

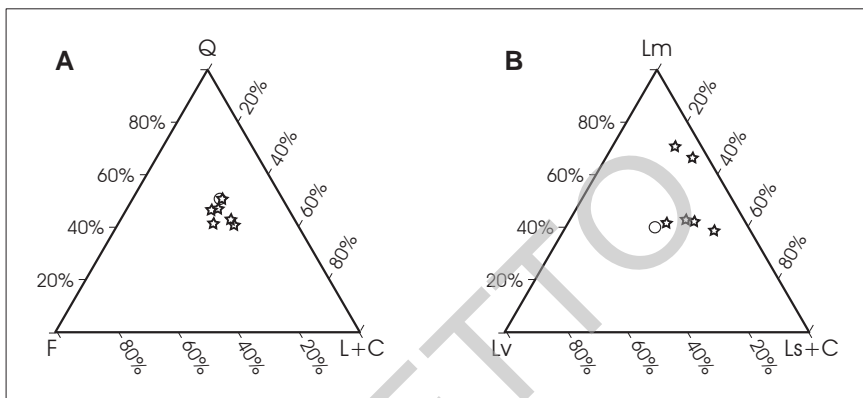


Fig. 36 - Diagrammi triangolari relativi a campioni provenienti dal Sondaggio 187SI: (A) alla frazione principale d'ossatura (QFL+C) e (B) alla frazione litica (LmLvLs+C). Q: quarzo totale; F: K-feldspato+plagioclasio; L: frammenti litici; C: carbonati extrabacinali; Lm: litici metamorfici; Lv: litici vulcanici; Ls: litici sedimentari. Il cerchietto vuoto si riferisce alla media della Frazione Principale d'Ossatura e della Frazione Litica di campioni di Po attuale.

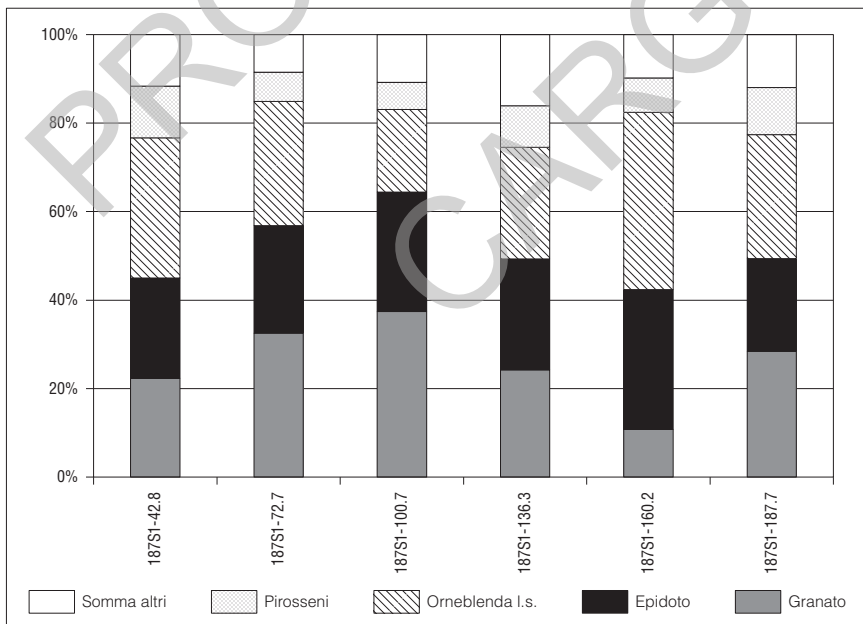


Fig. 37 - Istogramma delle abbondanze percentuali dei minerali accessori pesanti più significativi. L'attribuzione della provenienza delle due petrofacies deriva dal confronto con quelle riportate in MARCHESINI e alii, 2000.

te principale dei clasti con taglia della sabbia è la porzione centro-occidentale dell'arco alpino. Le differenze minori tra campioni non appaiono correlabili alla distribuzione stratigrafica od alla facies deposizionale e sembrano piuttosto riflettere la variabilità intrinseca del deposito.

4. - EVOLUZIONE PALEOAMBIENTALE (a cura di M. Stefani e S. C. Vaiani)

Come accennato, la successione carotata è formata da tre intervalli marino-deltizi, intervallati da due spesse successioni continentali. Dal punto di vista stratigrafico, questa successione è attribuibile ai Sintemi di Bazzano, Villa Verucchio e Ravenna (par. IV.2.1). La parte basale del sondaggio (m 188-181) attraversa facies di pianura alluvionale, a cui seguono sedimenti costieri, salmastri e marini (m 181.20-164.15). Un primo episodio trasgressivo è registrato dal passaggio da faune dulcicole ad associazioni salmastre. All'interno delle ostracofaune salmastre, la sostituzione dell'associazione monospesifica B1 a quella B2 testimonia una tendenza trasgressiva che culmina poi, nella parte superiore dell'intervallo, con la comparsa di forme marine (*Semicytherura incongruens* e *Procytherideis* sp.). Dopo un temporaneo ritorno a fanghi continentali bioturbati, con associazioni F ad ostracodi e molluschi dulcicoli, un secondo evento trasgressivo è documentato (164 m) dalla brusca comparsa di tempestiti sabbiose, con faune a molluschi e foraminiferi marini. Questo sottile intervallo marino sembra superiormente troncato da una superficie erosiva, verosimilmente associata ad una lacuna temporale, sviluppata alla base di uno spesso pacco di sabbie continentali. Dal quadro stratigrafico regionale (fig. 14), si desume che i depositi costieri e marini descritti nel carotaggio non si possano correlare con la fase di massima trasgressione di questo interglaciale, fase che deve essere registrata in una porzione sottostante del subsintema di Bazzano, non raggiunta da questa perforazione. I livelli descritti corrispondono quindi a due pulsazioni trasgressive minori, sviluppate all'interno di una successione già caratterizzata da un'evoluzione globalmente regressiva.

Salendo lungo la successione stratigrafica, sono stati descritti due cicli trasgressivo-regressivi asimmetrici (m 128,50-100,30 e m 25,50-4,40), caratterizzati da livelli di argille francamente marine. Nella parte inferiore di ciascun ciclo, la superficie trasgressiva separa sedimenti fini pedogenizzati di piana alluvionale da successivi sedimenti di palude costiera. Una superficie di rimaneggiamento trasgressivo forma quindi la base di sabbie ricche in bioclasti marini, a cui seguono fanghi di mare relativamente aperto e profondo. La massima trasgressione corrisponde ad un livello relativamente condensato e ricco di bioclasti. Le fasi di maggiore approfondimento batimetrico e di allontanamento dalle foci fluviali sono documentate, nell'intervallo inferiore, da associazioni a foraminiferi di tipo Me e da faune di tipo Md, in quello superiore. L'intervallo marino introno ai 116 m contiene testimonianze polliniche di un clima temperato caldo e umido, in ac-

cordo con il quadro climatico dell'Eemiano. Alla massima trasgressione, segue in entrambi i casi, una successione regressiva con evoluzione *shallowing*, lungo cui i fanghi di prodelta, con associazioni di tipo M, passano a sabbie di fronte deltizia progradante, con bioclasti e faune a foraminiferi rimaneggiate (R).

I due spessi intervalli continentali comprendono potenti successioni, prevalentemente fangose, di piana alluvionale temperata o temperato-fredda, che talvolta contengono molluschi o resti di piante continentali. Le intercalazioni sabbiose sono legate ad eventi di rotta di alvei fluviali. Fra 80 e 80,5, sono presenti tracce di un'influenza salmastra, testimoniata da associazioni ad ostracodi di tipo F, che includono significativamente alcune valve della specie salmastra *Cyprideis torosa*. A queste successioni di prevalente granulometria fine, si intercalano due importanti corpi di sabbie, anche molto grossolane o finemente conglomeratiche, depositi da sistemi fluviali probabilmente anastomizzati, durante fasi degli ultimi due episodi glaciali, in condizioni di stazionamento basso del livello marino.

PROGETTO
CARG

APPENDICE 3**PETROGRAFIA DELLE UNITÀ SABBIOSE
(SUPERFICIE E SOTTOSUOLO)**

(a cura di A. Ceriani e L. Marchesini)

1. - MATERIALI E METODOLOGIE

Oltre a quelle già discusse nel sondaggio 187-S1, nell'ambito del rilevamento si sono compiute analisi su granulometria, composizione mineralogica principale e composizione dei minerali pesanti di numerosi altri campioni di sabbie tardo-pleistoceniche ed oloceniche. I 24 campioni analizzati sono elencati nella tabella 7, nella quale si riporta la profondità di campionamento, le caratteristiche stratigrafiche e sedimentologiche e l'attribuzione della provenienza. Le indagini hanno permesso di distinguere due diverse provenienze detritiche, una da Po ed una da Adige. I campioni di sottosuolo sono stati raccolti attraverso i sondaggi descritti nelle Appendici 1 e 2. Queste sabbie appartengono ai depositi fluviali del subsistema di Villa Verucchio (AES₇) ed a quelli deltizi, trasgressivi e regressivi, del subsistema di Ravenna (AES₈). I campioni di superficie appartengono interamente alla porzione regressiva più recente di AES₈.

Le analisi granulometriche sono state eseguite tramite setacciatura a secco (fig. 38A e B e tab. 8). Nei soli campioni di superficie, la frazione siltoso-argillosa non è stata considerata in modo quantitativo, essendo influenzata dal grado di alterazione e pedogenesi e, talvolta, da un leggero rimaneggiamento antropico, legato a pratiche agricole. I campioni mostrano, nella loro quasi totalità, una distribuzione unimodale della granulometria, con moda corrispondente a quella della sabbia media (0.5-0.25 mm) o, più raramente, fine (0.25-0.125 mm).

I minerali pesanti sono stati esaminati all'interno della frazione granulome-

Tab 7 - Campioni analizzati per lo studio della granulometria e petrografia delle sabbie, con indicate profondità di campionamento, unità stratigrafica d'appartenenza, facies sedimentaria ed attribuzione delle petrofacies.

Sigla campione	Tipologia	Profondità p.c. (m)	Unità	Ambiente sedimentario	Petrofacies
187S1-22,0	187 S1	22,0	AES8	Barriera trasgressiva	PO
187S2-9,7	187 S2	9,7	AES8	Fronte deltizio	PO
187S2-27,4	187 S2	27,4	AES7	Media pianura alluvionale	PO
187S2-49,9	187 S2	49,9	AES7	Media pianura alluvionale	PO
187S3-17,8	187 S3	17,8	AES8	Delta estuario	AO
187S3-26,5	187 S3	26,5	AES8	Pianura alluvionale	PO
187S3-42,0	187 S3	42,0	AES7	Media pianura alluvionale	PO
187S4-3,6	187 S4	3,6	AES8	Fronte deltizio	PO
187S4-36,7	187 S4	36,7	AES7	Media pianura alluvionale	PO
187S5-47,5	187 S5	47,5	AES7	Media pianura alluvionale	PO
187S6-8,7	187 S6	8,7	AES8	Fronte deltizio	PO
187S6-25,5	187 S6	25,5	AES8	Barriera trasgressiva	PO
187S6-25,7	187 S6	25,7	AES8	Barriera trasgressiva	PO
187S7-27,9	187 S7	27,9	AES8	Barriera trasgressiva	PO
187S7-43,5	187 S7	43,5	AES7	Media pianura alluvionale	PO
187-SS2bis	Affioramento	0,0	AES8	Duna eolica e cordone costiero	PO
187-SS4	Affioramento	0,0	AES8	Duna eolica e cordone costiero	PO
187-SS6	Affioramento	0,0	AES8a	Duna eolica e cordone costiero	PO
187-SS8	Affioramento	0,0	AES8a	Duna eolica e cordone costiero	PO
187-SS9	Affioramento	0,0	AES8a	Duna eolica e cordone costiero	AO
187-SS11	Affioramento	0,0	AES8	Duna eolica e cordone costiero	AO
187-SS12	Affioramento	0,0	AES8a	Duna eolica e cordone costiero	AO
187-SS14	Affioramento	0,0	AES8	Duna eolica e cordone costiero	PO
187-SS16	Affioramento	0,0	AES8	Duna eolica e cordone costiero	PO

trica $1/4 - 1/16$ mm. Essi sono stati setacciati e poi separati, utilizzando un liquido con densità di $2,960 \text{ g/cm}^3$. Le analisi sui minerali pesanti sono state effettuate al microscopio con la tecnica standard di conteggio per punti. In questa procedura sono stati identificati, per mezzo delle proprietà ottiche, almeno duecento granuli per campione, esclusi minerali opachi, barite e miche. I risultati analitici sono riportati nella tabella 9 ed evidenziati in figura 39.

Le analisi della composizione mineralogica principale sono state condotte su sezioni sottili dei campioni sabbiosi, privati della matrice siltoso-argillosa ed inglobati in resina epossidica. Le analisi sono state eseguite seguendo il metodo di conteggio "Gazzi-Dickinson" (GAZZI, 1966; DICKINSON, 1970). Per ciascuna sezione sottile, sono stati conteggiati da 300 a 400 punti, con l'aiuto di un tavolino traslatore. I risultati sono riportati in tabella 10 e nei diagrammi ternari di figura 40. La composizione principale è espressa dai parametri Quarzo,

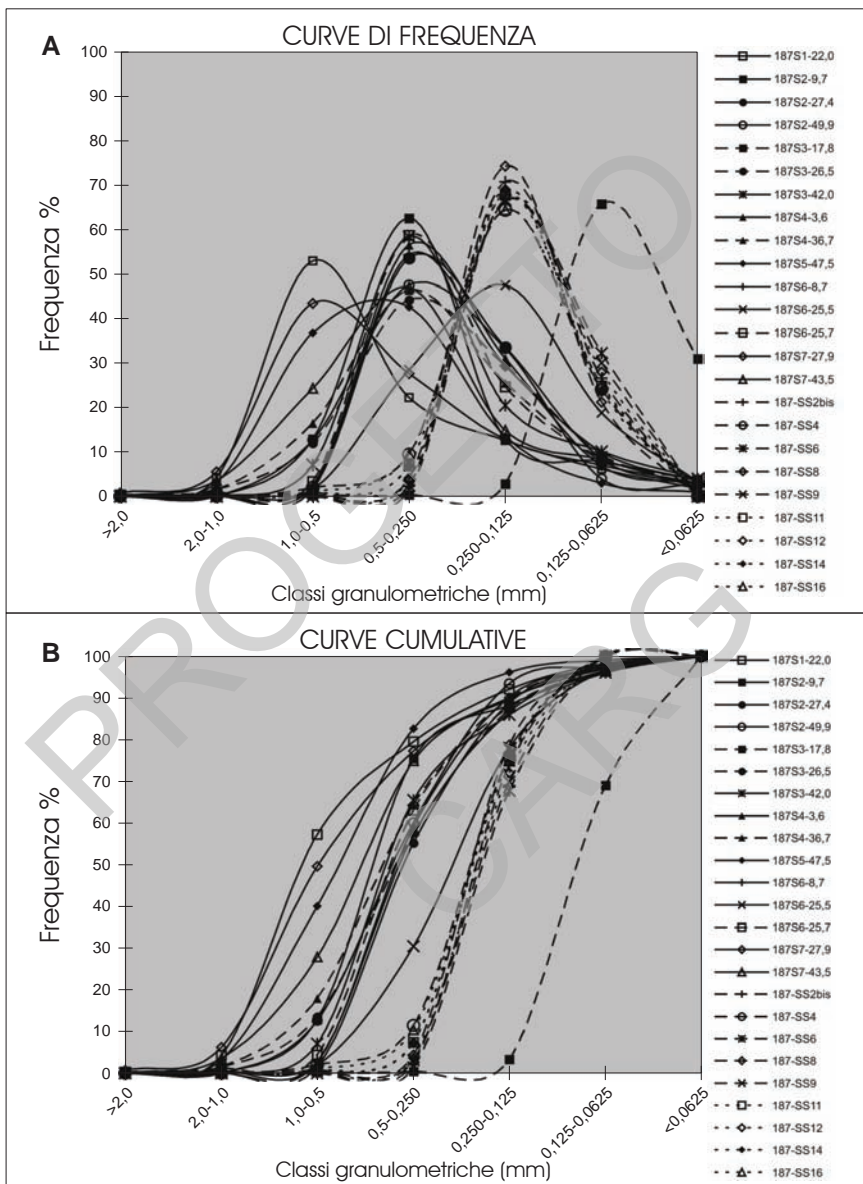


Fig. 38 - (A) Curve granulometriche di frequenza dei campioni studiati in altri sondaggi del Foglio e in superficie; la moda dei campioni è compresa tra 0.5 e 0.125 mm (sabbie medie e fini). (B) Curve cumulative dei campioni studiati. Il solo campione 187S3-17,8 ha una granulometria prevalentemente sabbiosa-fine con una forte componente limosa, gli altri campioni presentano una tessitura sabbiosa medio-fine.

Tab 8 - Risultati delle analisi granulometriche, espressi in percentuali in peso ed utilizzati per la costruzione delle curve di frequenza e cumulative.

A - Frequenza classi granulometriche							
<i>Campione</i>	<i>Classi granulometriche</i>						
	> 2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,250	0,250-0,125	0,125-0,0625	< 0,0625
187S1-22,0	-	4.25	53.00	22.25	12.59	6.15	1.76
187S2-9,7	-	-	12.87	62.56	12.94	7.84	3.79
187S2-27,4	-	-	1.66	53.60	33.62	8.43	2.69
187S2-49,9	-	-	12.65	47.52	33.32	3.92	2.59
187S3-17,8	-	-	0.19	0.29	2.80	65.76	30.96
187S3-26,5	-	1.54	11.92	44.18	29.45	9.26	3.65
187S3-42,0	-	-	7.12	58.33	20.49	10.07	3.99
187S4-3,6	-	-	2.59	56.49	31.13	6.84	2.95
187S4-36,7	-	1.46	16.47	46.42	25.45	7.98	2.22
187S5-47,5	-	3.17	36.86	42.62	13.49	2.91	0.95
187S6-8,7	-	0.57	2.29	54.29	29.47	9.95	3.43
187S6-25,5	-	0.45	1.53	28.51	47.51	18.81	3.19
187S6-25,7	0.31	0.82	3.29	58.64	24.69	8.64	3.61
187S7-27,9	0.68	5.51	43.47	27.63	12.80	6.96	2.97
187S7-43,5	-	3.50	24.35	47.03	14.86	8.26	2.00
187-SS2bis	-	-	0.21	2.30	70.81	26.68	-
187-SS4	-	-	2.01	9.49	64.41	24.09	-
187-SS6	-	-	-	1.39	66.38	32.23	-
187-SS8	-	-	0.35	4.07	74.34	21.24	-
187-SS9	-	-	0.79	2.37	66.72	30.12	-
187-SS11	-	-	0.49	6.91	67.76	24.84	-
187-SS12	-	-	-	3.67	68.36	27.97	-
187-SS14	-	-	0.39	6.86	69.02	23.73	-
187-SS16	-	-	0.92	9.48	64.37	25.23	-
B - Frequenza cumulativa classi granulometriche							
<i>Campione</i>	<i>Classi granulometriche</i>						
	> 2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,250	0,250-0,125	0,125-0,0625	< 0,0625
187S1-22,0	-	4.25	57.25	79.50	92.09	98.24	100.00
187S2-9,7	-	-	12.87	75.43	88.36	96.21	100.00
187S2-27,4	-	-	1.66	55.25	88.88	97.31	100.00
187S2-49,9	-	-	12.65	60.17	93.49	97.41	100.00
187S3-17,8	-	-	0.19	0.48	3.29	69.05	100.00
187S3-26,5	-	1.54	13.46	57.64	87.10	96.35	100.00
187S3-42,0	-	-	7.12	65.45	85.94	96.01	100.00
187S4-3,6	-	-	2.59	59.08	90.21	97.05	100.00
187S4-36,7	-	1.46	17.92	64.35	89.80	97.78	100.00
187S5-47,5	-	3.17	40.04	82.66	96.15	99.05	100.00
187S6-8,7	-	0.57	2.86	57.14	86.61	96.57	100.00
187S6-25,5	-	0.45	1.98	30.48	78.00	96.81	100.00
187S6-25,7	0.31	1.13	4.42	63.07	87.76	96.40	100.00
187S7-27,9	0.68	6.19	49.66	77.29	90.08	97.03	100.00
187S7-43,5	-	3.50	27.84	74.87	89.74	98.00	100.00
187-SS2bis	-	-	0.21	2.51	73.82	100.00	100.00
187-SS4	-	-	2.01	11.50	75.91	100.00	100.00
187-SS6	-	-	0.00	1.39	67.77	100.00	100.00
187-SS8	-	-	0.35	4.42	78.76	100.00	100.00
187-SS9	-	-	0.79	3.15	69.87	100.00	100.00
187-SS11	-	-	0.49	7.40	75.16	100.00	100.00
187-SS12	-	-	-	3.67	72.03	100.00	100.00
187-SS14	-	-	0.39	7.25	76.27	100.00	100.00
187-SS16	-	-	0.92	10.40	74.77	100.00	100.00

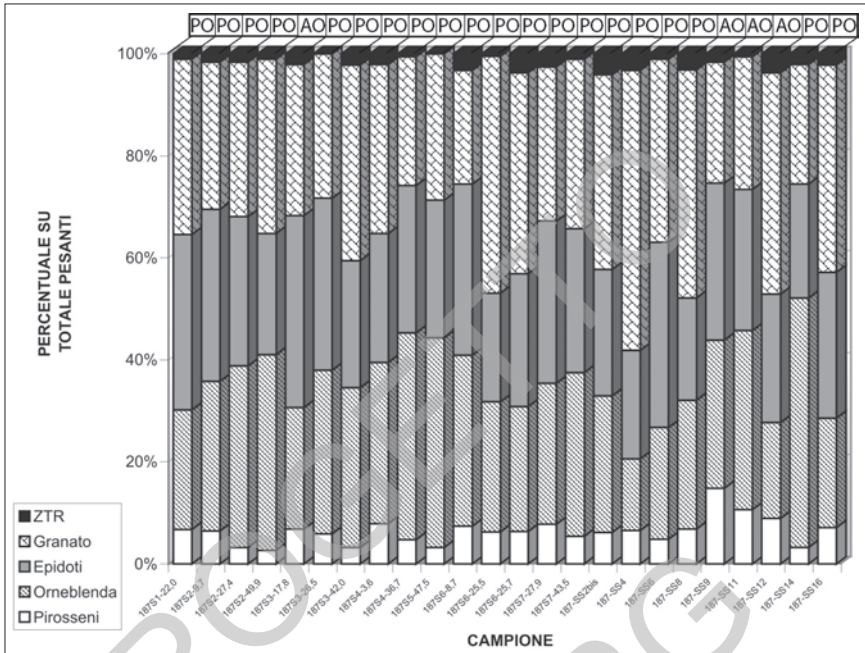


Fig. 39 - Istogramma delle analisi dei minerali pesanti trasparenti.

Feldspati, Litici Noncarbonatici e Carbonati Extrabacinali, come rappresentato nel diagramma ternario QFL+C (fig. 36). Particolare attenzione è stata posta alla frazione litica, dato che essa fornisce elementi chiave per discriminare aree sorgenti diverse. Questa frazione è stata descritta dai parametri NCE-CE-NCI/CI (Litici non carbonatici extrabacinali-Litici carbonatici extrabacinali-Litici non Carbonatici Intrabacinali e Carbonatici bioclastici intrabacinali; fig. 40B) e LmLvLs+C (Litici metamorfici, Litici vulcanici, Litici silicoclastici+carbonatici; fig. 40C).

2. - RISULTATI DELLE ANALISI PETROGRAFICHE

I risultati analitici sono stati interpretati nel contesto regionale delle petrofacies campionate dalle spiagge attuali e dal tardo Quaternario nel sottosuolo della pianura costiera emiliano-romagnola. Questo contesto è derivato dall'elaborazione dei fogli geologici contigui e, in misura minore, da dati di letteratura (GAZZI *et alii*, 1973; GANDOLFI & PAGANELLI, 1988; MARCHESINI *et alii*, 2000). All'interno della popolazione di campioni esaminata in questo Foglio, non sono presenti campioni di provenienza appenninica, ma sono state ricono-

Tab 10 - Parametri petrografici principali espressi come percentuale sul totale della frazione d'ossatura e della frazione litica. Q-F-I+CE (totale grani quarzosi; grani feldspatici; grani litici silicatici a tessitura fine più carbonatici extrabacinali); NCE-CE-NCI+CI (totale grani extrabacinali non carbonatici, grani extrabacinali carbonatici, grani non carbonatici intrabacinali+carbonatici intrabacinali); Lm-Lv-Ls+C (totale grani metamorfici a tessitura fine; grani vulcanici a tessitura fine; grani carbonatici più silicoclastici a tessitura fine).

PETROFACIES	PO	PO	PO	PO	AO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	AO	AO	AO	AO	PO	PO				
Campioni	187S1-22,0	187S2-9,7	187S2-27,4	187S3-17,8	187S3-26,5	187S3-42,0	187S4-3,6	187S4-36,7	187S5-47,5	187S6-8,7	187S6-25,5	187S6-25,7	187S7-27,9	187S7-43,5	187-SS2bis	187-SS4	187-SS6	187-SS8	187-SS9	187-SS11	187-SS12	187-SS14	187-SS16	
	46,7	49,8	46,2	47,0	53,3	49,2	48,5	35,9	45,3	52,3	46,8	42,3	51,0	49,2	44,5	45,0	53,0	45,9	52,4	44,6	41,8	46,6	54,3	46,9
	27,2	23,7	27,7	28,0	16,4	24,7	21,1	31,2	20,7	21,8	21,4	26,0	20,0	24,3	26,8	31,5	21,1	28,2	26,2	21,0	16,0	17,6	23,4	22,4
L+CE	26,1	26,5	26,1	25,0	30,3	26,1	30,5	32,8	34,0	25,9	31,8	31,7	29,0	26,5	28,8	23,6	25,9	21,5	34,4	42,2	35,8	22,4	30,7	
NCE	92,7	91,8	89,7	93,2	76,1	92,5	89,3	91,8	85,7	96,1	86,7	89,5	86,2	92,0	89,5	91,2	87,4	91,8	93,9	76,1	71,0	71,6	91,6	89,5
CE	7,3	8,2	10,3	6,8	22,5	7,5	10,7	8,2	14,3	3,9	13,3	10,5	13,8	8,0	10,5	8,8	12,6	8,2	5,5	23,6	29,0	27,4	8,4	10,5
NCI-CI	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	0,0	1,0	0,0	0,0	
Lm	49,2	44,4	44,8	53,0	4,5	41,9	32,3	46,9	34,0	57,4	23,9	36,4	32,7	52,1	36,9	38,9	23,7	39,7	42,2	8,6	7,8	5,2	36,3	37,4
Lv	9,0	16,6	8,6	5,0	15,9	13,8	19,0	14,6	12,7	11,4	8,2	16,2	4,8	10,3	13,3	11,1	13,4	12,4	12,3	9,9	15,9	12,6	12,7	11,6
Ls+C	41,8	39,0	46,6	42,0	79,6	44,3	48,7	38,5	53,3	31,3	67,9	47,4	62,5	37,6	49,8	50,0	62,9	47,8	45,5	81,5	76,2	82,2	51,0	51,0

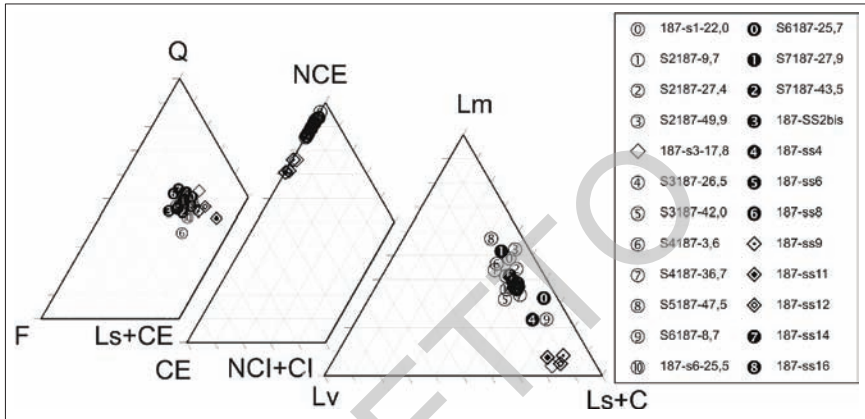


Fig. 40 - Diagrammi ternari che sintetizzano i risultati sulla composizione principale e sulla frazione dell'ossatura. I simboli tondi indicano campioni della Petrofacies PO, di provenienza padana, mentre i rombi indicano quelli attribuiti alla Petrofacies AO, proveniente dalle Alpi Orientali venete. (A) Diagramma della composizione principale dell'ossatura. Il solo diagramma dei costituenti principali dell'ossatura (QFL+CE) non è sufficiente per discriminare le due diverse petrofacies. (B) Diagramma NCE-CE-NCI+CI relativo alla frazione litica d'ossatura. Si noti come, in questo diagramma, le petrofacies PO e AO siano nettamente distinguibili. (C) Diagramma della frazione litica dell'ossatura LmLvLs+C che evidenzia ulteriormente la distinzione delle due petrofacies.

sciate due altre facies petrografiche: la Petrofacies PO, di provenienza padana, e quella AO, di provenienza veneta, legata agli apporti dei fiumi Adige e Brenta (cf. NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000, Foglio 223-Ravenna, 2002). Queste due petrofacies sono state distinte in base all'abbondanza di litoclasti carbonatici ed ai rapporti dei calcari sulle dolomie, dei frammenti vulcanici su quelli metamorfici e dei pirosseni sul totale dei minerali pesanti. La Petrofacies PO è caratterizzata da composizioni arcoscio-litiche, ricche in quarzo, feldspati e frammenti di rocce plutoniche. I litoclasti a grana fine sono arricchiti in frammenti metamorfici, quali micascisti cloritici e muscovitici, ad epidoto o glaucofane. Questi litoclasti metamorfici sono sempre prevalenti su quelli d'origine vulcanica e sedimentaria. I litoclasti carbonatici sono presenti in quantità relativamente modeste, con un rapporto delle dolomie su calcari minore di quello presente nella Petrofacies AO. L'associazione dei minerali pesanti è caratterizzata da percentuali fra loro simili di epidoti, granati ed orneblenda e da una significativa presenza di pirosseni, comunque sempre meno abbondanti che nella Petrofacies AO (fig. 39). La Petrofacies PO, legata agli apporti del Fiume Po, caratterizza gran parte delle sabbie esaminate. Particolarmente caratteristici sono gli apporti metamorfici d'origine alpina, comprendenti facies metamorfiche ad alta pressione, come evidenziato dalla presenza di glaucofane. Significativi sono anche gli apporti di provenienza appenninica, da cui deriva una buona parte dei subordinati litoclasti sedimentari.

La Petrofacies AO è caratterizzata da composizioni arcoscio-litiche e lita-

renitiche, con frequenze leggermente minori di quarzo, feldspati e frammenti plutonici, rispetto alla Petrofacies PO, a causa di un arricchimento relativo in litoclasti carbonatici. I clasti vulcanici sono qui inoltre più abbondanti di quelli metamorfici. Le associazioni di minerali pesanti sono dominate da orneblenda, epidoto, granato, con un significativo arricchimento in pirosseno (fig. 39). La distinzione fra le due petrofacies è illustrata in figura 41, in cui è riportato sia il rapporto delle vulcaniti sul totale dei grani litici, sia la percentuale di dolomie sul totale dei litoclasti carbonatici. La Petrofacies AO mostra un chiaro arricchimento in dolomie e in frammenti vulcanici. Questa petrofacies epicrostante è legata ai fiumi veneti, drenanti l'area alpino-orientale, in particolare l'Adige, che si caratterizza per la presenza di vulcaniti mediotriassiche e permiane e di successioni mesozoiche dolomitiche. Questa petrofacies è presente in un campione di sabbie tardotrasgressive ed in un numero relativamente modesto di campioni di superficie, confinati nella porzione settentrionale del Foglio.

3. - SINTESI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Tutti i campioni di sabbie fluviali tardo pleistoceniche, campionati dalla parte sommitale di AES₇, nei sondaggi 187-S1, S2, S4, S5 e S7, appartengono alla Petrofacies PO. Questo corpo sabbioso, assai povero di matrice, presenta

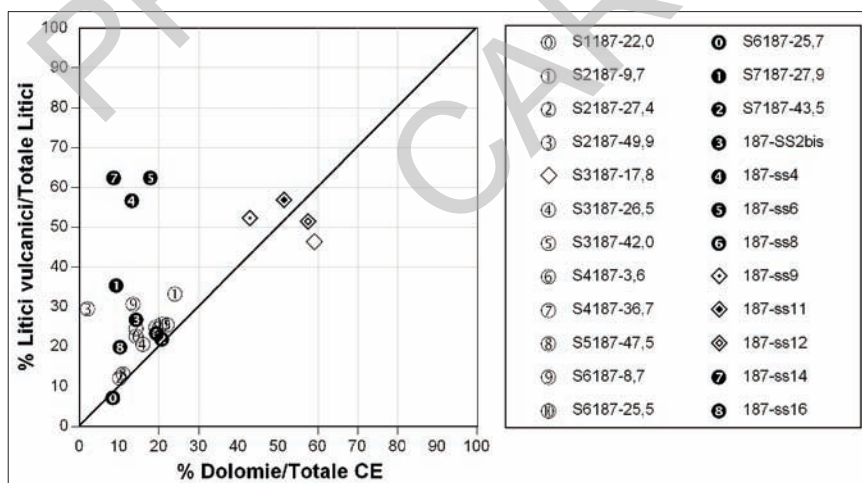


Fig. 41 - Grafico che illustra (1) il rapporto tra i frammenti litici vulcanici a grana fine sul totale dei frammenti litici, (2) la percentuale dei frammenti di dolomie rispetto al totale dei grani carbonatici extrabacinali. I simboli tondi indicano campioni della Petrofacies PO, mentre i rombi indicano quelli attribuiti alla Petrofacies AO. Il risultato conferma quanto evidenziato dai diagrammi ternari della frazione litica d'ossatura.

una granulometria particolarmente grossolana, con clasti che possono talvolta raggiungere la taglia della ghiaia fine, ricchi di metamorfiti ed in frammenti di quarzo policristallino. Queste sabbie sono riferibili al sistema fluviale padano attivo durante fasi della Glaciazione Wuermiana, in accordo con la geometria del corpo, sviluppato in ampi settori di sottosuolo, nella fascia centrale della bassa Pianura Padana.

Anche quasi tutti i campioni di sabbie deltizie e litorali oloceniche sepolte, appartenenti ad AES₈ e campionate nei sondaggi 187-S1, S2, S3, S6 e S7, sono riferiti alla petrofacies PO. Queste sabbie si sono accumulate in ambienti di barriera trasgressiva, delta estuario, fronte deltizia progradante e cordone litorale e documentano sistemi costieri alimentati essenzialmente dal Fiume Po. Solo un campione dal sondaggio 187-S3, ubicato nel settore settentrionale, è riferibile alla petrofacies AO. Questo campione, a granulometria relativamente fine, è stato prelevato alla profondità di 17,8 m, nella porzione inferiore di AES₈, ed appartiene ad un sistema di barriera trasgressiva e delta-estuario. Esso registra il contributo sedimentario di fiumi veneti ai sistemi costieri tardotrasgressivi, in accordo con quanto riconosciuto in settori più meridionali (MARCHESINI *et alii*, 2000).

Le sabbie di cordoni e fronti deltizie oloceniche affioranti sono pure dominate dagli apporti padani, ma mostrano significative influenze dell'Adige, nella loro porzione settentrionale. La tabella 11 riporta le età, facies deposizionali, unità stratigrafiche di appartenenza e petrofacies dei campioni prelevati in affioramento. La figura 42 descrive l'ubicazione, posizione stratigrafica ed età di questi stessi campioni.

I dati analitici sulle sabbie affioranti sono stati integrati dai dati bibliografici di GANDOLFI & PAGANELLI (1988), relativi all'intera costa alto-adriatica. La composizione di questi campioni mostra una maggiore articolazione rispetto a quella riconosciuta nel sottosuolo (tab. 11). La Petrofacies PO domina anche qui le

Tab. 11 - Tabella riassuntiva di età, unità stratigrafiche e petrofacies dei campioni prelevati per le analisi granulometriche e petrografiche. Per la discussione degli analoghi dati sul sondaggio profondo 187-S1 si veda la precedente Appendice.

CAMPIONE	UNITÀ	ETÀ	PETROFACIES
187-SS2bis	AES8	XV sec. a.C.	PO
187-SS4	AES8	VI sec. a.C.	PO
187-SS6	AES8a	XII sec. d.C.	PO
187-SS8	AES8a	X sec. d.C.	PO
187-SS9	AES8a	XII sec. d.C.	AO
187-SS11	AES8	I sec. d.C.	AO
187-SS12	AES8a	XIV sec. d.C.	AO
187-SS14	AES8	XII-X sec. a.C.	PO
187-SS16	AES8	XII-X sec. a.C.	PO



Fig. 42 - Carta geologica schematica che illustra la distribuzione areale dei campioni di sabbia di provenienza padana o veneta, che ritroviamo con maggiore dettaglio, a scala più grande, in figura 16. La carta riporta inoltre l'età dei cordoni di accrescimento deltizio. Le aree di colore arancione indicano i principali corpi eolici, quelle verdi paleocanali distributori del Po. Si confronti la carta schematica di figura 16, che riporta la distribuzione dell'unità di Modena (AES_{8a}) e delle porzioni precedenti del Subsystema di Ravenna. Per l'inquadramento regionale delle diverse generazioni di corpi deltizi, si veda figura 27. Per ulteriori informazioni, si confronti la carta geologica e il testo di queste note.

fronti deltizie meridionali, ma quella AO è ben documentata da campioni provenienti dal fianco settentrionale del lobo deltizio d'età romana (AES₈). Questa seconda petrofacies è documentata anche nei contigui complessi dunari mediovali (AES_{8a}, fig. 42), derivanti dalla rielaborazione eolica dello stesso lobo deltizio. Tale composizione è il frutto del trasporto lungo costa di sabbie provenienti dalla foce dell'Adige, posta poco più a nord, e conferma l'assenza, in epoca romana, di rami del Po attivi a settentrione del canale distributore secondario sviluppato nell'area della Mesola. La ricostruzione paleogeografica (fig. 29) indica, infatti, come un importante ramo dell'Adige passasse per Adria e sfociasse, probabilmente, nei pressi di Loreo, pochi chilometri a settentrionale dell'area cartografata. Con molta probabilità, la foce dell'Adige rimase attiva anche dopo l'abbandono del canale distributore del Po di Mesola, il che produsse un'ulteriore arricchimento in materiali d'origine veneta, sulla costa di retrogradazione erosiva del lobo abbandonato del Po e negli associati depositi eolici. Le strutture eoliche sono dominate dall'azione dei venti invernali di Bora e in queste condizioni meteomarine invernali poteva attivarsi un trasporto lungo costa in direzione meridionale, opposto a quello che a tutt'oggi domina questi sistemi costieri.

PROGETTO
CARG

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ACCORSI C.A., BANDINI MOZZANTI M., MERCURI A.M., RIVALENTI C. & TREVISAN GRANDI G. (1996) - *Holocene forest pollen vegetation of the Po Plain, Northern Italy*. *Allionia*, **34**: 233-276.
- ALFIERI N. (1967) - *Encore sur l'évolution morphologique de l'ancien Delta du Po*. *Erdkunde*, **21**: 147-149.
- AMOROSI A. (2002) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000*, Foglio 223 - Ravenna, 144 pp. Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- 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, 191-194.
- AMOROSI A., CENTINEO M.C., COLALONGO M.L., 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., CIBIN U., SEVERI P., STEFANI M. (2004) - *Late Quaternary evolution of the Po Plain from surface and subsurface data: A traverse from the Apennines to the Adriatic Sea*. 32° International Geological Congress, Florence, Field Guide Book, **1** (B24): 24 pp.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L. (in stampa) - *The linkage between alluvial and coeval marginal-marine successions: evidence from the Late Quaternary record of the Po River Plain, Italy*. In: BLUM M., MARRIOTT S.B., Eds., I.A.S. Spec. Pub.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., 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*, **57/1-2**: 3-16.
- AMOROSI A., FARINA M., SEVERI P., PRETI D., CAPORALE L. & DI DIO G. (1996) - *Genetically related alluvial deposits across active fault zones: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy*. *Sedimentary Geology*, **102**: 275-295.
- AMOROSI A., FORLANI L., FUSCO F. & SEVERI P. (2001) - *Cyclic patterns of facies and pollen associations from Late Quaternary deposits in the subsurface of Bologna*. *Geo Acta*, **1**: 83-94.
- AMOROSI A. & MARCHI N. (1999) - *High-resolution sequence stratigraphy from piezocone tests: an example from the Late Quaternary deposits of the SE Po Plain*. *Sedimentary Geology*, **128**: 69-83.
- ASIOLI A., TRINCARDI F., LOWE J.J., ARIZTEGUI D., LANGONE L. & OLDFIELD F. (2001) - *Sub-millennial climatic oscillations in the Central Adriatic during the last deglaciation: paleoceanographic implications*. *Quaternary Science Reviews*, **20**: 33-53.

- ASIOLI A., TRINCARDI F., LOWE J.J. & OLDFIELD F. (1999) - *Short-term climate changes during the Last Glacial-Holocene transition: comparison between Mediterranean records and the GRIP event stratigraphy*. *Journal of Quaternary Science*, **14**: 373-381.
- BALIGH M.M., AZZOUZ A.S., WISSA A.Z.E., MARTIN R.T. & MORISON M.J. (1981) - *Piezocene penetrometer*. In: *Am. Soc. Civ. Eng., Cone penetration testing and experience*, 247-263.
- BASSETTI M. & SARTI G. (1997) - *Stratigraphy of terraced fluvial deposits of Conca River (northern Apennines, Italy)*. *Giornale di Geologia*, **59**: 81-90.
- BERTOLDI R. (1996) - *Pre-Holocene and Holocene palynological outlines of Western Padania*. *Allionia*, **96**: 137-147.
- BINI A. & ZUCCOLI L. (2004) - *Glacial features*. In: BOSI C., Ed., *Quaternary. Geology of Italy*. *Ital. Geol. Soc. Spec. Vol.*, 161-188.
- BLUM M.D. (1993) - *Genesis and architecture of incised valley fill sequences: a late Quaternary example from the Colorado River; Gulf Coastal Plain of Texas*. In: WEIMER P. & POSAMENTIER H.W. (eds.), *Siliciclastic sequence stratigraphy: recent developments and applications*. *Tulsa AAPG Memoir* **58**: 259-283.
- 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. (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. (1989) - *Geomorphological hazards in the Po Delta and adjacent areas*. *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quatern.*, **2**: 25-33.
- BONDESAN M. (1990) - *L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici*. In: *Il Parco del Delta del Po, studi ed immagini, L'ambiente come risorsa*, **1**: 9-48.
- 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**: 1-34.
- BONDESAN M., CASTIGLIONI G.B., ELMI C., GABBIANELLI G., MAROCCO R., PIRAZZOLI P. & TOMASIN A. (1995b) - *Storm surges and sea-level rise: coastal areas at risk in northeast Italy*. *Jour. Coastal Research*, **11**: 1354-1379.
- BONDESAN M., CIBIN U., COLALONGO M.L., PUGLIESE N., STEFANI M., TSAKIRIDIS E., VAIANI S.C. & VINCENZI S. (2006) - *Benthic communities and sedimentary facies recording late Quaternary environmental fluctuations in a Po Delta subsurface succession (Northern Italy)*. In: COCCIONI R., LIRER F. & MARSILI A., (a cura di), *Proceedings of the Second Italian Meeting of Environmental Micropaleontology, The Grzybowski Foundation Special Publication*. In stampa.
- BONDESAN M., DAL CIN R. & MANTOVANI M.G. (1974) - *Depositi fluviali wurmiani in un pozzo terebrato presso Ferrara*. *Annali Università Ferrara, N.S.* **5** (8): 147-163.
- BONDESAN M., ELMI C. & MAROCCO R., con contributo di BAVERO V. (2001) - *Forme e depositi di origine litoranea e lagunare*. In: CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. *Note illustrative della Carta Geomorfologia della Pianura Padana. Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, **4**: 105-118.
- BONDESAN M., FAVERO V. & VIÑALS M.J. (1995a) - *New evidence on the evolution of the Po Delta coastal plain during the Holocene*. *Quater. Int.*, **29/30**: 105-110.

- BONDESAN M., FERRI R. & STEFANI M. (1995c) - *Rapporti fra lo sviluppo urbano di Ferrara e l'evoluzione idrografica, sedimentaria e geomorfologica del territorio*. In: VISSER A.M., Ed., *Ferrara nel Medioevo: topografia storica ed archeologia urbana*, 27-42.
- BONDESAN M., GATTI M. & RUSSO P. (1997) - *Movimenti verticali del suolo nella Pianura Padana orientale desumibili da dati I.G.M. a tutto il 1990*. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, **2**: 141-172.
- BONDESAN A. & MENEGHÈL M., Eds. (2004) - *Geomorfologia della Provincia di Venezia*. Note Illustrative della Carta geomorfologica della Provincia di Venezia. Esedra, 514 pp.
- BONDESAN M. & SIMEONI U. (1983) - *Dinamica e analisi morfologica statistica dei litorali del Delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta*. Mem. Scienze Geologiche, **36**: 1-48.
- BOSELLINI A., MUTTI E. & RICCI LUCCHI F. (1989) - *Rocce e successioni sedimentarie*. XVI-396. UTET, Torino.
- BRUNETTI A., DENÈFLE M., FONTUGNE M., HATTÉ C. & PIRAZZOLI P.A. (1998) - *Sea-level and subsidence data from a Late Holocene back-barrier lagoon (Vàlle Standiana, Ravenna, Italy)*. Marine Geology, **150**: 29-37.
- CALDERONI G. (1982) - *Regime anemologico nel Delta del Po ed alla foce dell'Adige*. Annali Univ. Ferrara, n.s. **9**, **8**: 1-6.
- CAPUTO M., PIERI L. & UNGENDOLI M. (1970) - *Geometric investigation of the subsidence in the Po Delta*. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, **12**: 187-207.
- 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 256 - Rimini* (2005) - Servizio Geologico d'Italia, Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000. *Foglio 240/241 - Forlì/Cervia* (2005) - Servizio Geologico d'Italia, Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000. *Foglio 219 - Sassuolo* (2005) - Servizio Geologico d'Italia, Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA DEI MARI D'ITALIA ALLA SCALA 1:250.000. *Foglio NL33-10 Ravenna* (2001) - Servizio Geologico d'Italia, S.EL.C.A. Firenze.
- CASTIGLIONI G.B., Ed. (2001) - *Carta Geomorfologica della Pianura Padana alla scala 1:250.000*. MURST, S.EL.C.A., Firenze.
- 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.
- CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (2001) - *Note Illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana (Illustrative notes of the geomorphological map of Po Plain, Italy)*. Supplementi Geografia fisica e Dinamica Quaternaria, **IV**: 1-208.
- 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*. S.E.P.M. Spec. Publ., **64**: 127-146.
- CATTANI L. (1990) - *Considerazioni floristiche sull'evoluzione degli ambienti*. In: GUIDI A., PIPERNO M., Eds., *Italia Preistorica*, Laterza, 46-67.
- CAVAZZA W., ZUFFA G.G., CAMPORESI C. & FERRETTI C. (1993) - *Sedimentary recycling in a temperate climate drainage basin (Senio River, north-central Italy): composition of source rock, soil profiles, and fluvial deposits*. GSA Bull., Special Paper **284**: 247-261.

- CIABATTI M. (1967) - *Ricerche sull'evoluzione del Delta Padano*. Giornale di Geologia, S. 2, **34**: 381-406.
- CIABATTI M. (1990) - *Geomorfologia ed evoluzione del Delta Padano*. In: "Il Mondo della Natura in Emilia-Romagna: la Pianura e la Costa", 9-18, Amilcare Pizzi, Cinisello Balsamo.
- CIBIN U. & DI GIULIO A. (1996) - *Proposta di normativa per l'analisi della composizione delle areniti al microscopio ottico nell'ambito della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000*. Boll. Serv. Geol. It., Roma, **115**: 87-98.
- CORREGGIARI A., CATTANEO A., CARRÀ D., PENITENTI D., PRETI M. & TRINCARDI F. (2002) - *Offshore sand for beach restoration: North Adriatic shelf examples*. CIESM Workshop n. 18: Erosion litorale en Méditerranée occidentale: dynamique, diagnostic et remèdes, 79-82.
- CORREGGIARI A., CATTANEO A. & TRINCARDI F. (2005a) - *The modern Po Delta system: Lobe switching and asymmetric prodelta growth*. Marine Geology, **2**: 49-74.
- CORREGGIARI A., CATTANEO A. & TRINCARDI F. (2005b) - *Depositional patterns in the late Holocene Po delta system*. In: JANOK P. et al., Eds., *Deltas Old and New*. In: S.E.P.M. Sp. Pub.
- CORREGGIARI A., FIELD M.E. & TRINCARDI F. (1996a) - *Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf*. In: DE BATIST M., JACOBS P., Eds., *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*. Geol. Soc. Spec. Pub., **117**: 155-169.
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F. (1996b) - *Late-Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. In: Late-Glacial and early Holocene climatic and environmental changes in Italy. Il Quaternario: Italian Journal of Quaternary Sciences, **9**: 697-704.
- CORREGGIARI A., TRINCARDI F., LANGONE L. & ROVERI M. (2001) - *Styles of failure in heavily-sedimented highstand prodelta wedges on the Adriatic shelf*. Journal of Sedimentary Research, **71**: 218-236.
- CREMASCHI M., BERNABÀ BREA M., TIRABASSI J., D'AGOSTINI A., DALL'AGLIO P.L., MAGRI S., BARRICHI W., MARCHESINI A. & NIPOTI S. (1980) - *L'evoluzione della pianura emiliana durante l'Età del Bronzo, l'Età Romana e l'Altomedioevo: geomorfologia e insediamenti*. Padusa, **16**: 53-158.
- CREMASCHI M., Ed. (1990) - *The Loess in Northern and Central Italy: a Loess basin between the Alps and the Mediterranean Region*. Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria, **1**, C.N.R., Milano.
- CREMASCHI M. & GASPERI G. (1989) - *La "alluvione" alto-medievale di Mutina (Modena) in rapporto alle variazioni ambientali oloceniche*. Memorie della Società Geologica Italiana, **42**: 179-190.
- CRIVELUCCI A., Ed. (1914) - *Fonti per la Storia d'Italia: Paulus Diaconus - Historia Langobardorum* (edizione critica del testo latino).
- DAL CIN R. (1983) - *I litorali del Delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta: caratteri tessiturati e dispersione dei sedimenti, cause dell'arretramento e previsione dell'evoluzione futura*. Boll. Soc. Geol. It., **102**: 9-56.
- DI GIULIO A. & VALLONI R. (1992) - *Analisi microscopica delle Areniti Terrigene: parametri petrologici e composizioni modali*. Acta Ateneo Parmense, **28** (3/4): 55-101, Parma.
- DICKINSON W.R. (1970) - *Interpreting detrital modes of graywack and arkose*. Jour. Sed. Petrol. **40**: 695-707.
- FABBRI P. (1985) - *Coastline Variation in the Po Delta since 2500 B.P.* Zeitschrift die Geomorphologie. N.F., Suppl.-Bd., **57**: 155-167.
- FABBRI P. (1994) - *Le trasformazioni della costa tra il Po e l'Appennino sulla base della documentazione cartografica d'età moderna*. Collana di Studi sul Territorio, Dip. Geograf. e Geologic. Amb., 1-129.

- FARABEGOLI E., ONOREVOLI G. & BACCHIOCCHI C. (2004) - *Numerical simulation of Holocene depositional wedge in the southern Po Plain-northern Adriatic Sea (Italy)*. *Quaternary International*, **120**: 119-132.
- FERRI R. (1985) - *Geomorfologia antica del territorio di Sermide (MN) attraverso lo studio del micro-rilievo*. *Annali Univ. Ferrara*, n.s. **9**: 1-17.
- FONTANA A., MOZZI P. & BONDESAN A. (2004) - *L'evoluzione geomorfologica della Pianura Veneto-Friulana*. In: BONDESAN A., MENEGHEL M., Eds., 113-136.
- FRANCO P. (1982) - *Oceanography of the Northern Adriatic Sea*. Data from the cruises 1978 and 1979. *Arch. Ocean. Limnol.*, **20**: 1-207.
- GABBIANELLI G., DEL GRANDE C., SIMEONI U., ZAMARIOLO A. & CALDERONI G. (2000) - *Evoluzione dell'area di Goro negli ultimi cinque secoli (Delta del Po)*. *Studi Costieri*, **2**: 45-63.
- GALADINI F. (2004) - *Quaternary tectonics*. In: BOSI C., Ed., *Quaternary. Ital. Geol. Soc. Spec. Vol., Geology of Italy*, 161-188.
- GALLOWAY W.E. (1975) - *Process-framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems*. In: BROUSSARD M.L., Ed., *Deltas, models for exploration*. Houston Geological Society, 87-98.
- GALLOWAY W.E. (1989) - *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: Architecture and genesis of flooding surface and bounded depositional units*. *AAPG Bulletin*, **73**: 125-142.
- GANDOLFI G. & PAGANELLI L. (1988) - *Composizione e dispersione delle sabbie del Po e dell'Adige dal periodo etrusco ad oggi*. *Bolettino Società Torricelliana di Scienze e Lettere, Faenza (FO)*, **39**: 25-46.
- GARZANTI E., SCUTELLA M. & VIDIMARI C. (1988) - *Provenance from ophiolites and oceanic allochthons: modern beach and river sands from Liguria and the Northern Apennines (Italy)*. *Oliofiti*, **23** (2): 65-82.
- GAZZI P. (1966) - *Le arenarie del flioth sopracretaceo dell'Appennino modenese; correlazioni con il flioth di Monghidoro*. *Mineralogica Petrographica Acta*, **12**: 69-97.
- GAZZI P., ZUFFA G.G., GANDOLFI G. & PAGANELLI L. (1973) - *Provenienza e Dispersione Litoranea delle Sabbie delle Spiagge Adriatiche fra le Foci dell'Isonzo e del Foglia: Inquadramento Regionale*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **12**: 1-37.
- GIORDANI P., MISEROCCHI S., BALBON V., MALAGUTI A., LORENZELLI R., HONSELL G. & PONIZ P. (1997) - *Factors controlling trophic conditions in the north-west Adriatic basin: seasonal variability*. *Marine Chemistry* **58**: 351-360.
- GIORGI G. (2000) - *The Ancient Morphology of the Po Plain in the area of Bologna (Italy)*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **23**: 49-60
- IDROSER (1983) - *Il trasporto solido fluviale nei bacini tributari dell'Adriatico*. Regione Emilia-Romagna, Piano progettuale per la difesa della costa emiliano-romangola, **4**: 1-429.
- LOWE J.J., ACCORSI C.A., ASIOLI A., VAN DER KAARS S. & TRINCARDI F. (1996) - *Pollen-stratigraphical record of the last glacial-interglacial transition (ca. 14-9 ka BP) from Italy: a contribution to the PALICLAS project*. *Il Quaternario: Italian Journal of Quaternary Sciences*, **9**: 627-642.
- MARCHESINI L., AMOROSI A., CIBIN U., ZUFFA G.G., SPADAFORA E. & PRETI D. (2000) - *Sand composition and sedimentary evolution of a Late Quaternary depositional sequence, Northwestern Adriatic coast, Italy*. *Journal of Sedimentary Research*, **70** (4): 829-838.
- MARCHESINI L., SPADAFORA E., CIBIN U. & ZUFFA G.G. (1999) - *Appendice 4: Petrografia delle Unità Sabbiose*. In: AMOROSI A., Ed., 1999, 131-133.

- MARCHETTI M. (2001) con contributi di BONDESAN M., CASTALDINI D., CREMASCHI M., GASPERI G., MOTTA M., TELLINI C. & TROMBINO L. - *Forme e depositi fluviali, fluvio-glaciali e lacustri*. In: CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. Note Illustrative della Carta Geomorfologia della Pianura Padana. Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **4**: 73-104.
- MARINELLI O. (1924) - *Le curiose vicende del Delta del Po*. Le vie d'Italia, **30**: 353-362.
- MARINELLI O. (1926) - *Sull'età dei delta dei fiumi italiani*. La Geografia, **14** (1-2): 21-29.
- MARTINSON D.G., PIS I.A.S. 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., (Curatori), (2000) - *In agro decimano: Per un catalogo del patrimonio storico archeologico del territorio a sud di Ravenna*, Ravenna.
- MONTONE P. & MARIUCCI M.T. (1999) - *Active stress along the NE external margin of the Apennines: the Ferrara arc, northern Italy*. Journal of Geodynamics, **28**: 251-265.
- NELSON B.W. (1970) - *Hydrography, sediment dispersal and recent historical development of the Po river delta, Italy*. In: MORGAN J.P., Deltaic sedimentation, modern and ancient. SEPM Spec. Pub., **15**: 152-184.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (1983) - *North American Stratigraphic Code*. A.A.P.G. Bulletin, **67**: 841-875.
- ORI G.G. (1993) - *Continental depositional systems of the Quaternary of the Po Plain (northern Italy)*. Sedimentary Geology, **83**: 1-14.
- OROMBELLI G. & RAVAZZI C. (1996) - *The Late Glacial and early Holocene: chronology and paleoclimate*. Il Quaternario, **9**: 439-444.
- PAGANELLI A. (1996) - *Evolution of vegetation and climate in the Veneto-Po Plain during Late Glacial and Early Holocene using pollen-stratigraphic data*. Il Quaternario: Italian Journal of Quaternary Research, **9**: 581-590.
- PELLEGRINELLI A. & PERFETTI N. (2002) - *Rilevamento topografico delle dune di Massenzatica*. Atti dell'Accademia delle Scienze di Ferrara, **78** (Sup.): 21-28.
- PIERI M. & GROPPI G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*. Pubbl. 414 P.F. Geodinamica, C.N.R., 23 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**: 1-81.
- POSAMENTIER H.W., JERVEY M.T. & VAIL P.R. (1988) - *Eustatic controls on clastic deposition. Part I: Conceptual framework*. In: WILGUS C.K., HASTINGS B.S., KENDALL C.G.St.C., POSAMENTIER H.W., ROSS C.A. & VAN WAGONER J.C., Eds., Sea Level Changes: An Integrated Approach. S.E.P.M. Spec. Publ., **42**: 109-124.
- PRICE N.B., MOWBRAY S.R., GIORDANI P., Eds. (1993) - *Biogeochemical cycling and budgets of water and sediments of the Northern Adriatic Sea*. In: MAST Days and Euromar Market, Project Report, 383-396.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. Di Dio G., Ed., S.EL.CA., Firenze, 120 pp.
- RICCI LUCCHI F. (1986) - *Oligocene to Recent foreland basins of northern Apennines*. In: ALLEN P., HOMEWOOD P., Eds., Foreland Basins, I.A.S. Spec. Pub., **8**: 105-139.

- RICCI LUCCHI F., COLALONGO M.L., CREMONINI G., GASPERI G., IACCARINO S., PAPANI G., RAFFI S. & RIO D. (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica del margine appenninico*. In: CREMONINI G. & RICCI LUCCHI F. (Ed.s) Guida alla geologia del margine appenninico-Padano. Guide Geologiche Regionali della Società Geologica Italiana, 17-46.
- SALA B. & GALLINI V. (2002) - *La steppa-taiga a mammut e rinoceronti lanosi di Settepolesini*. Atti dell'Accademia delle Scienze di Ferrara, **78** (Sup.): 39-45.
- SALVADOR A. (1994) - *International Stratigraphic Guide. A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology and Procedure*. UBSU. The International Union of Geological Sciences and The Geological Society of America, 214.
- SCHREFLER B., LEWIS R.W. & NORRIS V.A. (1977) - *A case study of the surface subsidence of the Polesine area*. Int. Journ. Num. An. Meth. in Geomechanics, **1**: 377-386.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1963) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 77 - Comacchio*. I Edizione. (Rilevato da T. LIPARITI, 1959-1960).
- 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.
- SLOSS L.L. (1963) - *Sequences in the cratonic interior of North America*. Bull. Geol. Soc. of America, **74**: 93-113.
- STEFANI M., CATTANEO A., CIBIN U., CORREGGIARI A. & VINCENZI S. (2002) - *The interplay of eustasy, tectonics, and climate in the shaping of the late Quaternary sequence stratigraphy in the Northern Adriatic and Po Delta area of Italy*. A.A.P.G. Annual Meeting 2002, Houston, Texas.
- STEFANI M. & VINCENZI S. (2005) - *The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system*. Marine Geology, **222-223** (V-VI): 19-48.
- STEFANI M., VINCENZI S. & CIBIN U. (2003) - *Geological-stratigraphic map of the central portion of the Po Delta system at 1:50.000*. Regione Emilia-Romagna. S.EL.CA, Firenze.
- STRABO (ristampa 1989) - *Geographya*. Les Belles Lettres, Collection des Universités de France, Paris. Testo a fronte greco e francese, **V**: 1-17. Altra edizione consultata a cura di HORACE LEONARD JONES (1932) Harvard University Press, greco e testo inglese a fronte.
- STUIVER M., REIMER P.J., BARD E., BECK J.W., BURR G.S., HUGHEN K.A., KROMER B., MC CORMAC F.G., PLICHT J. & SPURK M. (1998) - *Radiocarbon Age Calibration, 24,000-0 cal BP. INTCAL98*. Radiocarbon, **40**: 1041-1083.
- TINNER W. & AMMANN B. (2001) - *Timberline palaeoecology in the Alps*. PAGES News, **9**: 9-11.
- TRINCARDI F. & ARGNANI A. (2001), con contributi di ASIOLI A., BORTOLUZZI G., CATTANEO A., CORREGGIARI A., FABBRI A., GAMBERI F., LIGI M., PENITENTI D., ROVERI M. & TAVIANI M. - *Note Illustrative della Carta Geologica dei Mari Italiani Foglio NL 33-10 Ravenna, alla scala 1:250.000*. S.EL.CA., Firenze, 108 pp.
- TRINCARDI F., ASIOLI A., CATTANEO A., CORREGGIARI A. & LANGONE L. (1996) - *Stratigraphy of the late-Quaternary deposits in the Central Adriatic basin and the record of short-term climatic events*. In: GUILIZZONI P., OLDFIELD F., Eds., Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments. Memorie Istituto Italiano di Idrobiologia, **55**: 39-70.
- TRINCARDI F., CORREGGIARI A. & ROVERI M. (1994) - *Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: the Adriatic semi-enclosed basin*. Geo-Marine Letters, **14**: 41-51.

- VAIL P.R. (1987) - *Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy*. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure. In: BALLY A.W., Ed., Atlas of Seismic Stratigraphy, Vol. 1. A.A.P.G. Stud. Geol., **27**: 1-10.
- VAIL P.R., HARDENBOL J. & TODD R.G. (1984) - *Jurassic unconformities, chronostratigraphy, and sea-level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy*. In: SCHLEE J.S., ed., Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation: Tulsa, OK, American Association of Petroleum Geologists Memoir, **36**: 129-144.
- VAIL P.R., MITCHUM JR. & THOMPSON S. (1977a) - *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level: Part 3. Relative Changes of Sea Level from Coastal Onlap*. Section 2. Application of Seismic Reflection Configuration to Stratigraphic Interpretation Memoir, **26**: 63-81.
- VAIL P.R., TODD R.G. & SANGREE J.B. (1977b) - *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level: Part 5. Chronostratigraphic Significance of Seismic Reflections*. Section 2. Application of Seismic Reflection Configuration to Stratigraphic Interpretation Memoir, **26**: 99-116.
- VEGGIANI A. (1965) - *Trasporto di ciottoli ghiaiosi per correnti di riva dall'area marchigiana all'area emiliana durante il Quaternario*. Boll. Soc. Geol. It., **84**: 315-328.
- VEGGIANI A. (1974) - *Le variazioni idrografiche del basso corso del Fiume Po negli ultimi 3.000 anni*. Padusa, **1-2**: 30-60.
- VEGGIANI A. (1984) - *Il deterioramento climatico dei Secoli XVI-XVIII ed i suoi effetti sulla bassa Romagna*. Studi Romagnoli, **35**: 109-124.
- VEGGIANI A. (1985) - *Il Delta del Po e l'evoluzione della rete idrografica padana in epoca storica*. Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, 37-68.
- VEGGIANI A. (1986) - *L'ottimo climatico medievale in Europa: Testimonianze lungo la fascia costiera padano-adriatica*. Studi Romagnoli, **37**: 1-26.
- VEGGIANI A. (1987) - *Territorio, ambiente, clima. Le trasformazioni nei tempi protostorici. Emilia-Romagna: parte orientale*, Studi Docum. Archeol., **3**: 73-80.
- VEGGIANI A. (1988) - *La falesia morta e i depositi olocenici antistanti lungo la fascia adriatica fra Cesenatico e Cattolica*. Guida all'escursione Riccione-Delta del Po; Riunione annuale del gruppo nazionale di geografia fisica e geomorfologica, 71-7.
- VEGGIANI A. (1990) - *Fluttuazioni climatiche e difesa del suolo nella pianura padana orientale, tra i secoli XIV e XVII*. Atti XIV Convegno "Uomini, Terre e Acque. Politica e cultura idraulica nel Polesine tra Quattrocento e Seicento". 25-47, Minelliana, Grafiche Dielle, Stanghella.
- VEGGIANI A. (1994) - *I deterioramenti climatici dell'Età del Ferro e dell'Alto Medioevo*. Boll. Soc. Torricelliana Sci. Lett. Faenza, **45**: 1-80.

PROGETTO
CARG