



ISPRA

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 201

**MODENA**

a cura di

**G. Gasperi<sup>1</sup>, M. Pizziolo<sup>2</sup>**

*con i contributi di*

**A. Annovi<sup>3</sup>, L. Marino<sup>3</sup>, N. Paltrinieri<sup>4</sup>, G. Barelli<sup>4</sup>**

*gruppo di coordinamento*

**G. Gasperi<sup>1</sup>, M. Pizziolo<sup>2</sup>, D. Preti<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Modena

<sup>2</sup> Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

<sup>3</sup> Settore Risorse e Tutela Ambientale del Comune di Modena

<sup>4</sup> Settore Difesa del Suolo della Provincia di Modena

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.), S. Falcetti**

*Revisione informatizzazione dei dati geologici:*

**L. Battaglini, C. Cipolloni, D. Delogu, M.C. Giovagnoli (ASC)**

*Coordinamento editoriale:*

**M. Cosci, S. Falcetti**

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

*Coordinamento informatizzazione:*

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

**I. Pellegrino, A. Pighini**

*Coordinamento allestimento cartografico per la stampa*

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

***Informatizzazione e allestimento per la stampa dalla Banca Dati:***

**S.EL.CA. s.r.l., Firenze**

***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: S.EL.CA. s.r.l., Firenze - 2009***

## INDICE

<b>I</b>	<b>- INTRODUZIONE.....</b>	<b>pag.</b>	<b>5</b>
1.	- CARATTERI GEOGRAFICI E GEOMORFOLOGICI..... »		5
<b>II</b>	<b>- CENNI STORICI: CARTOGRAFIA E LETTERATURA PRECEDENTI..... »</b>		<b>9</b>
<b>III</b>	<b>- INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE..... »</b>		<b>13</b>
<b>IV</b>	<b>- STRATIGRAFIA..... »</b>		<b>17</b>
1.	- IL RILEVAMENTO DEI DEPOSITI DI PIANURA..... »		20
1.1.	- I DATI DI SUPERFICIE..... »		21
1.2.	- I DATI DEL SOTTOSUOLO..... »		22
2.	- LE UNITA' STRATIGRAFICHE CONTINENTALI..... »		24
2.1.	- SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE..... »		25
2.1.1.	- <i>Subsintema di Villa Verucchio</i> ..... »		27
2.1.2.	- <i>Subsintema di Ravenna</i> ..... »		32
3.	- DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI..... »		39
<b>V</b>	<b>- DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA DEI DEPOSITI ALLUVIONALI AFFIORANTI..... »</b>		<b>41</b>
<b>VI</b>	<b>- EVOLUZIONE TARDO-OLOCENICA DELLA RETE IDROGRAFICA..... »</b>		<b>43</b>
<b>VII</b>	<b>- LA DISTRIBUZIONE DELLE GHIAIE NEL SOTTOSUOLO..... »</b>		<b>47</b>
<b>APPENDICE 1</b>			
	<b>LA BANCA DATI GEOGNOSTICI..... »</b>		<b>49</b>
<b>APPENDICE 2</b>			
	<b>IL FENOMENO DELLA SUBSIDENZA NELLA CITTÀ DI MODENA..... »</b>		<b>59</b>

<b>APPENDICE 3</b>	
<b>STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI .....</b>	<b>» 65</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>» 69</b>



## I - INTRODUZIONE

Il Foglio 201 “Modena” della Carta Geologica d’Italia in scala 1:50.000 è stato realizzato nell’ambito del progetto CARG, attraverso una convenzione tra il Servizio Geologico Nazionale (S.G.N.) e la Regione Emilia–Romagna (R.E-R). Lo studio dei depositi alluvionali quaternari, intravallivi e di pianura che ricoprono per intero l’area del Foglio, è stato oggetto di specifici studi che hanno coinvolto l’Ufficio geologico della Regione Emilia Romagna, oltre che attraverso la convenzione tra la R.E-R e il S.G.N. per la Cartografia di Pianura del progetto CARG, attraverso specifici progetti quali quelli attuati per la costruzione di una banca dati geologici e per l’analisi, in collaborazione con ENI-AGIP, delle sezioni sismiche della Pianura Padana. I dati pedologici utilizzati per la carta di superficie provengono in gran parte dall’Ufficio pedologico della Regione Emilia–Romagna, adattati alle finalità geologiche dello studio. Il rilevamento geologico del Foglio e l’elaborazione dei dati di sottosuolo sono dovuti a Domenico Preti, quale coordinatore, a Gianfranco Gasperi e a Marco Pizziolo; i sondaggi con carotaggio continuo eseguiti all’uopo sono stati diretti in cantiere da Giuseppe Caputo e Marco Pizziolo, le prove penetrometriche da Elisabetta Peroni; l’elaborazione cartografica in ambiente ARC/INFO da Carla Tomassetti.

I depositi continentali quaternari sono stati classificati in unità formali di tipo UBSU (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units* SALVADOR, 1994), vale a dire supersintemi, sintemi e subsintemi, secondo le “*Linee guida per il rilevamento della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000*” (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992).

### 1. - CARATTERI GEOGRAFICI E GEOMORFOLOGICI

L’area rappresentata nel Foglio 201 è posta interamente nella Pianura Padana, interessando le provincie di Modena e Reggio Emilia. Comprende la città di

Modena e si estende verso ovest fino alla periferia orientale di Reggio Emilia, a nord giunge oltre gli abitati di Bagnolo in Piano, Correggio e Carpi. Comprende il T. Tresinaro e Rodano, un lungo tratto del corso del F. Secchia e a est il F. Panaro. La quota massima, 122,4 m, è presso Scandiano a SO, mentre la quota minima 19,4 m è a NE.

L'idrografia dell'area del foglio (Fig.1) è rappresentata, oltre che dai fiumi Secchia e Panaro, dai torrenti ad essi afferenti: il Tresinaro affluente del F. Secchia e il Cerca-Naviglio, il Grizzaga e il Tiepido affluenti del F. Panaro. Nel settore reggiano sono presenti alcuni affluenti del T. Crostolo (T. Lodola-Rodano). Il territorio è inoltre caratterizzato da una complessa rete idrografica artificiale (navigli e cavi) alcuni dei quali risalgono sicuramente al periodo romano (PASQUINUCCI, 1984).

Dal punto di vista geomorfologico (BONDESAN *et alii*, 1989; CASTIGLIONI *et alii*, 1998) l'area del Foglio comprende a SO un tratto dell'alta pianura e, a valle, la media pianura. Le due zone sono caratterizzate da un diverso gradiente della superficie topografica: l'alta pianura è inclinata dello  $0.5 \pm 0.6 \%$ , mentre la media pianura dello  $0.1 \pm 0.2 \%$ ; la transizione tra queste cade tra le isoipse 30 e 35.

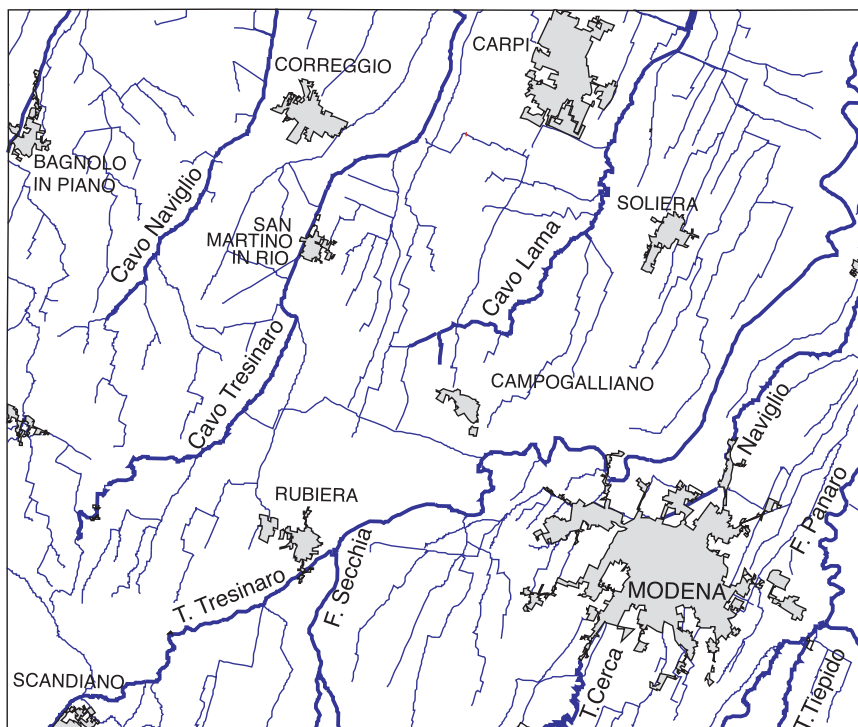


Fig. 1 - Idrografia del Foglio 201.

Forme caratteristiche dell'alta pianura sono costituite dalle conoidi alluvionali e dalle incisioni fluviali che terrazzano i depositi alluvionali stessi. Nella media pianura, regolarmente inclinata verso NE, abbiamo invece dossi, cioè forme rilevate qualche metro al massimo e allungate anche chilometri, disposti paralleli all'idrografia, e ventagli di esondazione.

Nell'angolo SO del Foglio è ben riconoscibile il conoide legato al T. Tresinaro, terrazzato successivamente dal torrente stesso, che, più a valle, ha costruito un nuovo conoide. Le forme convesse poste presso la città di Modena, sono molto più avanzate verso la pianura di tutti gli altri simili apparati e sono dovute a episodi deposizionali del T. Fossa di Spezzano prima che questo fosse artificialmente condotto a sfociare nel Secchia nel XV Secolo (CREMASCHI & GASPERI, 1989).

I dossi, legati alla evoluzione di antichi corsi d'acqua si dipartono dal piede delle conoidi individuandone precedenti percorsi. Sono ben evidenti il dosso posto presso il margine ovest del Foglio (La Villa–La Bassa–Pieve Rossa) legato al T. Tresinaro e quelli posti a SE di Correggio.



## II - CENNI STORICI: CARTOGRAFIA E LETTERATURA PRECEDENTI

La bibliografia geologica relativa alle aree di pianura modenese e reggiane ricadenti nel Foglio 201 è piuttosto scarsa. Accanto ad alcuni lavori specifici relativi alle acque sotterranee di PANTANELLI (1888, 1898, 1903), ai pozzi padani, tra cui i famosi “pozzi modenese”, sui quali scrisse per primo il RAMAZZINI verso la fine del seicento, e poi SACCO (1932), le prime pubblicazioni di carattere strettamente geologico sono databili alla seconda metà dell’800. Un elenco completo delle opere relative alle Scienze della Terra pubblicate tra il 1469 e il 1920 sul territorio modenese è raccolto da BENTIVOGLIO (1901).

La prima edizione delle note illustrative alla CARTA GEOLOGICA D’ITALIA alla scala 1:100.000 dei fogli “Modena” e “Reggio nell’Emilia” si deve a SACCO (1932), mentre la II edizione fu pubblicata negli anni ’60 (F° 86 “Modena”, LOSACCO 1964, e F° 74 “Reggio Emilia”, PAPANI *et alii*, 1967). In queste carte i sedimenti quaternari della pianura furono suddivisi, secondo la consuetudine allora in uso, in base a caratteristiche pedologiche e morfologiche in *Alluvium* e *Diluvium* per indicare rispettivamente quelli deposti nell’ultimo post-glaciale e quelli più antichi. Alle relative note illustrative si rimanda per dettagliate notizie bibliografiche sui lavori antecedenti gli anni ’70.

Per quanto riguarda le conoscenze geologiche maturate successivamente possiamo ricordare le note di PELLEGRINI (1969) e di FAZZINI *et alii* (1976), relativamente alla pianura modenese, GELMINI & PALTRINIERI (1988), sul territorio del Comune di Modena, tutte con carte geologiche allegate e che affrontano i problemi relativi alla cartografia di superficie delle aree di pianura. In GASPERI *et alii* (1989) viene proposta per la prima volta una classificazione dei terreni alluvionali quaternari con l’utilizzo delle Allunità (N.A.C.S.N., 1983).

Relativamente ai depositi superficiali di pianura occorre ricordare che una cartografia dei depositi affioranti in pianura distinti per classi granulometriche venne per la prima volta proposta proprio per la pianura modenese da FAZZINI

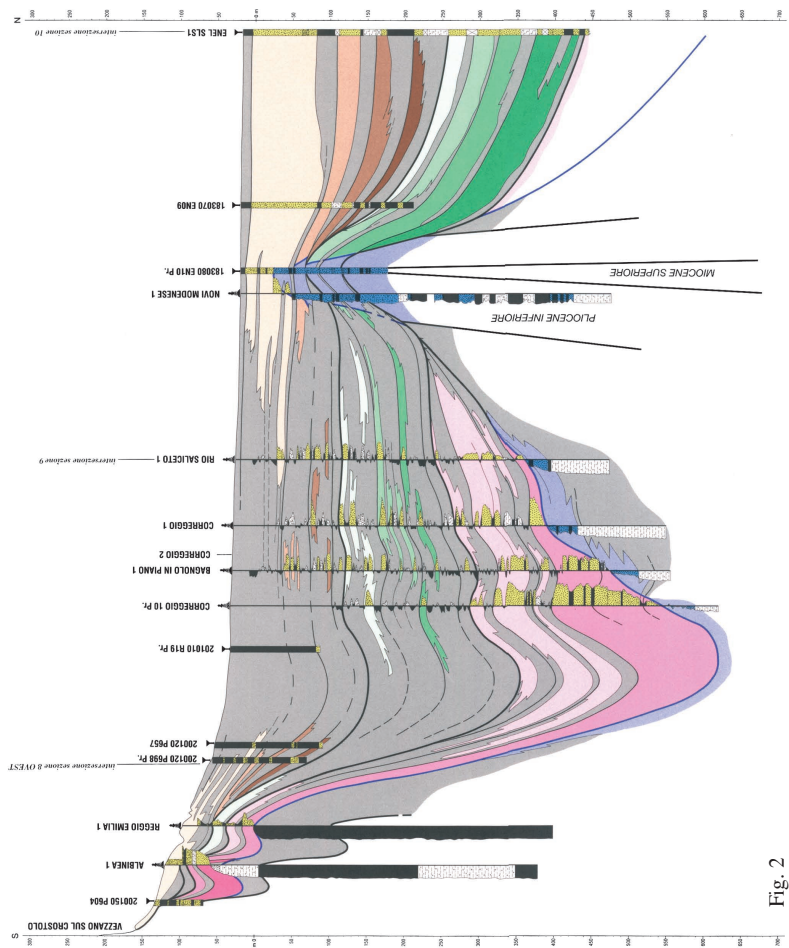


Fig. 2

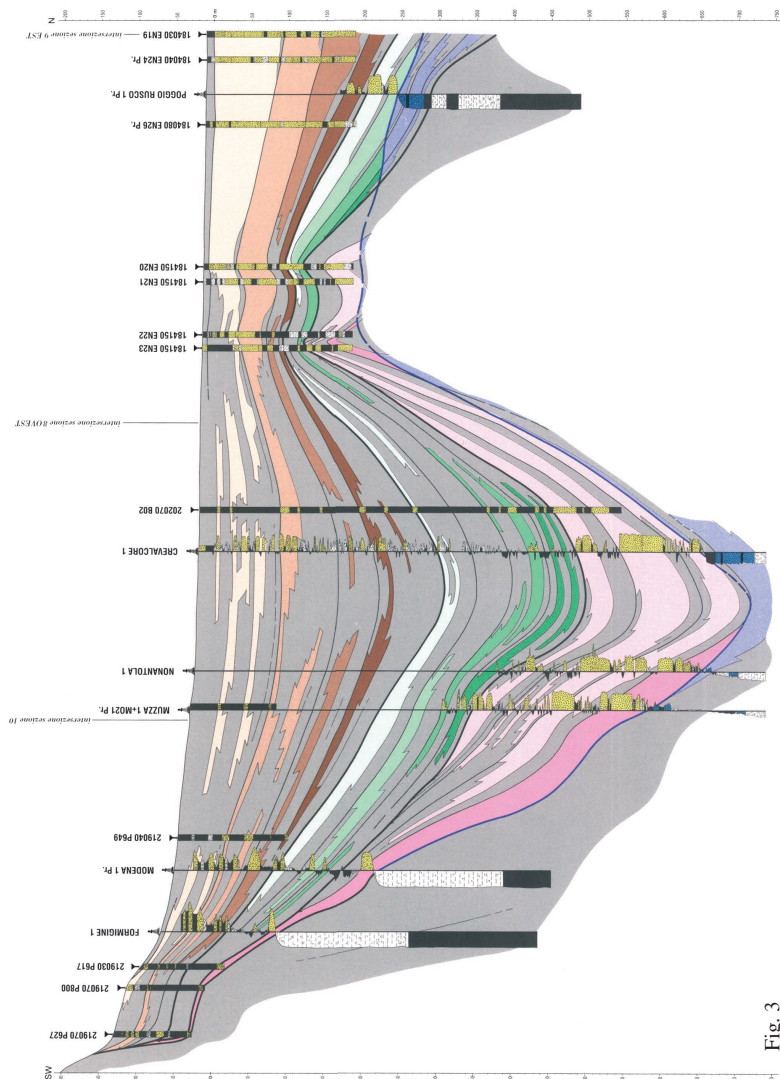


Fig. 3

Figg. 2 e 3 - Sezioni idrostratigrafiche nel sottosuolo della pianura reggiana (traccia in figura 6, sezioni A-A' e B-B'); i colori delle unità sono riferiti alla legenda di fig. 7. Con i tre colori principali sono indicati gli orizzonti permeabili dei gruppi acquiferi, a loro volta corrispondenti alle sequenze deposizionali Qm, Qc1 e Qc2 che compongono l'intero quaternario padano; in grigio le principali barriere di permeabilità (modificato da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

*et alii*, (1976) e successivamente da GASPERI *et alii* (1987) utilizzata, tra l'altro, per la ricostruzione della paleoidrografia. I caratteri pedologici del Foglio sono compresi nella monografia sui suoli della pianura modenese di REGIONE EMILIA ROMAGNA & PROVINCIA DI MODENA (1993). Di carattere essenzialmente geomorfologico è la carta relativa a tutta la Pianura Padana di CASTIGLIONI *et alii* (1998).

Per quanto riguarda il sottosuolo, COLOMBETTI *et alii* (1980), GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE DELLA PIANURA PADANA (1979), PELLEGRINI *et alii* (1976), PELLEGRINI & ZAVATTI (1979), REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ENI-AGIP (1998) propongono varie ricostruzioni della architettura deposizionale dei sedimenti quaternari alluvionali attraverso l'elaborazione delle litostratigrafie di pozzi per ricerche idriche (figg. 2 e 3).

Assai interessanti per l'inquadramento regionale dei sedimenti padani sono i recenti lavori di AMOROSI & FARINA (1996) e AMOROSI *et alii* (1998), relativi a un settore di pianura posta a est di quello in oggetto, che riguardano l'evoluzione comparata dei depositi alluvionali terrazzati del F. Reno e del T. Savena e di quelli posti al margine della pianura bolognese.

Da ultimo rimangono da ricordare le pubblicazioni dei geologi dell'AGIP relative al sottosuolo profondo dell'area. Tra queste abbiamo quelle di PIERI & GROPPI (1981), di DONDI (1985) e DONDI & D'ANDREA (1986) sulla stratigrafia padana dall'Oligocene al Pleistocene e infine la nota di CASSANO *et alii* (1986) relativa all'interpretazione dei dati geofisici.



### III - INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

La Pianura Padana è un bacino sedimentario compreso tra l'Appennino Settentrionale e le Alpi Meridionali in cui i sedimenti più recenti, in prevalenza olocenici, ricoprono terreni complessi dal punto di vista stratigrafico e strutturale. Il contesto geodinamico è quello collisionale tra due blocchi continentali rappresentati dalla zolla europea, o sardo-corsa, e dalla microplacca Adria o Apula o Adriatico-Padana, inizialmente connessa alla zolla africana, (BOCCALETTI *et alii*, 1971; BOCCALETTI & GUAZZONE, 1972). A partire dall'Eocene medio il processo di sottoscorrimento della placca Adria al di sotto della zolla europea ha via via scomposto i vari domini paleogeografici meso-cenozoici appilando e giustapponendo tra loro in modo complesso le varie successioni stratigrafiche, costruendo così la catena appenninica. La deformazione orogenica si è propagata in direzione dell'Avampaese padano-adriatico. I vari stadi di questa evoluzione sono solitamente raggruppati in fasi principali; tralasciando quelle più antiche che non hanno riscontri evidenti nel substrato della pianura, la tettonica di accrezione dell'Appennino settentrionale, contemporanea all'apertura del Mar Tirreno, interessa a partire dal Messiniano sino al Quaternario le zone esterne della catena e coinvolge l'area padana. Infatti a partire dalla fine del Miocene l'avanzata delle falde appenniniche induce sprofondamenti flessurali nell'antistante avampaese padano con il formarsi di un bacino subsidente: si sviluppa così al fronte della catena in surrezione l'avanfossa molassica padano-adriatica. (CREMONINI & RICCI LUCCHI, 1982; GASPERI *et alii*, 1984; CASTELLARIN *et alii*, 1985; VAI, 1988; CONTI & GELMINI, 1994).

Dopo l'abbassamento del livello del mare dovuto all'isolamento del Mediterraneo la ripresa della sedimentazione si svolge per lo più a ridosso del margine settentrionale dell'Appennino in una fascia che dal Piemonte meridionale giunge sino alle Marche. L'Appennino ormai emerso fornisce all'avanfossa abbondante detrito (DONDI & D'ANDREA, 1986; RICCI LUCCHI, 1984; BARTOLINI *et alii*, 1996), mentre con il Messiniano Superiore la sedimentazione, per lo più torbida di ambiente

salmastro si sviluppa in profondi bacini separati da alti strutturali. Con il Pliocene, la risalita del livello del mare porta a una generale trasgressione. La deposizione pelitica interessa vaste zone e torbidi arenaceo-pelitiche di piana bacinale e di conoide sottomarina si depongono nelle zone più profonde.

Con il Pleistocene inizia un nuovo ciclo sedimentario (Qm in RICCI LUCCHI *et alii*, 1982) che porta al definitivo colmamento del bacino padano, prima con sedimenti marini batiali e successivamente, a partire da ovest verso est, con depositi via via meno profondi fino a giungere a depositi di transizione.

L'ultimo episodio di sedimentazione marina del ciclo Qm è rappresentato dalle "sabbie gialle" litorali, (oggetto di una recente revisione da parte di AMOROSI *et alii* 1998), cioè da depositi sabbioso-ciottolosi di spiaggia che, grazie anche all'abbondante apporto sedimentario migrano verso il centro della pianura e verso l'Adriatico. Alle sabbie gialle, ritenute di età pleistocenica inferiore-media, segue un nuovo ciclo sedimentario (Qc in RICCI LUCCHI *et alii*, 1982) e la sedimentazione si sviluppa in condizioni continentali o al massimo costiere, dominata ora dalla dinamica dei fiumi.

Il bacino padano è profondamente e intensamente coinvolto nella tettonica nord-vergente appenninica che porta allo sviluppo di sistemi di *thrust*. La strutturazione si è esplicata in gran parte durante il Pliocene controllando fortemente la sedimentazione in ambiente sottomarino. I *thrust*, a sviluppo planimetrico arcuato con concavità volta verso l'Appennino, delineano strutture positive anti-formi, separate dalle successive analoghe strutture da aree sprofondate, sinformi, sulle quali sovrascorrono parzialmente. Il fronte della catena risulta quindi molto più a nord del limite orografico della catena, sepolto dai sedimenti quaternari padano-adriatici. E' formato da sistemi di pieghe e *thrust* strutturati in una serie di archi posti quasi al centro della pianura (Arco del Monferrato, Arco delle pieghe emiliane, Dorsale ferrarese, PIERI & GROPPI, 1981; CASTELLARIN *et alii*, 1985), (fig. 4).

Risultano coinvolti nella tettonica compressiva i sedimenti del Pliocene inferiore e del Pliocene medio-Superiore (fig. 5); al contrario i depositi del Pleistocene documentano il forte rallentamento della tettonica compressiva precedente. Nel Quaternario, infatti, con l'attenuarsi dei movimenti tettonici nord-vergenti si ha il prevalere, nella fascia pedeappenninica, di una subsidenza generalizzata; la sedimentazione si sviluppa su tutta la Pianura Padana in ampie ondulazioni colmando residue depressioni del sistema bacinale precedente.

Lungo il bordo appenninico-padano i sedimenti quaternari e pliocenici sottostanti appaiono piegati in corrispondenza di una flessura con sensibile immersione verso la pianura. I terreni marini e costieri del Pleistocene affiorano, infatti, in un'ampia fascia prossima alla pianura a quote comprese tra i 200 e i 300 metri, mentre nella pianura gli stessi terreni si rinvencono a parecchie decine di metri al di sotto del piano campagna (cfr. Foglio 219). Questa struttura costituisce il Lineamento Frontale Appenninico, cerniera tra la catena in sollevamento e l'avanzata fossa, tutt'ora in pieno sviluppo (CASTELLARIN *et alii*, 1985; GASPERI *et alii*, 1989). Lungo il margine appenninico modenese inoltre una piega anticlinale coinvol-

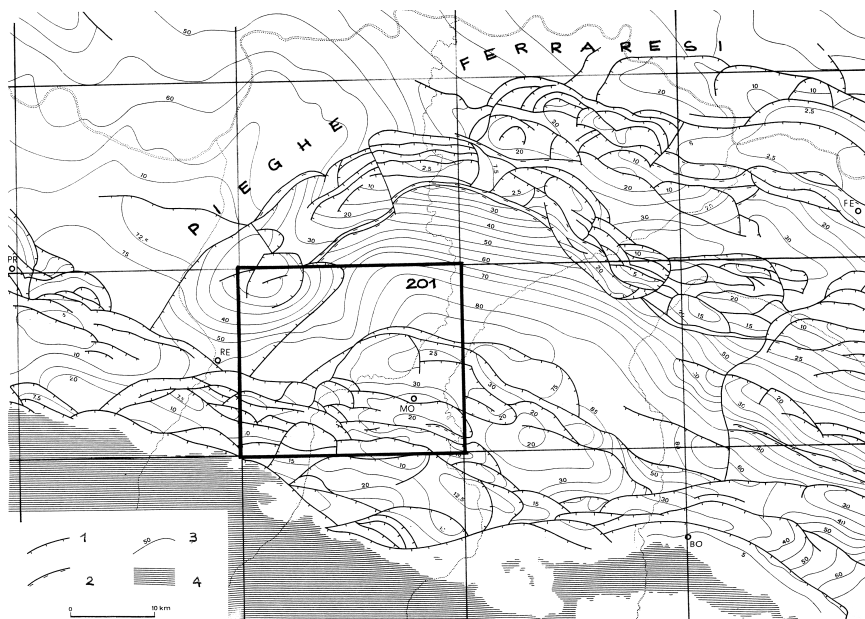


Fig. 4 - Carta strutturale del tetto delle unità pre-plioceniche nella pianura Padana (da *PIERI & GROPPi*, 1981, ridisegnata); legenda: 1-faglie dirette; 2-faglie inverse; 3 - isopache dei depositi plio-quaternari, spessore in hm; 4 - aree di affioramento dei sedimenti pre-pliocenici.

ge i sedimenti quaternari continentali a valle di tale lineamento (Anticlinale di Castelvetro) a testimonianza del perdurare almeno fino al Pleistocene medio di una tettonica compressiva. Una struttura simile, che coinvolge i sedimenti alluvionali, è ipotizzata anche nel sottosuolo della pianura a circa 100 metri di profondità tra Magreta e Sassuolo e si raccorda con l'analoga struttura affiorante a sud di Reggio Emilia in corrispondenza dell'allineamento Albinea-Montecchio (F. 200).

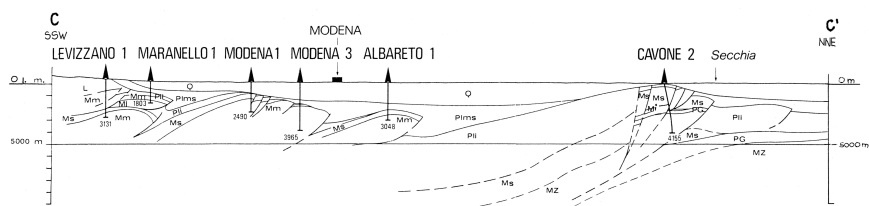


Fig. 5 - Sezione geologica profonda nel sottosuolo della pianura modenese (da *PIERI & GROPPi*, 1981). Traccia in figura 6, sezione C-C'. Legenda: Q: Quaternario, PliMs: Pliocene medio-superiore, Pli: Pliocene inferiore, Ms: Miocene superiore, Mm: Miocene medio, Mi: Miocene inferiore, PG: Paleogene, MZ: Mesozoico, L: Liguriidi.



#### IV - STRATIGRAFIA

I terreni continentali affioranti nel Foglio 201 “Modena” appartengono alla successione neogenico-aternaria del margine appenninico-padano e sono rappresentati da depositi fluviali, di conoide e di piana alluvionale.

Come già accennato nell'inquadramento geologico regionale i sedimenti continentali costituiscono la parte sommitale del riempimento quaternario della avanfossa padana. Essi costituiscono un ciclo sedimentario (Qc in RICCI LUCCHI *et alii*, 1982) che si sovrappone con un limite inconforme, affiorante estesamente nelle aree marginali del bacino, sul precedente ciclo Quaternario marino (Qm). Tale limite è stato riconosciuto e cartografato da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) in tutto il sottosuolo padano emiliano – romagnolo in base ai profili sismici e a dati di sondaggi; la sua età, definita sulla base di correlazioni sismiche con le aree adriatiche, è stata fissata a circa 650 ka BP. Lo spessore dei sedimenti continentali varia nell'area del Foglio dai circa 100 metri delle aree al margine SO ai 500 m circa delle aree poste a NO, come desumibile dalla fig. 6 che descrive la loro quota di base in m s.l.m. (il piano campagna varia da circa 200 lungo il margine a 20 m a NE).

Il diverso spessore appare legato alla diversa subsidenza delle strutture profonde: il settore nord del Foglio è posto in corrispondenza di uno dei massimi spessori dei sedimenti marini plio-pleistocenici, mentre il margine sud corrisponde a strutture positive con spessori assai ridotti.

I dati relativi al substrato dei depositi alluvionali, noti attraverso le ricerche di idrocarburi (AGIP MINERARIA, 1959; PIERI & GROPPi, 1981; MATTAVELLI *et alii*, 1983; DONDI, 1985; CASSANO *et alii*, 1986; DONDI & D'ANDREA, 1986) consentono di tratteggiare in modo dettagliato la stratigrafia e le strutture profonde padane, direttamente correlabili con le unità affioranti nel margine appenninico.

Nel sottosuolo del tratto di pianura compreso nel Foglio sono presenti, al di

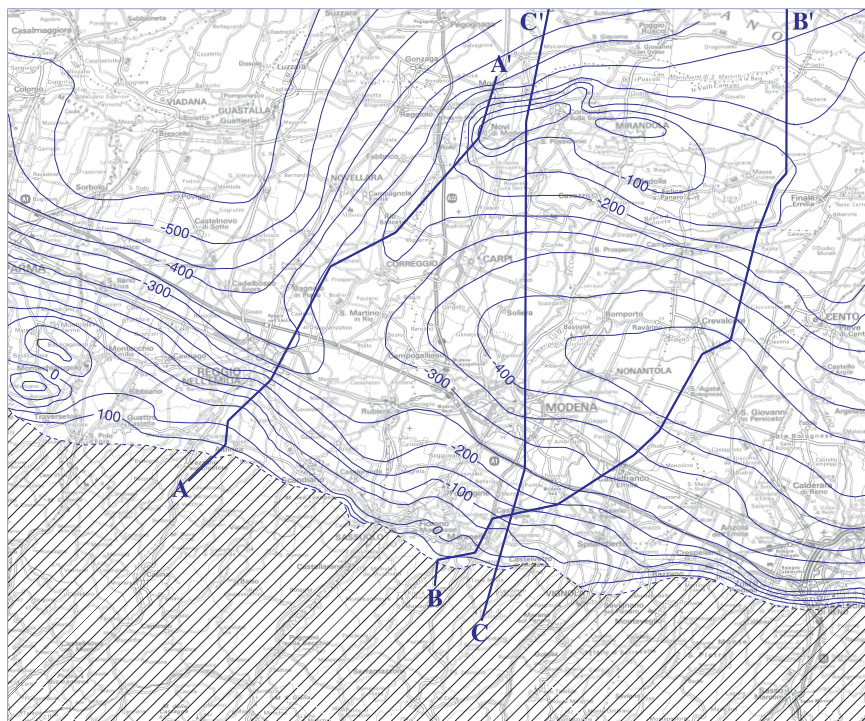


Fig. 6 - Profondità (in m s.l.m.) del limite basale dei sedimenti quaternari continentali (da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998, con modifiche). Equidistanza m 50.

sopra delle unità pre-plioceniche, le Argille del Santerno (DONDI *et alii*, 1982), unità prevalentemente argilloso-marnosa con rare intercalazioni arenacee di età pliocenica-pleistocenica, deposta in condizioni batimetriche variabili da batiali a neritiche superiori e litorali; ampiamente distribuita nel sottosuolo con spessori variabili da alcune centinaia di metri ad oltre due chilometri; è direttamente correlabile con la Formazione delle Argille Azzurre affioranti nel margine appenninico. Al tetto delle Argille del Santerno compaiono le Sabbie di Asti con spessori di oltre un centinaio di metri, simili alle “sabbie gialle” degli affioramenti collinari che si rinvencono alla base dei depositi alluvionali del ciclo Qc.

I dati relativi ai depositi alluvionali della pianura si devono, per il settore modenese, alle ricerche idriche di PELLEGRINI *et alii* (1976), del GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE DELLA PIANURA PADANA (1979) e di COLOMBETTI *et alii* (1980) che per primi hanno tentato una ricostruzione della distribuzione delle varie litologie del sottosuolo utilizzando le litostratigrafie dei pozzi per acqua; studi ripresi ed approfonditi per il settore meridionale del Foglio da

GASPERI *et alii* (1989). Successiva è la costruzione della carta del tetto del primo livello ghiaioso (GELMINI & PALTRINIERI, 1988) e una prima correlazione tra i depositi di pianura e del margine appenninico (FAZZINI & GASPERI, 1996).

All'interno del ciclo Qc sono state segnalate da vari Autori negli affioramenti del margine appenninico emiliano discontinuità minori (MARABINI *et alii*, 1987; FARABEGOLI & ONOREVOLI, 1991; DI DIO *et alii*, 1997) e, per quanto riguarda specificamente il settore modenese, da GASPERI *et alii* (1989). In REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) è stata proposta la istituzione del Supersistema emiliano-romagnolo, comprendente l'intero spessore dei sedimenti continentali, a sua volta suddiviso in due Sintemi (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e Sintema Emiliano Romagnolo Superiore) separati da una discontinuità rilevabile nelle aree marginali della pianura legata a una fase tettonica di importanza regionale (fig. 7).

Il sottosuolo dell'alta e media pianura è caratterizzato, secondo gli Autori citati, da alternanze ripetute di intervalli ghiaiosi e sabbiosi con intervalli limoso-argillosi. AMOROSI & FARINA (1996) hanno riconosciuto nella pianura bolognese cicli di spessore e gerarchia diversi legati a fattori glacio-eustatici, ciclicità confermata anche da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998). E' possibile individuare, secondo gli Autori citati, sequenze deposizionali elementari, sviluppate alla scala dei 40-100 ka e di decine di metri di spessore, correlabili per gran parte della pianura emiliano-romagnola. Le sequenze deposizionali di ordine maggiore (i due Sintemi Emiliano-Romagnolo Inferiore e Superiore), come si è accennato, sarebbero separate al margine del bacino da una superficie di discontinuità legata a una fase di sollevamento delle strutture appenniniche.

Tale ciclicità nella sedimentazione è caratteristica soprattutto dell'alta pianura, grosso modo coincidente con i quadranti meridionali del foglio 201; nelle aree poste a sud del Foglio, prossime al margine appenninico, prevalgono le ghiaie in tutti gli intervalli e sono presenti fenomeni di erosione parziale delle unità, mentre nelle aree di media pianura, più distali, scompaiono completamente le ghiaie e le sabbie si riducono notevolmente. Nelle aree intravallive i depositi corrispondenti risultano terrazzati e preservati in modo discontinuo. La correlazione tra aree di pianura e intravallive risulta abbastanza agevole per i sedimenti più recenti, deposti durante e dopo le ultime due fasi glaciali, mentre per i sedimenti più antichi sono possibili solo correlazioni indirette, basate su criteri geometrici di sovrapposizione, non controllate attraverso datazioni precise. Di conseguenza, dei cinque cicli in cui si scompone il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, nella pianura sono definiti solo i tre superiori, mentre i due inferiori sono identificati in modo informale con un numero progressivo.

## 1. - RILEVAMENTO DEI DEPOSITI DI PIANURA

La ricostruzione della stratigrafia dei depositi fluviali che caratterizzano la pianura presenta problemi diversi da quelli solitamente affrontati nelle aree col-

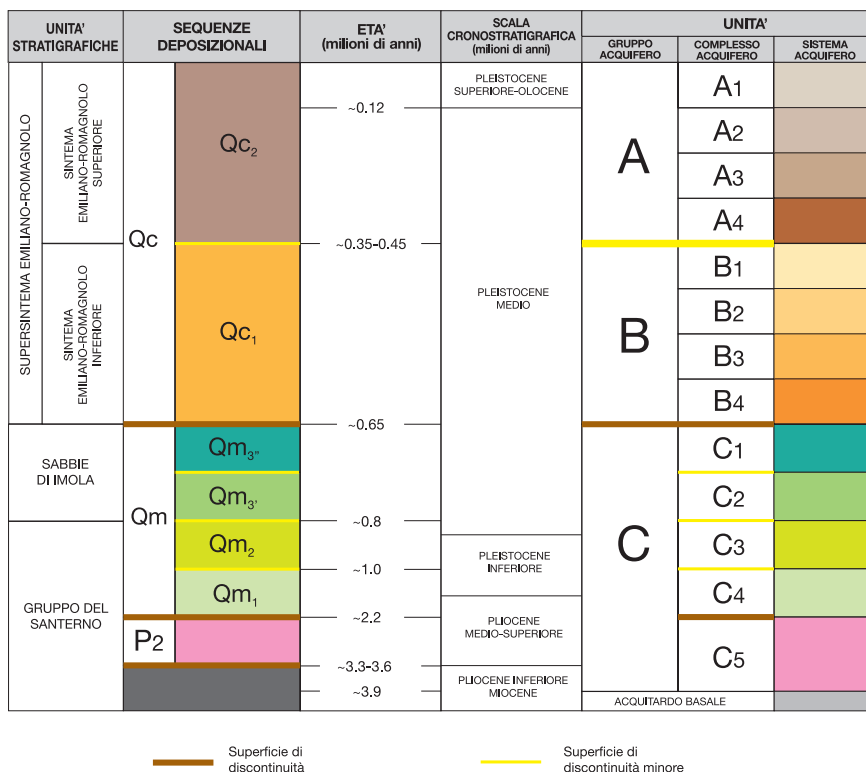


Fig. 7 - Schema stratigrafico e idrostratigrafico dei depositi plio-quaternari del sottosuolo padano (da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998, modificato).

linari o montane. La mancanza di sezioni naturali che offrano la possibilità di esaminare direttamente l'immediato sottosuolo ci ha obbligato a utilizzare ampiamente i dati provenienti da perforazioni e da scavi artificiali temporanei.

Dapprima si è proceduto alla raccolta di litostratigrafie di sondaggi effettuati per ricerche idriche o per opere di ingegneria civile conservati presso enti pubblici (Università di Modena e Reggio Emilia, Comuni, Provincie, Regione, FF.SS, ANAS, ENEL, Aziende Municipalizzate, AGIP, Autostrade, Autostrade del Brennero, TAV), liberi professionisti e imprese di perforazione.

Si tratta di dati di qualità assai diversa, infatti si va dalle stratigrafie molto sommarie quali sono quelle relative ai pozzi per ricerche idriche in cui vengono dettagliati, di solito, solo i livelli permeabili, a sondaggi con carotaggio continuo corredati da dettagliate descrizioni e prove di laboratorio su campioni indisturbati, quali sono le perforazioni effettuate in occasione di opere di ingegneria civile. I diagrammi di prove penetrometriche statiche, prove ampiamente utilizzate negli ultimi decenni per lo studio delle fondazioni di edifici,



consentono di ricavare dettagliate stratigrafie del sottosuolo e indicazioni di tipo geotecnico.

Oltre a questi dati, sono stati utilizzati quelli provenienti dagli studi pedologici effettuati dalla R.E.R negli anni 1988-1997 ed organizzati in una Banca Dati Pedologici: per il Foglio Modena consistono in 523 tra stratigrafie di sondaggi scavati con trivella a mano, profondi da 120 a 150 cm e profili pedologici ricostruiti utilizzando trincee appositamente scavate profonde 200-260 cm.

Nell'ambito del progetto CARG, dopo l'esame e una prima elaborazione di tutti i dati raccolti, sono stati effettuati n° 11 sondaggi a carotaggio continuo profondi sino a m 172 e realizzate n° 168 prove penetrometriche a integrazione e controllo dei dati esistenti.

I contenuti della Banca dei dati geologici relativi al Foglio 201 sono illustrati in Appendice 3.

### 1.1. - I DATI DI SUPERFICIE

Per la costruzione della carta geologica nelle aree di pianura i dati utilizzati derivano da diverse fonti; oltre ai dati bibliografici (FAZZINI *et alii*, 1976; GELMINI & PALTRINIERI, 1988; GASPERI *et alii*, 1989; CASTIGLIONI *et alii*, 1998), sono stati ampiamente utilizzati i dati derivati dagli studi pedologici della R.E.R. Lo studio delle caratteristiche pedologiche delle superfici esposte risulta, infatti, di fondamentale importanza per l'individuazione delle discontinuità e per stabilire l'età di disattivazione della sedimentazione nelle varie aree. Sono state quindi utilizzate la Banca dati pedologici e la Banca dati del Servizio analisi consulenza terreni della Regione Emilia Romagna (SACT). In particolare sono stati utilizzati i parametri relativi alla percentuale di  $\text{CaCO}_3$  nell'orizzonte superficiale (orizzonte pedologico "A"), infatti i sedimenti alluvionali del territorio modenese e reggiano non alterati presentano un tenore in carbonati attorno al 20% (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1994), che si abbassa in seguito ai processi di alterazione pedogenetica. La lisciviazione è tanto più spinta e interessa uno spessore tanto maggiore quanto più lungo è il periodo d'esposizione della superficie. Pertanto in base a questo parametro, unito alle altre determinazioni analitiche raccolte nelle sezioni pedologiche studiate in dettaglio (parametri chimici, fisici, mineralogici e micromorfologici) e integrando questi dati con altre informazioni, quali quelle storiche, archeologiche e geomorfologiche, è stato possibile stabilire l'età relativa delle superfici esposte.

Per quanto riguarda la litologia di superficie (la distribuzione granulometrica dei depositi affioranti), oltre alle sopraccitate banche dati che forniscono dati analitici relativi alle caratteristiche dei vari orizzonti pedologici, sono stati effettuati rilievi di campagna integrati da saggi di controllo con trivella manuale fino alla profondità di metri 1,20; sono state inoltre utilizzate le foto aeree a colori e in bianco e nero a varie scale (da 1:13.000 a 1:75.000) e di varie riprese dal 1954 al 1995, dalle quali, sulla base dei toni di colore, dei contrasti cromatici e del-

la morfologia, è stato possibile individuare le principali unità geomorfologiche quali: terrazzi intravallivi, conoidi alluvionali, canali, argini naturali e artificiali, ventagli di rotta, bacini interfluviali e “valli” (le aree a debolissima inclinazione, drenaggio difficoltoso e prevalente sedimentazione argillosa) e, spesso, stimare la litologia di superficie. Il prodotto finale deriva dall’elaborazione di tutti i dati disponibili e consiste in una carta geologica in cui i depositi affioranti sono distinti in base alle caratteristiche litologiche, ai rapporti reciproci ed all’età.

## 1.2. - I DATI DEL SOTTOSUOLO

I dati relativi al sottosuolo sono stati ricavati prevalentemente dalla Banca dati geologici; nell’Appendice 1 sono riportati in dettaglio i dati utilizzati per il sottosuolo provenienti da varie fonti e quelli direttamente raccolti dalla R.E.R., distinti per tipologia. Con un apposito *software* sono state realizzate griglie di sezioni geologiche a scala verticale ampliata su cui sono state proiettate le stratigrafie dell’archivio; è stata così ricostruita la geometria dei depositi grossolani (ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi) e fini (limosi e argillosi) e sono state ipotizzate le attribuzioni stratigrafiche e le correlazioni con le unità affioranti. Questa ricostruzione preliminare è stata in una successiva fase controllata con l’esecuzione di prove penetrometriche e di sondaggi a carotaggio continuo.

I nuovi sondaggi, oltre alla descrizione litologica e all’attribuzione paleoambientale dei sedimenti, hanno permesso la raccolta di campioni ricchi in sostanza organica datati successivamente con il metodo del  $^{14}\text{C}$  (Tabella 1), mentre i terreni limo-argillosi sono stati caratterizzati dal punto di vista geotecnico e nei livelli ghiaiosi e sabbiosi sono state effettuate prove di permeabilità.

Le prove penetrometriche statiche, spinte fino al tetto delle prime ghiaie o, in mancanza di esse, fino a circa 35 m dal p.c., tarate con i dati dei sondaggi a carotaggio continuo, sono state utilizzate per definire la litologia del sottosuolo, inoltre, nel corso dell’esecuzione delle prove stesse, sono state eseguite prove di dissipazione sui livelli limo-argillosi allo scopo di caratterizzarne la permeabilità.

L’elaborazione dei dati del sottosuolo ha consentito di costruire una carta del tetto delle prime ghiaie relativa ai Subsintemi più recenti, quelli di Ravenna e Villa Verucchio e delle aree di amalgamazione con le ghiaie delle unità sottostanti.

## 2. - LE UNITÀ STRATIGRAFICHE CONTINENTALI

Le linee guida per il rilevamento della Carta Geologica d’Italia in scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 1992) raccomandano che le unità rappresentate nella Carta geologica in scala 1:50.000 devono essere sotto forma di sintemi, cioè corpi rocciosi definiti ed identificati sulla base di discontinuità che li delimitano (U.B.S.U. *Unconformity Bounded Stratigraphic Units*, SALVADOR, 1994). Le unità cartografate nel margine appenninico modenese e

TAB. 1 - Datazioni col metodo del  $^{14}\text{C}$  relative all'area del Foglio 201.

Codice Sondaggio	Profondità campione	Età BP	Età Calibrata (BC)	Committente	Laboratorio
201010S9	-30.4m	21100±950	21750±980	R.E.R.	ENEA-Bologna
201030S4	-9.9 m	7780 ± 110	6700-6430 [68.2%]	R.E.R.	ENEA-Bologna
201030S4	-15.7 m	12200 ± 180	12600-12000 [68.2%]	R.E.R.	ENEA-Bologna
201030S4	-21.4 m	19340 ± 200		R.E.R.	ENEA-Bologna
201030S4	-24.1 m	21250 ± 350		R.E.R.	ENEA-Bologna
201040S6	- 17.6 m	4530 ± 60		R.E.R.	ENEA-Bologna
201040S6	- 26.6 m	13670 ± 50		R.E.R.	Beta Analytic -USA
201040S6	-33.9m	26500 ± 200	27300±200	R.E.R.	ENEA-Bologna
201060S10	-24.5 m	22670± 280		R.E.R.	Beta Analytic -USA
201070S3	-17.15 m	6890 ± 80	5800–5630 [68.2%]	R.E.R.	ENEA-Bologna
201070S3	-28.7 m	14000 ± 100	14990-14690 [68.2%]	R.E.R.	ENEA-Bologna
201110P421	-7.9 m	6865 ± 75	5857-5586	R.E.R.	E.T.H.-Zurich - CH
201110P421	-19.0 m	9935 ± 90	9393-9042	R.E.R.	E.T.H.-Zurich - CH
201160P411	-11.10 m	4580 ± 70		Com. MO	Dep. Geol. Din.- Paris
201160P411	-12.30 m	4610 ± 70		Com. MO	Dep. Geol. Din.- Paris
201160P411	-41.00 m	> 30000		Com. MO	Dep. Geol. Din.- Paris
201160P411	-48.00 m	> 30000		Com. MO	Dep. Geol. Din.- Paris
201160P417	-24.2 m	15130 ± 80	16340-15860 [68.2%]	R.E.R.	ENEA-Bologna
201160P418	-7.5 m	3970 ± 90	2590-2310 [68.2%]	R.E.R.	ENEA-Bologna

reggiano rientrano pienamente in questi criteri: base e tetto sono inconformi nelle aree intravallive e di conoide e quindi facilmente identificabili. Nelle aree di pianura, nell'ambito deposizionale degli ambienti fluviali, caratterizzati da frequenti lacune o diastemi (*sensu* BARRELL, 1917), l'assenza di superfici esposte rende più incerta l'individuazione delle discontinuità e la loro entità, non escludendo la possibilità che sottocorrente, cioè verso valle, le discontinuità passino a superfici continue.

I depositi alluvionali quaternari del Foglio 201 corrispondenti al ciclo Qc di

RICCI LUCCHI *et alii* (1982) sono compresi nel supersintema Emiliano-Romagnolo. Il limite inferiore, affiorante nelle aree pedecollinari a sud del Foglio, è discordante sui depositi costieri delle sabbie gialle pleistoceniche (le Sabbie di Imola) ed è stato individuato in alcuni pozzi profondi, oltre che nelle sezioni sismiche AGIP (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). La base dell'unità si approfondisce gradualmente da SO verso NE, si orizzontalizza nell'area di Soliera e risale andando verso nord e verso NO in prossimità dell'arco delle Pieghe ferraresi (fig. 6).

Litologicamente eterogenea, l'unità è costituita da ghiaie, prevalenti nelle aree intravallive e pedecollinari, da alternanze di depositi ghiaioso-sabbiosi e limoso-argillosi nell'alta pianura e da limi e argille prevalenti nella media pianura. A nord dell'allineamento Bagnolo in Piano-San Martino in Rio-Ganaceto-Albareto le ghiaie sono assenti.

Come è già stato accennato, il Supersintema Emiliano Romagnolo è stato suddiviso in due sintemi sovrapposti, il Sintema Emiliano-Romagnolo inferiore e il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore sulla base di una discontinuità ben rilevabile nelle aree marginali del bacino attribuita ad una fase tettonica che ha interessato anche le strutture del margine appenninico-padano (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Nel sottosuolo, non solo della pianura modenese ma di tutta la pianura emiliano-romagnola (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998; AMOROSI & FARINA, 1996), a questa discontinuità corrisponde un incremento della deposizione grossolana.

Il sistema emiliano romagnolo Inferiore è costituito prevalentemente da depositi fini, con gli intervalli ghiaioso sabbiosi confinati a sud della via Emilia, mentre il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore presenta alternanze di sedimenti grossolani e fini che si spingono a nord ben oltre la via Emilia. La separazione tra le due unità in sottosuolo nelle aree distali non è agevole, essendo ambedue le unità a costituzione limoso-argillosa. Nel Foglio affiora in superficie esclusivamente il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

## 2.1. - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Comprende i depositi continentali affioranti nel Foglio 201. Si tratta di depositi alluvionali depositi dai fiumi Crostolo, Secchia e Panaro e dai torrenti Tresinaro, Fossa di Spezzano, Grizzaga, Tiepido dal Pleistocene sino all'Attuale. Nelle aree meridionali del Foglio sono presenti i depositi relativi alle parti distali delle conoidi ghiaiose e a valle di queste si sviluppano i depositi per lo più limo-argillosi della pianura, depositi in condizione di argine fluviale, di canale di rotta e di piana alluvionale.

Il sintema è stato suddiviso in subsintemi, già proposti da AMOROSI & FARINA (1996); ciascuno di questi Subsintemi appare così organizzato: la porzione inferiore è costituita da litologie relativamente più fini, per lo più argillose e le ghiaie e sabbie, quando presenti, sono spesso canalizzate e comunque molto meno estese di quelle che caratterizzano la parte superiore dei subsintemi. Al di sopra

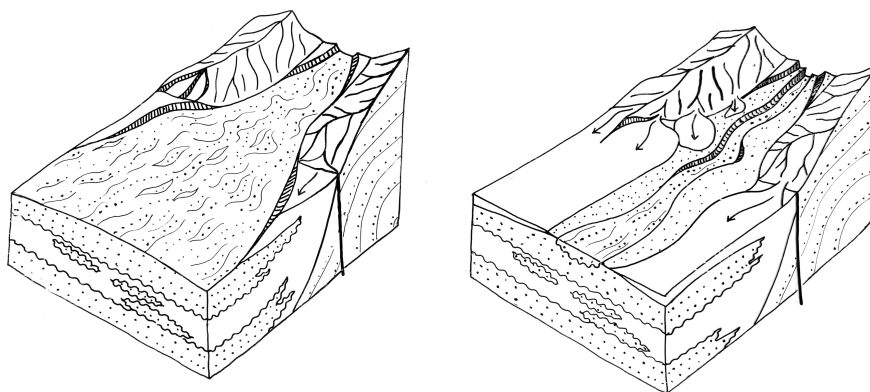
questa, la porzione superiore è caratterizzata da granulometrie più grossolane, limi e sabbie e ghiaie; le ghiaie hanno tetto tabulare e sono molto più estese e potenti rispetto a quelle presenti nella porzione inferiore.

Sono unità cicliche caratterizzate dall'alternarsi di due litologie; le discontinuità che individuano i subsintemi così definiti sono rappresentate nelle aree di alta pianura da paleosuoli ben sviluppati legati a periodi di interruzione della sedimentazione talora molto ampia, che hanno consentito la pedogenesi della parte sommitale dei depositi ghiaioso-sabbiosi; più a valle la superficie di separazione tra due subsintemi non è più contrassegnata da paleosuoli e la superficie di separazione può essere seguita solo basandosi sulla differenza litologica. Nelle aree di bassa pianura, poi, sembra che i subsintemi, sempre distinguibili su base litologica, siano meno differenziati e che si sovrappongano senza marcata discontinuità.

Queste unità cicliche sono state correlate con i depositi terrazzati dell'Appennino secondo un modello che lega i depositi ghiaiosi intravallivi più sviluppati agli intervalli a granulometria più grossolana e più estesi del sottosuolo e le maggiori scarpate dei terrazzi agli intervalli a litologia più fine del sottosuolo. Questo modello ipotizza che gli estesi e potenti depositi alluvionali vallivi e di pianura possano essersi accumulati in periodi durante i quali i rilievi sono soggetti a intensa erosione e i corsi d'acqua, caratterizzati da maggiori portate con maggiori capacità di trasporto in grado anche di ampliare le proprie valli, trasportano grandi quantità di sedimenti anche grossolani verso la pianura. Durante le fasi in cui è minore l'erosione e minori quantità di detriti giungono ai corsi d'acqua, questi incidono, nelle aree montane, i depositi alluvionali sedimentati nella fase precedente, terrazzandoli. Alla pianura giungono pertanto minori quantità di detriti e per lo più a granulometria fine per cui le conoidi ghiaiose sono assai meno estese.

Il modello proposto ipotizza un sollevamento costante della catena e una subsidenza costante nella pianura, ossia una cerniera strutturale relativamente stabile nello spazio e nel tempo (fig. 8). Le variazioni di energia sarebbero quindi da imputare a cause climatiche o glacio-eustatiche, come sembra deducibile dall'età degli ultimi estesi depositi ghiaiosi e di quelli limo-argillosi soprastanti, depositi rispettivamente nell'ultimo periodo glaciale e nel successivo post-glaciale. Infatti agli estesi depositi ghiaiosi della pianura depositi nell'ultimo glaciale sono correlabili gli ampi depositi vallivi dell'unità di Vignola, porzione superiore del Subsistema di Villa Verrucchio (FAZZINI & GASPERI, 1996), mentre ai livelli limo-argillosi post-glaciali e ai più ridotti depositi grossolani dell'unità di Ravenna è correlabile la scarpata che terrazza in Appennino l'unità di Vignola.

Nel sottosuolo sono stati individuati, a scala regionale, quattro cicli così definiti, numerati in modo informale da A1-A4 che nelle aree presso l'attuale costa adriatica (vedi Note illustrative del F. 256) corrispondono a cicli trasgressivo-regressivi, e un ciclo non completo, quello sommitale (A0) costituito prevalentemente da depositi fini (vedi schema dei rapporti stratigrafici in calce alla "Carta del tetto delle ghiaie e delle sabbie"). In particolare sono ben individuabili nel sottosuolo gli ultimi due cicli, coincidenti con i Subsintemi di Bazzano e di Villa Verucchio, e il sovrastante ciclo incompleto del Subsistema di Ravenna.



stadio 1: massima energia

stadio 2: minima energia

Fig. 8 - Schema morfologico e litostratigrafico degli effetti di una oscillazione climatica lungo un corso d'acqua del margine appenninico-padano. In punteggiato i depositi alluvionali grossolani.

La porzione fine d'ogni ciclo è costituita in prevalenza da argille e limi, a volte con sostanza organica vegetale concentrata in lenti, depositi in bacini interfluviali caratterizzati da tracimazioni e decantazione di sedimenti argillosi con ripetuti episodi palustri; la porzione grossolana è, invece, costituita da ghiaie di conoide, organizzate in estesi livelli tabulari, se connessi ai fiumi principali (Secchia e Panaro), più ridotti e a geometria nastriforme quelle dei torrenti minori e a valle delle conoidi da sedimenti limo-sabbiosi.

Le unità più antiche presenti nel sottosuolo, che non affiorano nel Foglio, possono solo dubitativamente essere correlate ai terrazzi alluvionali posti alle quote più elevate nelle zone collinari immediatamente a sud del Foglio (cfr. F. 219); pertanto non verranno descritte singolarmente.

### 2.1.1. - Subsintema di Villa Verucchio (AES<sub>7</sub>)

Affiora in una limitata area nei dintorni di Scandiano e costituisce l'unità più facilmente riconoscibile anche nel sottosuolo a causa del corpo ghiaioso tabulare presente al tetto, alterato nelle zone di alta pianura in un suolo molto evoluto (alfisuolo). Costituisce il gruppo di depositi terrazzati più estesi e agevolmente riconoscibili delle aree pedecollinari del Foglio posto a sud, il 219.

Il Subsintema di Villa Verrucchio è costituito da limi prevalenti con subordinate ghiaie e sabbie nella porzione inferiore e da depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi di conoide del F. Secchia e dei torrenti Tresinaro e Crostolo nella porzione superiore. Nelle aree meridionali, in prossimità del F. Secchia l'intera unità è costituita da ghiaie. E' parzialmente suddiviso in unità di rango inferiore, l'unità di

Vignola, che comprende la parte superiore a granulometria grossolana e l'unità di Niviano che ne rappresenta la porzione inferiore generalmente più fine.

La base dell'unità è caratterizzata nel sottosuolo dall'inizio della deposizione fine susseguente alle ghiaie che caratterizzano la sommità del Subsintema di Bazzano. Nelle aree settentrionali del Foglio le ghiaie del sottostante Subsintema di Bazzano non sono più presenti, sostituite da sabbie fini limose e più raramente da sabbie medie, nastriformi, di canale e argine fluviale; in queste aree si attenuano le differenze granulometriche tra il tetto dell'unità sottostante, quella di Bazzano e la base di quella soprastante e il limite tra le due unità non è più identificabile con certezza.

Il limite superiore del Subsintema Villa Verrucchio è posto in corrispondenza del passaggio tra le ghiaie presenti a tetto dell'unità e i depositi prevalentemente limoso argillosi che caratterizzano la parte inferiore del successivo Subsintema di Ravenna.

Nelle zone meridionali le ghiaie a tetto dell'unità sono intensamente pedogenizzate fino a costituire un suolo molto evoluto (alfisuolo), testimoniante una prolungata lacuna nella sedimentazione; nelle aree distali di conoide il paleosuolo non è più rilevabile, ma non è escluso, anche in base ai dati delle aree circostanti, che la lacuna interessi l'intero Foglio (MAROCCO, 1991; CORREGGIARI *et alii*, 1996; Note illustrative del F. 223).

Lo spessore complessivo delle ghiaie relative alla conoide del F. Secchia raggiunge i valori massimi a sud di Modena (> 40 m) e diminuisce rapidamente verso nord e verso est e ovest della paleoconoide (fig. 9). Nella carta del tetto delle ghiaie è riportato il limite a sud del quale le ghiaie dell'unità di Villa Verucchio sono amalgamate con quelle dell'unità sottostante, quella di Bazzano. I depositi legati al T. Crostolo e al T. Tresinaro raggiungono appena lo spessore complessivo di 10 m.

A valle delle conoidi ghiaiose l'intero Subsintema di Villa Verucchio è a costituzione limo-argillosa con intercalazioni di sabbie, medie per lo più, frequenti nella porzione superiore dell'unità, ove formano corpi lenticolari allungati anche chilometri parallelamente alla idrografia attuale.

**AES<sub>7</sub>** è il prodotto di un ciclo di sedimentazione *coarsening upward* in cui la parte inferiore prevalentemente fine (l'unità di Niviano), rappresenta il deposito del penultimo interglaciale, comprendendo quindi il Tirreniano, mentre la parte superiore prevalentemente grossolana (unità di Vignola) rappresenta la sedimentazione caratteristica dell'ultima fase glaciale. In termini di stratigrafia sequenziale la parte inferiore costituisce il TST e l'HST (sistema trasgressivo e di stazionamento alto) di una sequenza deposizionale (*sensu* POSAMENTIER *et alii*, 1988) e la parte superiore, l'unità di Vignola, comprende i corrispondenti continentali del FRST (sistema di regressione forzata, HUNT & TUCKER, 1992; POSAMENTIER *et alii*, 1992), e del LST (sistema di stazionamento basso) (CORREGGIARI *et alii*, 1996).

La potenza dell'unità è variabile da 0 ad oltre 70 metri. L'età è pleistocenica superiore, compresa tra i 120.000 anni B.P. (età dedotta dalla correlazione della parte inferiore dell'unità con i depositi tirreniani costieri della Romagna, cfr. F. 256) e i 15.000 anni circa, età della più antica datazione attribuibile al Subsintema di Ravenna (vedi Tab. 1).



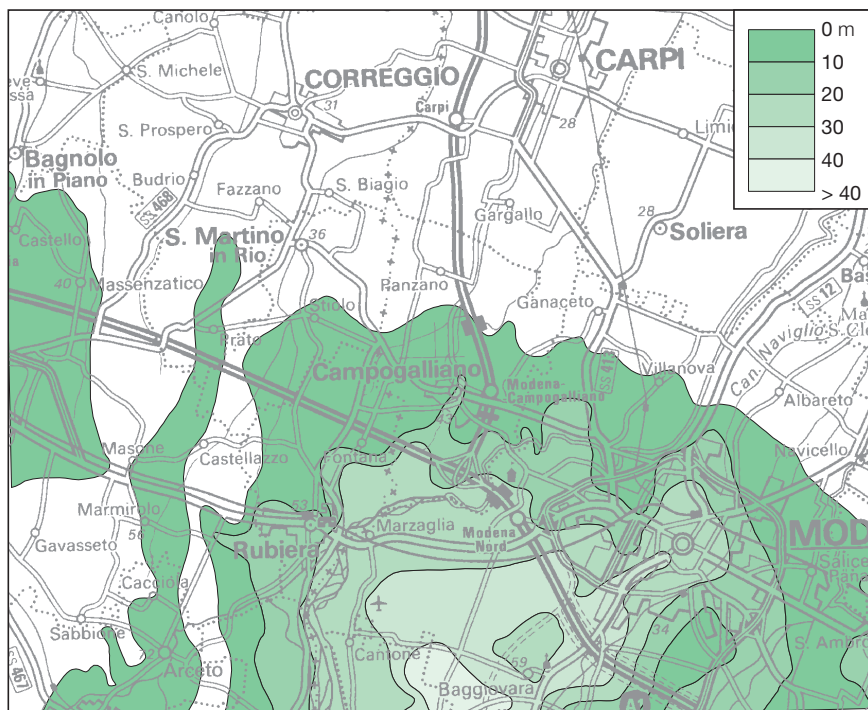


Fig. 9 - Carta delle isopache del Subsistema di Villa Verucchio.

*Unità di Niviano (AES<sub>7a</sub>).* Affiora in piccole aree presso Scandiano (Foglio 219) e, più estesamente, a sud nel Foglio 219 e ad ovest di Scandiano, nell'ampia superficie terrazzata che si estende fino ad Albinea (F. 200). Il contatto basale non affiora, mentre il limite superiore coincide con la superficie topografica.

Le esposizioni sono scarse e limitate per lo più a scavi artificiali temporanei. Si tratta di depositi fluviali intensamente alterati, limoso-sabbiosi, in cui la pedogenesi presenta in generale un fronte di alterazione che può raggiungere i 5 metri, con colori Munsell variabili da 5YR su ghiaie fino a 2,5Y su limi, articolato negli orizzonti A, Bw, Bt, Bk, C.

Lo spessore dell'unità è superiore ai 10 m nelle aree ove affiora. Costituisce, nelle zone intravallive e pedecollinari poste prevalentemente a sud nel Foglio 219, il gruppo di depositi terrazzati più estesi, assieme a quelli dell'unità di Vignola, separati da quest'ultima da una scarpata via via più alta risalendo nelle valli. Nel sottosuolo è stato attribuito al Subsistema di Bazzano il corpo ghiaioso posto a profondità variabili tra 30 e 110 metri dal piano di campagna con caratteristiche molto simili all'unità di Vignola.

Nel Foglio 201 e nei limitrofi Fogli 200 e 219, le ghiaie delle aree di pianura attribuibili al Subsistema di Bazzano sembrano superare per estensione areale, sia



pure di poco, le ghiaie sommitali del Subsistema di Villa Verucchio. L'analogia di spessore e di estensione, in superficie e nel sottosuolo, con l'unità di Vignola rende attribuibile alla parte sommitale del Subsistema di Bazzano un significato analogo: deposito grossolano legato al penultimo glaciale, il pre-tirreniano.

I numerosi dati archeologici (CREMASCHI *et alii*, 1980) testimoniano un'età pre-levellois della superficie posta a tetto; GASPERI *et alii* (1987) hanno attribuito questi terreni all'unità Ubersetto pre-neolitica.

L'età è Pleistocene superiore.

*Unità di Vignola (AES<sub>7b</sub>)*. Affiora in limitate aree nei dintorni di Scandiano ed è sempre ben riconoscibile anche nel sottosuolo soprattutto nelle aree di alta pianura ove vi è continuità laterale dei corpi ghiaiosi e il loro tetto è tabulare.

E' formata da ghiaie a supporto di clasti e ghiaie a matrice limo-sabbiosa della conoide del fiume Secchia, che passano distalmente e lateralmente a limi e limi sabbiosi con rare ghiaie, di ambiente di interconoide e ancora più a valle a limi e limi argillosi di piana alluvionale. Questo deposito ghiaioso era già stato cartografato da GELMINI & PALTRINIERI, 1988 e da GASPERI *et alii*, 1989, con isobate tracciate dal piano campagna, e attribuito esplicitamente alla unità di Vignola da FAZZINI & GASPERI (1996).

L'attribuzione dei depositi sepolti all'unità di Vignola, definita nei suoi limiti inferiori e superiori a sud dell'area del Foglio, deriva dall'elaborazione delle stratigrafie della Banca dati geologici e dei sondaggi a carotaggio continuo della R.E.R. Le conoidi costituite da depositi grossolani dei corsi d'acqua maggiori sono ben cartografabili in sottosuolo; la più estesa nel Foglio è quella del F. Secchia, in essa le ghiaie, ai bordi e verso valle della conoide, passano a ghiaie e sabbie e quindi a sabbie, ma meno estese delle ghiaie, e più distalmente ancora ai depositi limoso-argillosi di piana inondabile. A est della paleoconoide del Secchia sono presenti le estreme propaggini occidentali della conoide del Panaro, mentre all'estremo ovest del Foglio sino a Bagnolo in Piano sono presenti i depositi ghiaiosi del torrente Crostolo (il cui corso attuale non entra nel Foglio 201) e quelli decisamente meno estesi e meno continui lateralmente del T. Tresinaro sviluppati solo a sud della via Emilia.

Per quanto riguarda gli spessori delle ghiaie i massimi si hanno a sud di Modena, con oltre 20 metri, mentre spostandosi a nord e lateralmente, pur aumentando la potenza dell'unità considerata i depositi grossolani sono intercalati a quelli fini in alternanze plurimetrie e lo spessore complessivo delle ghiaie diminuisce.

Il contatto inferiore dell'unità non affiora; è erosivo nei depositi intravallivi posti al di fuori del Foglio 201. Nelle aree ove i depositi di conoide prossimale sono sepolti, il contatto basale tra le ghiaie del Subsistema di Bazzano e quelle di Villa Verucchio viene supposto discontinuo ed erosivo. Più distalmente, dallo studio delle stratigrafie disponibili, la base dapprima ben definita lo diventa sempre meno a mano a mano che ci si sposta verso i quadranti settentrionali del Foglio, ove è individuabile solo nei sondaggi con carotaggio continuo eseguiti dalla Regione Emilia-Romagna in base alla maggiore frequenza dei depositi sabbiosi dell'unità di Vignola rispetto ai livelli sottostanti. Non è da escludere che la

maggior frequenza sabbiosa rispetto agli orizzonti sottostanti possa essere una caratteristica più estesa di quanto riscontrato, ma la qualità dei dati della banca dati non permette di chiarirlo, essendo in queste zone archiviati prevalentemente pozzi per acqua, che spesso non registrano le variazioni litologiche tra sabbie fini e argille, soprattutto nelle porzioni più superficiali, di solito non interessanti a scopo idrico.

Il paleosuolo presente al tetto dell'unità nelle aree prossimali della conoide affiora nei fronti di cave abbandonate presso Magreta ed è stato incontrato nel sondaggio regionale n. 201S7 e in alcuni scavi per fondazioni presso Baggiovara (fig. 10). Esso presenta un fronte di alterazione mediamente compreso tra 1,5 m e 2 m, parzialmente o totalmente decarbonatato, articolato negli orizzonti A, Bw, Bt, Bk, (C), con evidenze di accumulo di argilla illuviale e colori di alterazione (MUNSELL, 1975) degli orizzonti B tra 5 YR e 10 YR.

Il limite con il soprastante Subsistema di Ravenna è ben individuabile ove è presente il paleosuolo e cade in corrispondenza di un'evidente discontinuità. Nelle aree distali di conoide questo manca e il tetto dell'unità è

stato posto al passaggio tra le ghiaie e i sovrastanti depositi fini attribuiti al Subsistema di Ravenna. A valle delle conoidi nella piana alluvionale mancando del tutto le ghiaie, non è possibile tracciare con sicurezza il limite superiore dell'unità e, in analogia con quanto ipotizzato per il limite inferiore, esso viene collocato ove si verificano variazioni granulometriche, cioè dai livelli sabbiosi sottostanti si passa a livelli prevalentemente limo-argillosi.

Le ghiaie dell'unità di Vignola hanno una estensione superiore a quella del Subsistema di Ravenna: infatti i depositi ghiaiosi della conoide del F. Secchia appartenenti all'unità di Vignola si esten-



Fig. 10 - Il tetto dell'unità di Vignola con un paleosuolo rubefatto, e coperto dai sedimenti ricchi in sostanza organica del Subsistema di Ravenna. Sondaggio R.E.R. S7, presso Baggiovara.

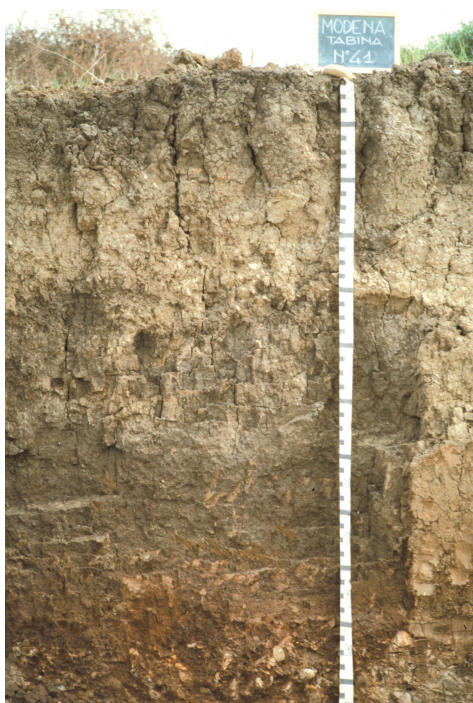


Fig. 11 - Il limite tra la unità di Vignola e il Subsistema di Ravenna in un fronte di scavo pedologico presso Magreta. Si nota il cambiamento di colore tra le due unità.

dono sino a valle della città di Modena, ove si rinvencono a 20-30 m di profondità (FAZZINI & GASPERI, 1996).

L'età della base dell'unità di Vignola è superiore a 30.000 anni B.P.; l'età del tetto, spesso non ben determinabile a causa della litologia ghiaiosa presente, è più antica dei 15.000; anni B.P., età stabilita sulla base delle datazioni con il  $^{14}\text{C}$  sui campioni raccolti nei sondaggi della R.E.R. alla base dell'unità soprastante. Infatti alla base del Subsistema di Ravenna è presente a scala regionale un livello spesso alcuni metri costituito da argille limose a cui s'intercalano livelli centimetrici o decimetrici ricchi di sostanza organica (fig. 11).

L'unità di Vignola è correlabile, soprattutto per la presenza a tetto di una superficie di non deposizione ben espressa dall'alfisuolo presente nella conoide pedemontana, con i depositi alluvionali e palustri sottostanti all'unità di Ravenna del Foglio 223 e con un orizzonte indurito il "caranto" (TOSI, 1994; AMOROSI & MARCHI, 1999) incontrato nelle aree prossime all'attuale linea di costa adriatica. E' interessante segnalare come in base ai dati attualmente disponibili, nelle aree di media pianura del Foglio non sembra registrata in modo evidente la stasi di sedimentazione al tetto dell'unità, a differenza di alcune aree della Romagna dove è segnalata una lacuna sedimentaria di alcune migliaia di anni (vedi Note illustrative dei Fogli 256 e 223).

La deposizione dell'unità di Vignola sembra legata a condizioni idrauliche e climatiche diverse da quelle che caratterizzano il successivo Subsistema di Ravenna e comunque caratterizzate da maggiori portate da un maggiore carico solido e da un diverso *pattern* nella distribuzione delle ghiaie rispetto all'Attuale. Pertanto, sulla base delle considerazioni sopra esposte, si può ipotizzare la deposizione di tale unità nel corso dell'ultima glaciazione e, forse, anche durante il periodo immediatamente successivo.

### 2.1.2. - Subsintema di Ravenna (AES<sub>8</sub>)

Affiora nella maggior parte del Foglio. A differenza delle unità continentali più antiche di ambiente intravallivo e di conoide affioranti in aree pedecollinari, questa si sviluppa in condizioni di piana inondabile e rappresenta l'intero spessore dei sedimenti, prevalentemente fini, depositi nell'ultimo postglaciale, in parte al di sopra dell'esteso corpo ghiaioso attribuito all'unità di Vignola.

La base del Subsintema di Ravenna nell'area tipo (AMOROSI, 1999; Foglio 223-Ravenna) (fig. 12) è caratterizzato da una superficie di discontinuità corrispondente a una lacuna stratigrafica di entità variabile e marcata da un netto contrasto di facies: i depositi alluvionali di età pleistocenica (parte sommitale di Villa Verucchio) sono sovrastati da depositi di ambiente paralico e marino-marginale riconducibili all'ultimo ciclo trasgressivo-regressivo di età olocenica.

Nel settore emiliano la base del subsintema cade all'interno di depositi alluvionali ed è generalmente meno facilmente riconoscibile di quanto non avvenga per i settori posti presso la costa. Nel Foglio 201 la base affiora in alcune cave abbandonate scavate a NE di Magreta nella zona meridionale del Foglio (fig. 11). Qui limi e limi argillosi beige poggiano con contatto netto sulle ghiaie e limi di colore bruno-rossastro alterati dal paleosuolo a tetto dell'unità di Vignola. La stessa situazione è stata incontrata nel sondaggio R.E.R. 201S7, a nord di Baggiovara (fig. 10). Verso la pianura e allontanandosi dall'asse principale dei

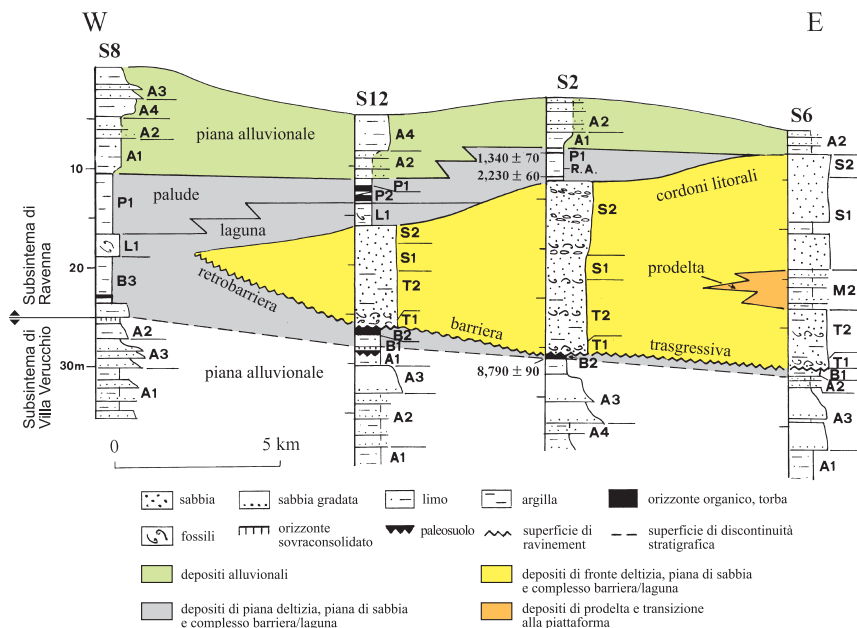


Fig. 12 - Stratigrafia del Subsintema di Ravenna nel settore meridionale del Foglio Ravenna: è evidente il cuneo di ingressione marina olocenica.

fiumi, non è più presente a tetto del subsintema questo paleosuolo, ma sono presenti solo ghiaie inalterate (ad esempio nel sondaggio R.E-R 201S2, nei pressi di Vaciglio) e il limite inferiore del subsintema viene posto convenzionalmente al tetto dei corpi ghiaioso-sabbiosi ad elevata estensione laterale che caratterizzano la porzione sommitale di Villa Verrucchio. Ancora più a nord mancano del tutto le ghiaie e il limite con la unità di Vignola non è più contrassegnato da un netto cambiamento litologico, poiché qui la sedimentazione si è sviluppata, presumibilmente, con continuità e senza grandi variazioni. In queste aree la base del subsintema è contrassegnata da alcuni metri di argille più o meno limose alle quali sono intercalati, a profondità variabili tra i 15 e i 25 metri, livelli centimetrici o decimetrici ricchi in sostanza organica (sondaggio 201S3, a nord di Campogalliano, fig. 13).

Il limite superiore del subsintema coincidente sempre con la superficie topografica, è caratterizzato dalla presenza di suoli a basso grado di alterazione con profilo di alterazione inferiore ai 150 cm, parzialmente decarbonatato, articolato negli orizzonti A, Bw, Bk, (C) (entisuoli), con colori di alterazione (MUNSELL, 1975) degli orizzonti B delle pagine 10YR–2,5Y (giallo-bruno). In molte aree al tetto è presente un suolo meno evoluto del precedente, legato a eventi deposizionali di età post-romana; i depositi con a tetto questi suoli sono stati attribuiti all'unità di Modena.

Il subsintema è correlato con gli affioramenti intravallivi rappresentati da depositi fluviali terrazzati a litologia prevalentemente ghiaioso-sabbiosa.

La parte inferiore del subsintema, a partire dalla base per uno spessore di circa 5 metri, è caratterizzata, come già accennato, dalla presenza diffusa di depositi ricchi di sostanza organica in livelli centimetrici e decimetrici di colore bruno nerastri. Questi livelli, incontrati in 81 sondaggi geognostici della banca dati (fig. 14) e in affioramenti in fronti di cava



Fig. 13 - L'intervallo ricco in sostanza organica alla base del Subsintema di Ravenna. Sondaggio R.E.R S3 a nord di Campogalliano.



(ad esempio nei pressi di San Vito, nel F. 219), sono correlabili con l'unità di Vedrana (AMOROSI & FARINA, 1996) incontrata in numerosi sondaggi scavati in varie località della regione.

La risalita del livello del mare dopo l'ultima fase glaciale non deve essere stata di breve durata, come sembrano indicare lo spessore relativamente potente (circa 5 metri) dei sedimenti argillosi, la frequente presenza in essi di resti organici vegetali discontinui di spessore relativamente modesto e, infine, le determinazioni radiometriche effettuate su questi livelli torbosi che hanno fornito età variabili tra i 15.130 e i 9.935 anni B.P. La sedimentazione della porzione basale del subsistema di Ravenna si sarebbe quindi sviluppata su una piana alluvionale mal drenata caratterizzata da estese paludi, in un arco di tempo di almeno 5.000 anni.

All'intervallo basale ricco in sostanza organica segue una sedimentazione prevalentemente fine, più o meno spessa. A profondità variabili a seconda delle zone è presente un secondo livello nerastro, torboso, assai esteso lateralmente, che datazioni con il  $^{14}\text{C}$  hanno evidenziato avere età oscillanti tra i  $4.580 \pm 70$  e i  $3.970 \pm 90$  anni B.P. (sondaggio 201160P411) a 11,6 m di profondità, in CREMASCHI & GASPERI, 1989 e sondaggio 201160P418, a 7,5 m dal p.c.). A questi livelli torbosi

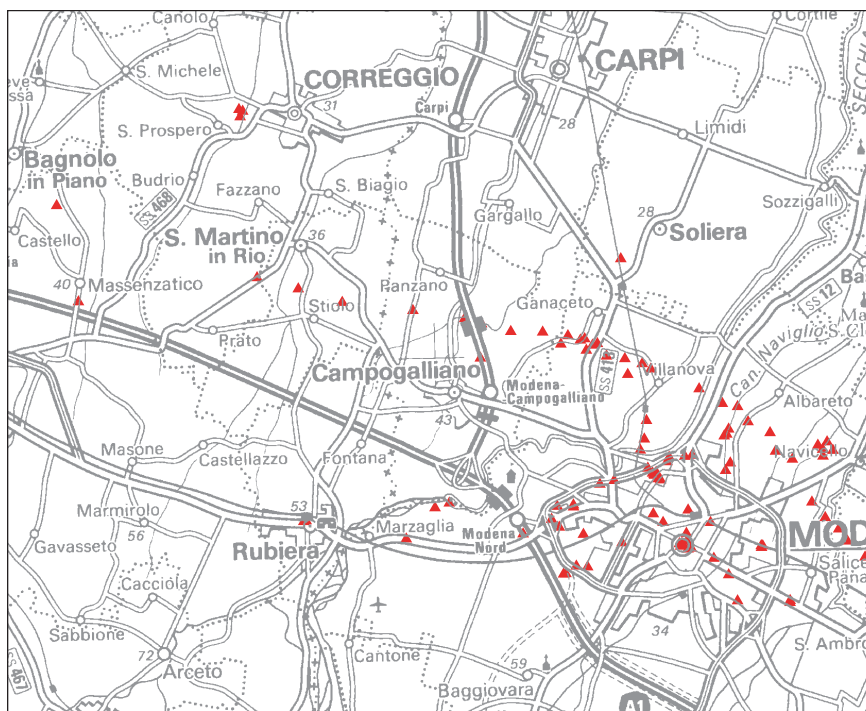


Fig. 14 - Ubicazione dei sondaggi che segnalano sostanza organica attribuibile alla parte basale del Subsistema di Ravenna.

è probabilmente correlabile anche il ritrovamento di numerosi tronchi di querce nell'alveo del Secchia attuale datati a  $3.440 \pm 50$  B.P. (BERTOLANI MARCHETTI & FORLANI, 1972).

I depositi del subsistema di Ravenna affioranti estesamente nel Foglio granulometricamente sono fini, e vanno dalla sabbia media all'argilla (fig. 15), deposti in ambienti di piana alluvionale sviluppata a valle delle conoidi. Solo nelle aree a sud dell'autostrada A1 presso il F. Secchia sono presenti i depositi ghiaiosi di conoide. La transizione tra conoidi e piana alluvionale, sempre molto graduale e mal distinguibile in superficie anche per i secolari effetti dell'antropizzazione, è solo a luoghi marcata dalla scomparsa delle ghiaie ed evidenziata dalla diminuzione della inclinazione della superficie topografica.

A valle delle conoidi il territorio presenta un uniforme inclinazione verso

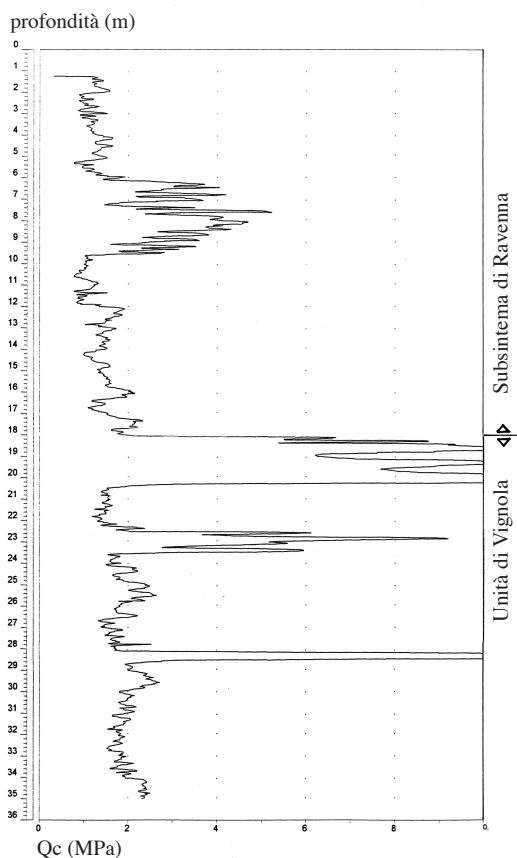


Fig. 15 - Diagramma penetrometrico cod. 201030U503; è evidente la prevalente natura argillosa dell'intervallo inferiore del Subsistema di Ravenna.

NNE interrotta solo da blande ondulazioni positive allungate in senso N-S e NNE-SSO, spesso rilevabili solo da una cartografia con isoipse con equidistanza di un metro. Gli affioramenti sono praticamente inesistenti e le osservazioni, oltre a quelle rese possibili da occasionali scavi, sono basate su dati ricavati dai sondaggi (la Banca Dati della R.E-R).

I depositi di questo subsistema sono il prodotto della sedimentazione prevalentemente verticale dovuta a processi di tracimazione di corsi d'acqua sinuosi (l'andamento rettilineo di alcuni corsi d'acqua è dovuto a opere antropiche iniziate nel territorio a partire dall'età romana), che si sviluppano a valle dei corsi *braided* caratteristici delle conoidi pedemontane. I processi deposizionali hanno portato alla formazione di argini naturali prevalentemente sabbiosi, crevasse e piane inondabili limose e argillose, mentre la

migrazione dei meandri e delle barre di meandro hanno condotto alla deposizione di corpi sabbiosi nastriformi allungati nel senso di scorrimento delle acque.

Carattere distintivo di queste aree è la distribuzione superficiale delle classi granulometriche (la litologia superficiale) perché riflette l'ambiente deposizionale e permette di riconoscere e cartografare i vari sottoambienti del sistema fluviale: le sabbie e i limi sabbiosi affiorano secondo fasce allungate da sud a nord che, dipartendosi dal piede delle conoidi, corrispondono ad antichi argini fluviali o a fasce di migrazione di meandri, spesso in parte sepolti da depositi di piena o di *crevasse* più recenti. La corrispondenza di alcune fasce limoso-sabbiose con dossi potrebbe essere indicativa della presenza di argini fluviali naturali; le argille e i limi hanno sovente una distribuzione del tutto irregolare che riflette una stratificazione lenticolare derivante da singoli episodi di tracimazione (vedi titolo VI).

La parte superiore del Subsintema, sino al piano campagna, è caratterizzata da maggiore frequenza di livelli limoso sabbiosi o limoso argillosi con frequenti intercalazioni sabbiose, a testimonianza di un aumento areale degli ambienti di argine e di rotta fluviale legati ad una maggiore dinamica dei corsi d'acqua.

La sedimentazione grossolana, ghiaiosa, che si rinviene alla base dell'unità in eteropia con i livelli argillosi torbosi, è localizzata nelle aree prossime al fiume Secchia, al limite sud del Foglio sino poco a valle di Campogalliano e, nel suo insieme, si presenta drasticamente più ridotta (arretrata di circa 5 km) rispetto a quella dell'unità di Vignola, (GASPERI *et alii*, 1989) (cfr. Carta del tetto delle prime ghiaie). Gli affioramenti sono rappresentati dalle cave scavate presso il F. Secchia.

Si tratta di depositi prevalentemente ghiaiosi, con diametri massimi intorno ai cm 30 al limite sud del foglio e di qualche centimetro all'estremità nord degli affioramenti, immersi in abbondante matrice sabbioso-limosa. Le ghiaie, poco classate ed embricate, sono costituite in prevalenza da calcari ed arenarie, e subordinatamente selci ed ofioliti. Nelle ghiaie si distinguono nelle aree meridionali, solo corpi mal definiti in cui è individuabile una base concava, erosiva, poco profonda, ampia una decina di metri nelle sezioni ortogonali alla corrente. Negli affioramenti posti più a nord, a nord di Rubiera, i corpi ghiaiosi lenticolari concavi sono meglio definiti e le singole lenti si intagliano reciprocamente: la laminazione, tabulare inclinata a basso angolo, interessa pacchi ghiaiosi spessi circa 1 metro.

Le sabbie sono presenti, oltre che nella matrice, in rare lenti poco sviluppate entro le ghiaie stesse o al tetto di queste, ove assieme a limi e ad argille costituiscono uno strato potente un paio di metri. Nelle aree distali delle conoidi per una distanza di poco più di un chilometro si ha un vistoso arricchimento in sabbie che costituiscono livelli sempre più potenti entro le ghiaie sino a sostituirle completamente.

L'evoluzione paleoambientale del Subsintema di Ravenna risulta confrontabile con quella ipotizzata nelle aree prossime al Mare Adriatico (F. 223); il primo intervallo ricco in sostanza organica (unità di Vedrana di AMOROSI & FARINA, 1996) presente dal Riminese al Piacentino testimonia, con lo svilupparsi di paludi diffuse contemporanee alla sedimentazione di depositi trasgressivi di retrobarriera nelle aree periadriatiche, l'annegamento del sistema fluviale preesistente legato alle este-



se conoidi pedeappenniniche costruite durante la fase glaciale. Queste condizioni si collocano in corrispondenza dell'inizio della risalita marina a partire da circa 15.000 anni B.P. e possono essere provocate sia dalla risalita stessa del livello del mare che condiziona il profilo di equilibrio dei fiumi e sia da cause climatiche con diminuzione della portata dei fiumi e quindi della capacità di trasporto dei fiumi stessi. La presenza di estesi bacini interfluviali soggetti a periodici impaludamenti, l'abbondanza di accumulo di sostanza organica, la contemporanea presenza di sedimenti di transizione e marini nelle aree più orientali della pianura (AMOROSI, 1999) testimoniano lo svilupparsi di condizioni trasgressive su tutta la pianura emiliana. Il secondo intervallo ricco in sostanza organica potrebbe corrispondere alla fase di massima ingressione marina, circa 5.000 anni B.P., o immediatamente dopo. Analoghi intervalli palustri e/o lagunari sono segnalati anche nel F. 223 e datati a circa 5.000 anni B.P. (BONDESAN *et alii*, 1995).

La parte sovrastante il secondo livello torboso è legata alla regressione marina in seguito alla stabilizzazione del livello del mare alle attuali quote o anche al mutamento delle condizioni climatiche verso climi più piovosi e più freddi (il sub-boreale e il sub-atlantico), condizioni che si sono protratte, sia pure con oscillazioni, sino ai giorni nostri. Questi fenomeni hanno comportato una migrazione verso mare della sedimentazione, testimoniata nelle aree costiere dalla costruzione del delta del fiume Po. L'età dell'inizio di questi episodi è compatibile con quella attribuita ai depositi palustri sottostanti la piana alluvionale ravennate (superiore ai 2.230 anni B.P., Foglio 223).

La potenza massima del subsintema supera i 20 m. Lo spessore aumenta, oltre che allontanandosi dalla catena, anche lateralmente agli assi vallivi principali: ad esempio mentre nei dintorni di Magreta, a sud del Foglio, si registrano spessori di 3-5 metri di limi, spostandosi verso est, essi superano i 10 metri. Infatti il subsintema aggrada su una topografia più articolata dell'attuale, legata alla precedente fase deposizionale prevalentemente ghiaiosa e a morfologia convessa dell'unità di Vignola.

L'età è pleistocenica superiore-olocenica. Le datazioni con il metodo  $^{14}\text{C}$  della base dell'unità oscillano tra 15.000 e 9.000 anni circa BP.

*Unità di Modena (AES<sub>8a</sub>).* L'unità di Modena è caratterizzata dalla presenza a tetto di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo di alterazione inferiore a 100 cm, non decarbonatato, articolato negli orizzonti A, Bw, C, e A, C (entisuolo e inceptisuolo), con colore *Munsell* di alterazione dell'orizzonte BC nella pagina 2,5Y (grigio-giallastro). Ad essa appartengono i sedimenti depositi dopo l'età romana (post V secolo d.C.). Affiora assai estesamente per oltre il 50 % del Foglio, ricoprendo ampi tratti della centuriazione romana (PASQUINUCCI, 1983), lasciando affiorare il Subsintema di Ravenna in un tratto di pianura a SO di Modena e in una fascia continua che da Scandiano va a S. Martino in Rio, a Soliera e a Carpi (fig. 16).

La base dell'unità è stata definita sulla base dei dati archeologici e dei dati pedologici. Infatti nei profili eseguiti dall'Ufficio pedologico della Regione Emilia-Romagna è ben riconoscibile la sovrapposizione dei sedimenti dell'unità

di Modena al di sopra del suolo evoluto che caratterizza il tetto del Subsistema di Ravenna.

L'unità di Modena è stata ulteriormente suddivisa in base alla granulometria dei depositi affioranti e all'ambiente deposizionale; le ghiaie sono confinate alle aree circostanti il fiume Secchia e ad una limitata area posta nei pressi di Scandiano legata al T. Tresinaro, le sabbie sono poco diffuse mentre i limi e le argille costituiscono la litologia prevalente. Sono stati poi distinti alcuni elementi morfologici quali paleoalvei e argini artificiali, utili alla ricostruzione dell'evoluzione idrografica dell'area.

In corrispondenza della città di Modena sono particolarmente numerosi i dati relativi al sottosuolo, litologici e archeologici, che hanno consentito di ricostruire in dettaglio il sottosuolo della città e le vicende alluvionali che hanno sepolto la città romana di Mutina (CREMASCHI & GASPERI, 1989). Nel sottosuolo della città al

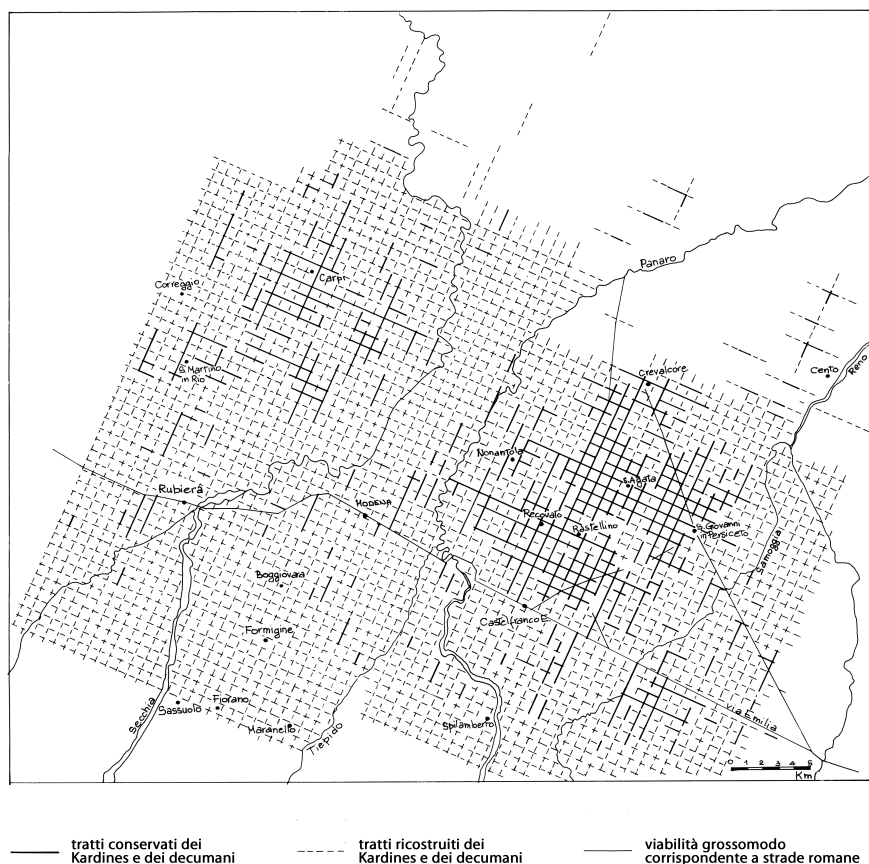


Fig. 16 - Le centuriazioni del territorio modenese (da Pasquinucci, 1984).

di sopra delle ghiaie dell'unità di Vignola abbiamo il Subsistema di Ravenna che qui appare a costituzione relativamente omogenea, essendo formato da argille con la sporadica presenza di piccoli corpi lenticolari limo-sabbiosi. A profondità comprese tra i 5 m e gli 8 m dal piano campagna è presente l'unità di Modena: la litologia è ancora prevalentemente argillosa, frequenti vi si intercalano lenti estese anche oltre la diecina di metri, limose e sabbiose, evidentemente legate a corsi d'acqua, che si ripetono spesso sulla stessa verticale. Frequenti sono pure le lenti torbose che nella periferia sud della città appaiono costituire, alla profondità di 2 m, un corpo spesso circa 3 m ed esteso oltre il centinaio di metri. Nel sottosuolo della città sono caratteristici della unità modesti valori di consistenza ( $R_p < 5 \text{ kg/cm}^2$ ) di solito molto inferiori da quelli che caratterizzano il sottostante Subsistema di Ravenna. La base dell'unità di Modena è irregolare e sembra colmare precedenti solchi di canali e torrenti. I fenomeni alluvionali che seppellirono Mutina sembrano legati prevalentemente a un torrente, il Torrente Fossa di Spezzano, deviato in Secchia tra il XV e il XVI secolo a monte della città poiché con le sue piene inondava frequentemente la periferia della città, che precedentemente proseguiva a valle della deviazione secondo l'attuale Rio Corlo.

I depositi dell'unità di Modena furono già cartografati per l'area modenese da GASPERI *et alii* (1989) e attribuiti da CREMASCHI & GASPERI (1989) alla crisi climatica altomedievale (MAYR, 1964; ACCORSI *et alii*, 1982; VEGGIANI, 1994; CAPORUSSO & CREMASCHI, 1988; BERGONZINI *et alii*, 1989).

L'unità di Modena affiora estesamente anche nel settore reggiano del Foglio; alcune datazioni radiometriche, su tronchi rinvenuti in posizione fisiologica ad ovest di Rubiera testimoniano la presenza di un deposito di circa 4 metri di spessore che seppellisce una foresta di querce tra il 420 e il 670 d.C. (ALESSIO *et alii*, 1980).

Lo spessore può raggiungere gli 8 m circa, profondità alla quale si rinviene il piano archeologico romano in alcune aree della città di Modena.

L'età è post V sec. d.C.-Attuale.

### 3. - DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI ( $b_1$ )

Vi sono compresi i depositi fluviali più recenti delle aree in evoluzione, delle aree esondabili in condizione di piena ordinaria e i depositi terrazzati per abbassamento d'alveo avvenuto a partire dagli anni '50 ( $b_{1a}$ ).

Sono formati da blocchi, ghiaie e sabbie di barre fluviali, ricoperti da spessori variabili di limi sabbiosi argillosi dovuti a processi di tracimazione.

I depositi recenti del F. Secchia si presentano terrazzati in seguito all'abbassamento degli alvei iniziatisi a partire dal 1954 (VEGGIANI, 1963; PELLEGRINI & ROSSI, 1967; PELLEGRINI *et alii*, 1979), infatti i corsi d'acqua appenninici sono passati da una fase di equilibrio o di alluvionamento ad una di intensa fase erosiva (PELLEGRINI, 1982) che ha portato i fiumi a incidere i propri depositi di conoide e vallivi con approfondimenti di oltre la diecina di metri.

L'approfondimento del F. Secchia è ben rilevabile nel tratto a monte dell'autostrada A1: all'ampio alveo a canali intrecciati si è sostituito a partire dagli anni '50 uno stretto canale che terrazza i depositi con scarpate di una diecina di metri. Più a valle il fiume scorre entro argini costruiti già a partire dal XVI secolo ed è mal valutabile un suo recente approfondimento.

## V - DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA DEI DEPOSITI ALLUVIONALI AFFIORANTI

Una carta della distribuzione granulometrica dei depositi alluvionali affioranti (la litologia superficiale) venne costruita per la prima volta, come sopra ricordato, proprio per un ampio tratto della pianura modenese (circa 900 km<sup>2</sup>) attraverso determinazioni speditive fatte direttamente in campagna (FAZZINI *et alii*, 1976). L'attuale cartografia utilizza numerosi dati di diversa provenienza; essi non sono sempre omogenei e anche la loro distribuzione areale è irregolare. I dati pedologici, ad esempio, ricavati dallo studio di profili messi in luce con escavatore o con trivelle, corredati spesso da analisi granulometriche effettuate in laboratorio, hanno permesso raffinate distinzioni in base al contenuto di argilla, limo, sabbia fine, sabbia e ghiaia; i sondaggi con carotaggio continuo effettuati appositamente per la costruzione della carta geologica hanno permesso una stima accurata della litologia. Lo studio dei diagrammi penetrometrici e, ancor più, delle stratigrafie dei pozzi per acqua della banca dati hanno consentito, invece, solo valutazioni spesso grossolane della litologia. Il risultato finale, frutto dell'utilizzo di dati di qualità molto variabile, ha permesso tuttavia di ricostruire la distribuzione areale delle litofacies e di attribuire ad esse un significato ambientale.

Sono state distinte e cartografate le seguenti classi granulometriche:

*Ghiaie prevalenti di riempimento di canale fluviale:* sono state considerate affioranti le ghiaie comprese tra il piano campagna e 1 m di profondità. Si tratta di ghiaie prevalenti con diametro massimo inferiore ai 20 cm, in matrice sabbiosa e sabbioso/limosa, in corpi lentiformi e spessore variabile tra i 3 e i 10 metri. Si tratta generalmente di depositi di canale; la parte fine posta al tetto è stata interpretata come deposito di abbandono di canale.

*Sabbie prevalenti di canale argine e rotta fluviale:* nonostante queste litologie siano comuni a più sottoambienti, le sabbie sono poco diffuse in questo tratto di pianura a causa, probabilmente, della litologia prevalentemente argillosa del substrato dei bacini di provenienza dei materiali. Sono prevalentemente sabbie fini e medie con contenuto in sabbia maggiore del 30 %; sono spesso alternate a limi sabbiosi. Lo spessore dei depositi sabbiosi non supera generalmente i 3-4 metri, la geometria è nastriforme con larghezza di poche decine di metri se legate ai torrenti minori e di qualche centinaio di metri per i fiumi principali. Nel sottosuolo sono stati rilevate grazie ai diagrammi penetrometrici sabbie di argine o di canale; la loro cartografia però risulta impossibile a causa del numero limitato dei dati e della geometria nastriforme del deposito.

Sono depositi legati a canali fluviali e di argine prossimale e distale

*Limi sabbiosi di canale, argine e rotta fluviale:* limi sabbiosi con contenuto in sabbia compreso tra il 20% e il 30 % in strati sottili malvisibili; sono depositi legati ad argini fluviali e a rotte fluviali.

*Depositi di tracimazione fluviale indifferenziata:* nella pianura la litologia limosa è predominante e caratteristica di più sottoambienti non sempre distinguibili solo su base morfologica. Sono comunque diffuse frazioni sabbiose con contenuto < 20% e frazioni argillose con contenuto < 35%. Il processo predominante è quello di tracimazione e di rotta fluviale. Nel sottosuolo non è stato possibile, sulla base della sola granulometria, attribuire depositi simili ad alcun sottoambiente.

*Depositi di piana inondabile:* costituiscono i depositi di tracimazione fine e di decantazione caratteristici delle aree più depresse, lontane dai corsi d'acqua principali, ove si ha la presenza quasi continua di acqua in superficie. Il contenuto in argilla è > 35%. Lo spessore è modesto non superando i 2-3 metri in superficie, mentre nel sottosuolo può superare i 5 metri.

Nel suo complesso il Subsintema di Ravenna è a composizione fine, limo-argillosa, espressione di ambienti fluviali di argine distale e di bacino interfluviale, mentre depositi sabbiosi e ghiaiosi, espressione di depositi legati a canali e ad argini prossimali, si rinvencono solo nell'alta pianura in prossimità delle aste fluviali. Sono presenti per lo più depositi di decantazione di piana inondabile, che caratterizzano estesamente la area della bassa pianura poste immediatamente a nord del Foglio. L'ambiente deposizionale prevalente è di piana alluvionale, mentre l'ambiente di conoide non è qui espresso con evidenza: nei depositi relativi ai fiumi Secchia e Panaro, infatti, è appena delineata la forma convessa e non si ha la distribuzione estesa e pressochè uniforme delle ghiaie che caratterizza le unità più antiche.

## VI - EVOLUZIONE TARDO OLOCENICA DELLA RETE IDROGRAFICA

La rete idrografica del territorio della pianura modenese e reggiana deriva dall'interazione tra la sua naturale evoluzione e gli interventi eseguiti dall'uomo nel corso dei secoli. Le tracce più antiche dell'intervento umano sul drenaggio superficiale sono rappresentate da estesi lembi di pianura di età pre-romana (il Subsintema di Ravenna) in cui sono ancora presenti le opere di bonifica relative alla centuriazione romana: nel carpigiano, a Soliera, a NO di Arceto e, meno estese, a San Martino in Rio (fig. 16, PASQUINUCCI, 1984). Parte delle aree bonificate dalle opere della centuriazione romana sono sepolte dai depositi alluvionali dell'unità di Modena sviluppatasi in seguito alla crisi climatica dell'Alto Medioevo. Queste aree sono state successivamente bonificate a partire dal Medio Evo con la costruzione di una nuova rete di canali, alcuni navigabili, data l'estrema importanza che le vie d'acqua ricoprivano nei secoli passati (PELLEGRINI, 1990). Altre modifiche antropiche riguardano la rettifica di alcuni tratti meandri-formi dei fiumi Secchia e Panaro, le più recenti delle quali, che hanno interessato il F. Panaro a est di Fossalta, risalgono al 1972.

La ricostruzione dell'evoluzione dell'idrografia necessita di dati geomorfologici con l'analisi delle forme del rilievo, delle foto aeree e della cartografia, del rilevamento di campagna con la caratterizzazione della litologia superficiale e il riconoscimento delle facies sedimentarie, oltre a dati archeologici e storici. Una prima ricostruzione dell'idrografia della pianura modenese ricavata da dati geomorfologici e litologici si deve a FAZZINI *et alii* (1976).

Nel Foglio 201 i depositi alluvionali derivano da tre corsi d'acqua principali: Crostolo, Secchia e Panaro ai quali vanno aggiunti alcuni affluenti minori; il corso attuale del T. Crostolo scorre ad ovest al di fuori dell'area del Foglio, ma i suoi depositi occupano, ben riconoscibili, il quadrante NO.

Nella carta geologica sono stati cartografati alcuni paleoalvei individuati sulla

base di evidenze morfologiche, cioè dalle caratteristiche forme rilevate, i dossi, e dalla tessitura dei sedimenti caratterizzata da maggior frequenza di sedimenti limoso-sabbiosi, sabbiosi e limosi, attribuibili a depositi di argine e di canale.

### *Torrente Crostolo*

Sono stati così individuati paleoalvei tra S. Maurizio, la Bassa e Bagnolo in Piano e tra Villa Gavassa, Budrio e Correggio, separati, tra Campo dei Gelsi e S. Michele della Fossa e tra le valli di Gazzata-Prato e Fondo Robaglia, da aree a prevalente sedimentazione argillosa di bacino interfluviale. Già RIO (1931) aveva ipotizzato un paleocorso del Crostolo, il *Crustulus magnus*, in posizione più orientale rispetto al corso attuale, unito all'attuale T. Rodano e, secondo CREMONINI (1981), unito anche al T. Tresinaro in prossimità di San Maurizio, attivo dall'età romana forse sino al secolo XII. Altri percorsi riconoscibili sono quelli di Budrio-Fosdondo-Canolo, Fosdondo-S. Michele della Fossa-Budrio-ovest Correggio e Correggio-S. Martino. Nella zona di Correggio, l'estensione dei limi sabbiosi e la ramificazione dei paleoalvei, suggeriscono che i corsi del Crostolo e in parte del Tresinaro divagassero nella zona prima di perdersi nelle aree paludose che si estendevano ampiamente a nord del Foglio. L'età dei vari paleoalvei è ancora incerta: CREMONINI (1981) ritiene più antico, di età romana, il percorso Gavassa-Budrio-San Martino e più recente, originato in seguito a una successiva rotta sviluppata in sinistra, il percorso Budrio-Fosdondo-Canolo, che prosegue poi a nord del Foglio per Fabbri-co-Rolo-Novì. I depositi di quest'area sono stati attribuiti all'unità di Modena sulla base del grado di evoluzione dei suoli presenti.

### *Torrente Tresinaro*

Il corso attuale del Tresinaro si è sviluppato in seguito alla deviazione artificiale effettuata nel secolo XII probabilmente allo scopo di bonificare le zone di Fondo Robaglia, ove l'acclività e la litologia superficiale prevalentemente argillosa hanno dato luogo ad aree a deflusso difficoltoso. A valle di Scandiano il torrente fu portato a scorrere verso est nell'alveo del rio Riazzone e a sfociare quindi nel F. Secchia immediatamente a sud di Rubiera. Allo stesso periodo risale la bonifica dell'area paludosa compresa tra Arceto e Salvaterra (CREMASCHI *et alii*, 1980).

Il vecchio percorso del torrente è ancora ben ricostruibile: infatti al limite SO del Foglio esso corrisponde a una profonda incisione che, poco a nord di Scandiano, si allontana dal corso attuale a direzione nord e prosegue sino alla località Tresinara (a NO di Piazza di Sabbione), a valle della quale sin nei pressi della via Emilia viene a coincidere con un dosso ben sviluppato, per poi proseguire in corrispondenza dell'attuale Cavo Tresinaro fino a nord di Gazzata. Qui, probabilmente deviava verso ovest e confluire in un paleoalveo del Crostolo, aggirando in tal modo il territorio di San Martino in Rio ove affiora, invece, il Subintema di Ravenna con resti della centuriazione di romana.

Gli estesi depositi limosi posti tra Piazza Sabbione a sud e S. Maurizio-Castellazzo a nord a forma convessa potrebbero essere legati a un conoide del



T. Tresinaro sviluppatosi al piede del conoide pre-romano con apice presso Scandiano, molto più ampio e a morfologia più accentuata.

Una vasta zona ad andamento grosso modo SN, posta tra Arceto, Cacciola, Bagno, San Donnino di Liguria, Santi Faustino e Giovita sino a S. Martino in Rio in cui vi affiora il Subsintema di Ravenna e in cui sono individuabili paleoalvei attribuibili al Tresinaro, viene a separare i depositi post-romani attribuibili con sicurezza al T. Tresinaro da quelli posti a est di pertinenza del fiume Secchia.

I depositi post-romani di circa 4 metri di spessore segnalati da ALESSIO *et alii* (1980) a ovest di Rubiera sono attribuibili probabilmente al Rio Riazzone.

### *Fiume Secchia*

A sud della via Emilia sono accertate su base litologica alcune divagazioni del F. Secchia di età pre-romana, abbastanza estese lateralmente e tali da dar luogo ad un deposito ghiaioso nastriforme di larghezza superiore al km (GASPERI *et alii*, 1989). All'altezza della via Emilia il corso del Secchia è rimasto pressochè immutato a partire dall'epoca romana in poi, come testimonia il ritrovamento di un ponte in prossimità dell'alveo attuale avvenuto nel 1607 (GASPERI *et alii*, 1989). Nel territorio compreso tra S. Martino in Rio, Carpi e Soliera vi affiorano i terreni con caratteri pedologici piuttosto evoluti del Subsintema di Ravenna e sono presenti inoltre tratti della centuriazione romana e stazioni archeologiche a partire dall'Età del Ferro (CREMASCHI *et alii*, 1980) testimoni della stabilità dell'area fino all'attuale. In questa vasta area è stata accertata la presenza di alcuni paleoalvei del F. Secchia, già segnalati da FAZZINI *et alii* (1976), evidenziati dalla litologia superficiale limoso-sabbiosa (a S. Faustino e Giovita-S. Martino in Rio-SE di Correggio, a Il Cantone-est di Carpi, a Ganaceto-Soliera) separati tra loro da aree a sedimentazione argillosa. Non è possibile stabilire con certezza l'età relativa dei paleoalvei, anche se i caratteri pedologici testimoniano una evoluzione maggiore per quelli posti nei dintorni di Carpi.

Il F. Secchia nel tratto compreso tra Rubiera e l'Autostrada A1 scorre entro un'ampia depressione (lunga circa 5 km e larga al massimo 3 km), separata dal resto della pianura da ripide scarpate alte a monte sino ad oltre 4 metri. Questa zona terrazzata si colloca al piede dei depositi della conoide più recente, al passaggio tra corso tipo *braided* a monte e quello meandriforme a valle. Un'analogia struttura collocata nelle stesse condizioni geologiche interessa anche l'adiacente fiume Panaro (F. 220).

L'origine di questi terrazzamenti, distanti dallo sbocco in pianura dei fiumi, è problematico: potrebbe essere legato a un fattore strutturale, cioè una relativamente minore subsidenza dell'area in oggetto rispetto a quelle poste a valle, o a una incisione dei sedimenti precedentemente deposti in corrispondenza della fase di forte alluvionamento legata alla crisi climatica dell'Alto Medioevo, come già ipotizzato anche da PALTRINIERI & PELLEGRINI (1990).

A nord della via Emilia i depositi superficiali, sabbie e limi sabbiosi (attribuibili per caratteri pedologici a episodi alluvionali post-romani), suggeriscono la presenza di un antico corso d'acqua che da Fontana giungeva sino a Villanova;

dalla micromorfologia è ricostruibile l'andamento sinuoso del paleoalveo.

Non vi sono indizi di un corso del Secchia ad est dell'attuale, né in superficie, né in profondità (si confronti a tal proposito la sezione A-A').

#### *I torrenti compresi tra Secchia e Panaro*

Nell'area tra Secchia e Panaro, il reticolo idrografico è stato fortemente modificato dalle opere antropiche allo scopo di regolarizzare le acque dei torrenti diretti verso Modena. Come è noto e storicamente documentato, la *Mutina* romana subì un processo di alluvionamento in epoca altomedievale (tra il VI e il VII secolo d.C.; CREMASCHI & GASPERI, 1989) ad opera di torrenti appenninici, identificabili con l'attuale Fossa di Spezzano-T. Cerca (indicato anche come Torrente Formigine), con il Grizzaga, allora suo affluente, e con rii minori come lo scolo Archirola. Il T. Fossa di Spezzano-T. Cerca passava per Modena e proseguiva verso nord secondo l'attuale Canale Naviglio. Il Naviglio, che collegava Modena con il Po partendo quasi dal centro della città, fu costruito forse in età medioevale utilizzando il corso d'acqua naturale formato dalla confluenza presso Modena del T. Fossa di Spezzano-T. Cerca (o T. Formigine) con altri torrenti quali il Grizzaga e il Tiepido. Per evitare le alluvioni che colpivano ripetutamente la città, il T. Formigine fu deviato tra il XV e il XVI secolo nel F. Secchia (TIRABOSCHI, 1824) e il torrente Tiepido, che confluiva anch'esso nel Formigine, fu deviato a nord di San Damaso a confluire nel F. Panaro (RICCI, 1806). Le acque necessarie al Naviglio per la navigazione e per gli opifici furono derivate dal fiume Secchia a nord di San Michele dei Mucchietti (Foglio 219) con il canale di Modena o di Baggiovara e dal fiume Panaro presso Marano con il canale di S. Pietro (Foglio 220) (GASPERI *et alii*, 1989; CREMASCHI & GASPERI, 1989).

I depositi alluvionali alto medievali che ricoprono la maggiore parte del territorio prossimo alla città di Modena sono prevalentemente argillosi data la presenza pressochè esclusiva di tale materiale nelle aree di provenienza dei torrenti appenninici (per la maggior parte le argille plio-quadernarie). Le caratteristiche pedologiche testimoniano un basso grado evolutivo (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & PROVINCIA DI MODENA, 1993) e lo spessore dei sedimenti, ben documentabile per i diffusi ritrovamenti archeologici, oscilla tra 1 metro (a monte della città) e oltre 6 metri (CREMASCHI & GASPERI, 1989, FAZZINI & GASPERI, 1996).

Tracce morfologiche di paleoalvei con litologie limose e raramente sabbiuose si hanno in corrispondenza delle direttrici Baggiovara-Cogentio-Freto e Modena-Albareto-Bastiglia, mentre piccoli ventagli di rotta sono attribuibili ai torrenti minori (scolo Archirola) (GASPERI *et alii*, 1989).

Secondo i dati di superficie e di sottosuolo il Fiume Panaro non dovrebbe essersi mai spinto più ad ovest del suo corso attuale (FAZZINI *et alii*, 1976; GASPERI *et alii*, 1989).

## VII - LA DISTRIBUZIONE DELLE GHIAIE NEL SOTTOSUOLO

Per la costruzione della Carta del tetto delle ghiaie e delle sabbie quaternarie continentali alla scala 1:50.000, riportata in allegato, sono stati utilizzati 633 sondaggi geognostici (carotaggi continui e pozzi per acqua) e 929 prove penetrometriche. Tali dati costituiscono solo una parte del totale dei dati disponibili, poichè non tutti i dati raccolti sono stati giudicati attendibili e solo una parte raggiunge profondità significative per l'obbiettivo proposto. Essendo dati puntiformi si è proceduto a una estensione del loro significato mediante interpolazione lineare.

La carta, riferita al livello del mare, indica la profondità in cui si ha la *probabilità* maggiore (in termini non quantitativi) di intercettare le ghiaie di una data unità stratigrafica. L'attendibilità della carta è strettamente legata alla densità dei dati oltre che alla geometria delle ghiaie stesse; di conseguenza un tale elaborato è soggetto a continue correzioni derivanti dall'acquisizione di nuovi dati.

E' stato indicato anche il tetto delle sabbie se queste avevano una continuità e un significato attribuibile a depositi canalizzati o di argine prossimale: nei diagrammi penetrometrici esse presentano valori di resistenza alla punta  $> 10$  MPa.

Il tetto delle ghiaie rappresentato nella carta alla scala 1: 50.000 è relativo solo alle ghiaie relative ai Subsintemi di Ravenna e Villa Verucchio.

Nella Carta del tetto delle ghiaie sono indicati:

- la appartenenza stratigrafica e la quota del tetto delle ghiaie (o sabbie) con isobate riferite al livello del mare.
- i depositi ghiaiosi affioranti e quelli sepolti.
- le aree di amalgamazione tra le ghaie appartenenti ad unità diverse.

L'unità più nota e ricostruita in sottosuolo in modo completo è l'unità di Vignola, le ghiaie, infatti, vengono intercettate da 464 prove penetrometriche e da 355 sondaggi geognostici, mentre le sabbie che si sviluppano sottocorrente sono state incontrate da 115 prove e da 54 sondaggi geognostici; 136 sondaggi permettono di identificare le aree senza ghiaie e 184 penetrometrie l'assenza di ghiaie

relativamente al lobo più superficiale dell'unità. Tale ricchezza di informazioni, particolarmente nei quadranti meridionali ove essa è più continua, è dovuta al fatto che l'unità di Vignola è l'unità ghiaiosa più superficiale a geometria tabulare e ad ampia diffusione nel sottosuolo. L'unità sovrastante, Subsintema di Ravenna, presenta estensione delle ghiaie limitata alle aree prossime ai corsi fluviali attuali con geometria complessivamente nastriforme. Le ghiaie o sabbie relative sono state intercettate da 129 sondaggi e da 154 prove penetrometriche, di cui 42 sondaggi e 45 prove penetrometriche sono attribuibili all'unità di Modena.

La differente distribuzione areale delle ghiaie tra il Subsintema di Ravenna e l'unità di Vignola appare evidentemente legata al diverso regime idraulico dei corsi d'acqua che si è avuto durante le fasi glaciali, espresse nell'unità di Vignola, e durante le fasi interglaciali e temperate, che caratterizzano invece la deposizione del Subsintema di Ravenna. Durante la deposizione dell'unità di Vignola il fiume Secchia ha costruito una vera e propria conoide, sia pure con concavità e con pendenze non confrontabili con le grandi conoidi alpine. Nelle aree più distali è stato possibile ricostruire la distribuzione nel sottosuolo delle interdigitazioni tra ghiaie e litologie più fini. Nella carta del tetto delle ghiaie sono stati quindi distinti due intervalli ghiaiosi sovrapposti appartenenti entrambi alla unità di Vignola (AES<sub>7b</sub> Sup. e AES<sub>7b</sub> Inf.). Anche il torrente Crostolo e il torrente Tresinaro depositano le ghiaie ben oltre il limite di deposizione attuale e con distribuzione non tabulare, a ventaglio, delle ghiaie stesse. La distribuzione delle sabbie si è sviluppata nelle aree sottocorrente rispetto alle ghiaie con estese fasce nastriformi deposte sia dal F. Secchia sia dal T. Crostolo. Le aree prive di ghiaie sono limitate ai quadranti nord del Foglio e lateralmente ai fiumi e torrenti principali.

L'asse della conoide relativa all'unità di Vignola, che passa immediatamente a ovest di Modena, mostra un evidente scostamento dall'attuale corso del F. Secchia. Gli apparati ghiaiosi e sabbiosi appartenenti alle varie unità dei torrenti Crostolo e Tresinaro e quelli del F. Secchia sono sempre separati anche in profondità da depositi argillosi che vengono a costituire una barriera impermeabile tra di essi; all'estremo lato est del quadrante SO i depositi del Secchia e quelli del F. Panaro, presenti estesamente nei Fogli 202 e 220, invece si interdigitano.

Le unità sottostanti e la stessa base delle ghiaie della unità di Vignola sono più difficilmente riconoscibili, soprattutto a causa della diminuzione, con la profondità, del numero di dati utilizzabili: infatti la base delle ghiaie della unità di Vignola è identificata da 241 sondaggi, e attraversata, senza presenza di ghiaie, da altri 136. Le unità sottostanti sono state intercettate da un numero ancora minore di sondaggi.

La ricostruzione stratigrafica del sottosuolo permette di ricostruire abbastanza agevolmente la ciclicità nella distribuzione litologica: in particolare si nota la corrispondenza tra l'estensione delle ghiaie attribuite alla unità di Vignola e le ghiaie sottostanti attribuite al ciclo climatico precedente intercettate con 193 sondaggi: deposte ambedue in condizioni climatiche simili durante le fasi glaciali e agli inizi delle successive fasi interglaciali.

## **APPENDICE 1**

### **LA BANCA DATI GEOGNOSTICI**

#### **1. - IL PROGETTO BANCA DATI GEOGNOSTICI**

Il progetto di costruzione di una Banca Dati Geognostici sull'intero territorio regionale di pianura è nato con l'obiettivo prioritario di disporre di informazioni geologiche di sottosuolo ai fini della preparazione delle nuove Carte Geologiche di pianura in scala 1:50.000, che la Regione Emilia-Romagna sta realizzando su incarico del Servizio Geologico Nazionale (Progetto CARG).

Una grandissima mole di dati geologico-tecnici era già presente in numerosi e frammentari archivi di proprietà pubblica e privata, poiché raccolti a supporto di indagini conoscitive di varia natura, pertanto la prima fase di lavoro è consistita nell'avviare una grande raccolta dei dati già esistenti su tutto il territorio regionale di pianura, organizzando nel contempo una struttura di Banca Dati idonea all'archiviazione dei dati raccolti.

La raccolta dei dati già esistenti ed il loro caricamento negli archivi numerici sono stati effettuati da personale geologo incaricato direttamente dalla Regione Emilia-Romagna oppure dalle singole Province, alcune delle quali hanno partecipato attivamente al progetto tramite Convenzioni di collaborazione.

L'implementazione della Banca Dati è sempre in corso, poiché la Regione Emilia-Romagna esegue direttamente sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche in tutti i territori attualmente in studio per la realizzazione della Carta Geologica di pianura.

Anche queste prove sono inserite negli stessi archivi e gestite contestualmente.

La Banca Dati Geognostici copre l'intero territorio regionale di pianura per un totale di circa 45.000 prove disponibili alla data di luglio 2000.

## 2. - IL CONTENUTO INFORMATIVO

I dati archiviati nella Banca Dati sono distinti in:

- prove penetrometriche
  - statiche con punta meccanica
  - statiche con punta elettrica
  - statiche con piezocono
  - dinamiche leggere (non S.C.P.T.)
  - dinamiche pesanti (S.C.P.T.)
- dilatometrie
- sondaggi a distruzione e trivellate a secco
- sondaggi a carotaggio continuo
- pozzi per acqua
- pozzi per ricerca idrocarburi
- affioramenti significativi (pareti di cava, scavi per fondazioni, ecc.)
- sondaggi elettrici verticali
- indagini sismiche

Tutte le prove della Banca Dati, sia già esistenti che di nuova realizzazione, sono organizzate in diversi archivi legati tra loro tramite relazioni logiche.

In parallelo all'archivio numerico è organizzato un archivio cartaceo, costituito dalle Carte Tecniche Regionali con tutte le prove localizzate e dalle fotocopie dei documenti originali recuperati o disponibili per ciascuna prova (diagrafie per le prove penetrometriche, descrizione litologica per pozzi e sondaggi, prove di laboratorio eventualmente disponibili, stralcio della cartografia utilizzata per la localizzazione).

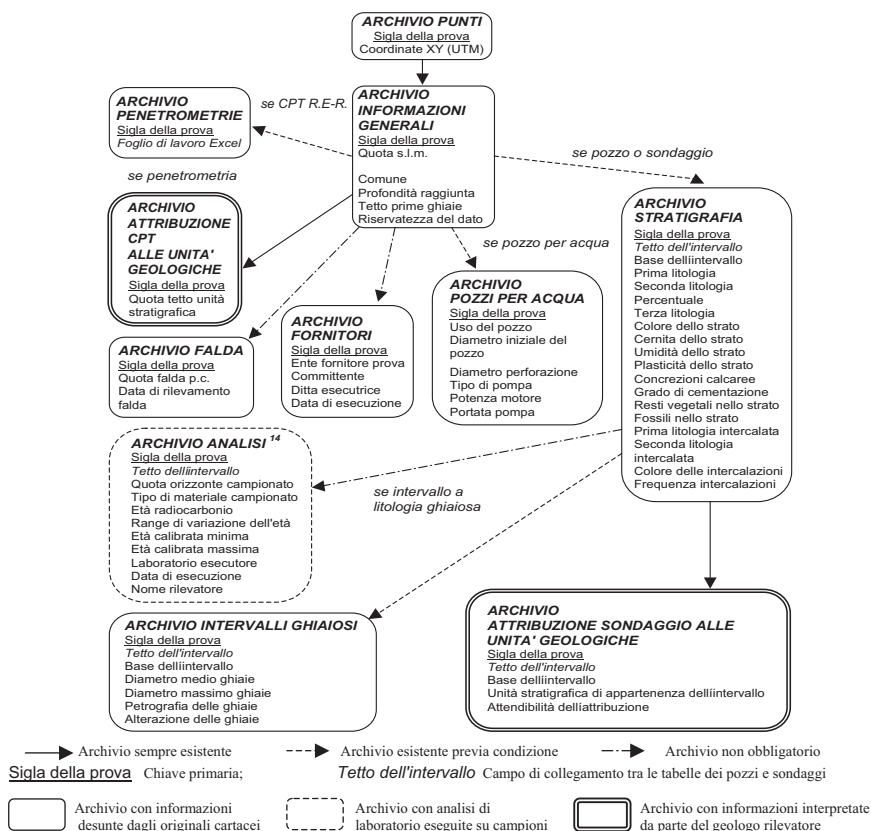
Come scelta generale, si è stabilito di inserire negli archivi il maggior numero possibile di indicazioni desumibili dal dato cartaceo, senza procedere ad interpretazioni in fase di caricamento.

Una volta raccolte e localizzate sulla Carta Tecnica Regionale, tutte le prove vengono digitalizzate con sistema di georeferenziazione in coordinate UTM fuso 32. Le topologie geometriche dei punti sono in formato *coverage* di Arc/Info, che costituisce il G.I.S. utilizzato per l'intero Sistema Informativo Territoriale della Regione Emilia-Romagna.

Ad ogni punto è poi logicamente connesso un insieme di tabelle di database relazionale (Access per Windows), in cui sono immagazzinate tutte le informazioni descrittive e geologiche della prova.

E' stato predisposto un glossario dei dati, secondo il quale vengono codificate nelle tabelle di database tutte le informazioni originali disponibili per ciascuna prova.

La Tab. 2 seguente illustra la struttura logica di tali tabelle.

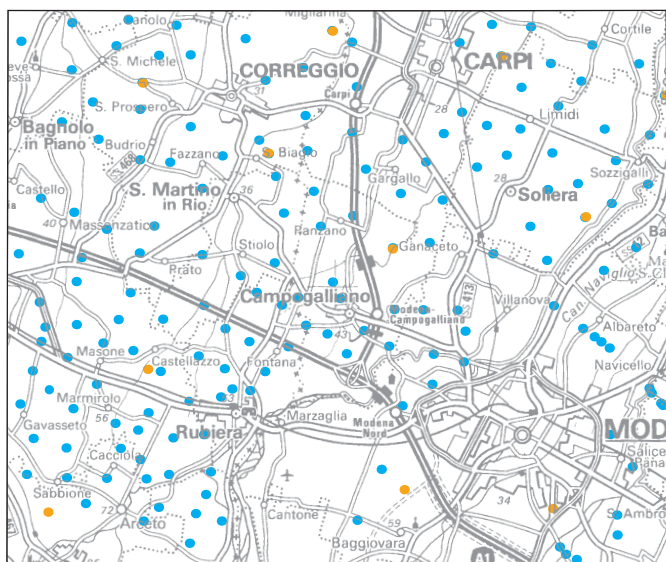


### 3. - LA BANCA DATI GEOGNOSTICI NEL FOGLIO 201

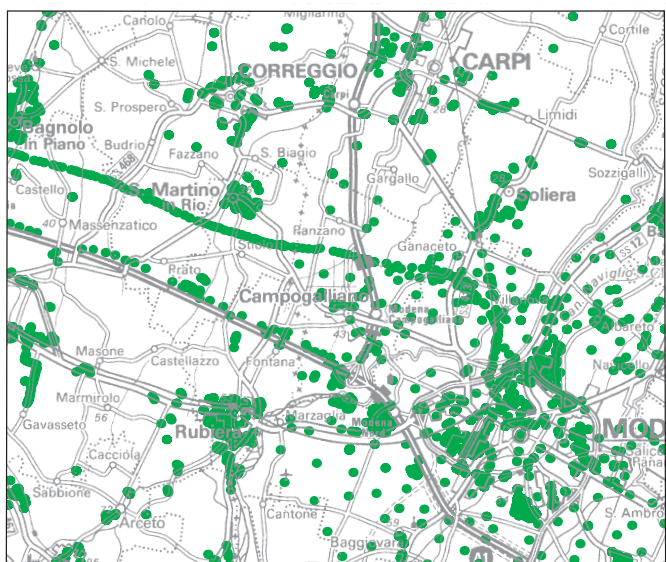
Nel Foglio Modena la Banca Dati Geognostici è stata realizzata negli anni 1994-1999 da personale geologo incaricato dalla Regione Emilia-Romagna o dalla Provincia di Modena, con cui la Regione Emilia-Romagna aveva stipulato una Convenzione di collaborazione.

In aggiunta alla raccolta dei dati già esistenti, l'Ufficio Geologico regionale ha realizzato direttamente sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche con punta elettrica o piezocono per raffittimento, approfondimento e taratura del modello geologico.

La fig. 17 illustra la distribuzione nel territorio delle prove geognostiche del Foglio Modena.

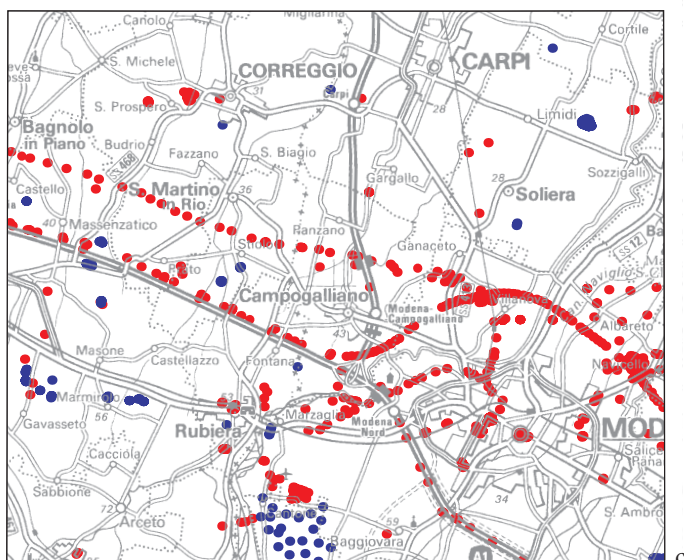


a

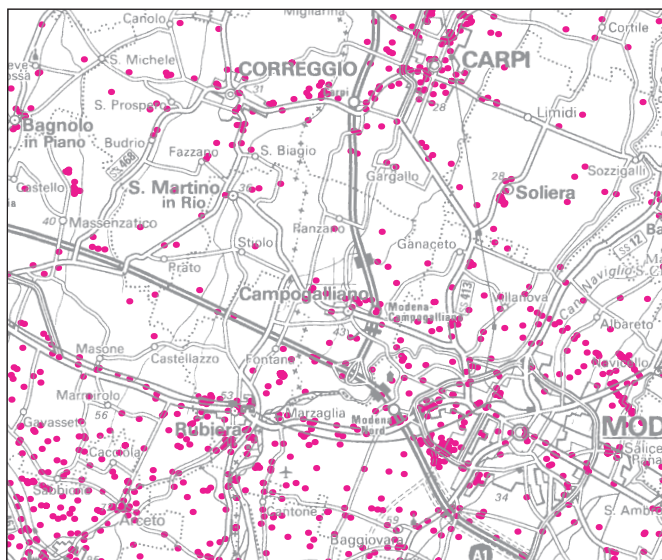


b





c



d

Fig. 17 - Distribuzione nel territorio del Foglio Modena della banca dati geognostici:

- a prove geognostiche realizzate dalla R.E-R – pallino blu: prove penetrometriche - pallino arancio: sondaggi a carotaggio continuo;
- b prove penetrometriche recuperate da altri archivi;
- c pallino rosso: sondaggi a carotaggio continuo - pallino blu: sondaggi a distruzione, trivellate a secco;
- d pozzi per acqua.

Relativamente agli Enti o Ditte fornitori delle prove, la tabella 3 illustra nel dettaglio la ripartizione.

TAB. 3 – *Enti fornitori delle prove geognostiche del Foglio Modena*

<i>Ente o Ditta fornitore di prove</i>	<i>Numero di prove fornite</i>
Amministrazioni Comunali (S.Cesario, Correggio, Rubiera, Scandiano, Campogalliano, S.Martino, Bagnolo, Reggio Emilia, Soliera, Carpi, Modena)	2264
Regione Emilia-Romagna: - Servizio Provinciale Difesa del Suolo - Assessorato Urbanistica - ARPA	976
Ferrovie dello Stato, Consorzio per l'Alta Velocità	350
Aziende Municipalizzate di Reggio Emilia e Modena	276
Ditte private e Studi professionali	210
Università di Modena	204
Amministrazione Provinciale di Modena	99
Altri	53
<b>Totale prove</b>	<b>4432</b>

In totale erano quindi disponibili per lo studio geologico del Foglio Modena 4.432 prove, così ripartite nella tabella 4:

TAB. 4 – *Tipo e quantità delle prove geognostiche disponibili nel Foglio Modena.*

<i>Tipo di dato</i>	<i>Numero di dati</i>	
	<i>Prove realizzate dalla R.E-R</i>	<i>Prove recuperate da altri archivi</i>
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica		2616
Prove penetrometriche statiche con punta elettrica	20	159
Prove penetrometriche statiche con piezocono	148	56
Prove penetrometriche dinamiche leggere (non S.C.P.T.)		109
Sondaggi a distruzione e trivellate a secco		126
Sondaggi a carotaggio continuo	11	265
Pozzi per acqua		906
Pozzi per ricerca idrocarburi		5
Sondaggi elettrici verticali		11
<b>Totali</b>	<b>179</b>	<b>4253</b>
		<b>4432</b>

Nella successiva tabella 5, i dati disponibili sono suddivisi per Comune di localizzazione e vengono fornite indicazioni sulla profondità raggiunta dalle prove.

TAB. 5 - Prove suddivise per Comune con indicazioni sulla profondità

Comune	Numero di dati presenti	Profondità (in m)		
		media	min	max
BAGNOLO IN PIANO	114	19.25	6.00	194.00
BASTIGLIA	42	20.42	3.00	150.00
BOMPORTO	1	35.02	35.02	35.02
CAMPOGALLIANO	176	33.82	1.40	218.00
CARPI	303	41.17	1.00	543.00
CASALGRANDE	42	68.79	2.00	500.00
CASTELFRANCO EMILIA	13	43.07	15.15	190.50
CORREGGIO	308	37.35	2.30	370.40
FORMIGINE	38	38.49	1.10	130.00
MODENA	2267	26.75	1.20	771.00
NONANTOLA	1	34.50	34.50	34.50
NOVELLARA	9	242.75	26.73	1000.00
REGGIO EMILIA	270	38.69	2.70	423.70
RUBIERA	324	22.83	1.60	305.00
S.CESARIO	4	60.50	38.00	124.00
S.MARTINO IN PIANO	18	14.50	10.00	19.00
S.MARTINO IN RIO	122	28.94	6.80	230.00
SAN PROSPERO	1	35.02	35.02	35.02
SCANDIANO	195	34.57	3.00	200.00
SOLIERA	173	26.90	2.40	180.00

Per quanto riguarda l'analisi dei log litologici disponibili nella Banca Dati, sono state prese in considerazione solo stratigrafie originali descritte in campo dai sondatori (e non, ad esempio, stratigrafie desunte dalle curve di resistenza delle prove penetrometriche). Erano nel complesso disponibili 1313 sondaggi o pozzi, di cui 1311 recuperati da altri archivi e 11 realizzati direttamente dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

I log litologici descrivono il sottosuolo secondo strati discreti; la profondità raggiunta ed il grado di accuratezza nella descrizione sono assai variabili e funzionali allo scopo per cui ciascuna prova viene realizzata. A titolo di esempio,

per sedimenti alluvionali a variabilità laterale relativamente elevata come quelli del Foglio Modena, un'indicazione sulla precisione nella descrizione litologica può essere fornita dal valore del “dettaglio”, ottenuto dal rapporto tra numero di strati descritti per ciascun log e la profondità totale del pozzo o sondaggio in metri (es: 5 strati descritti in 20 metri: dettaglio 0.25; 20 strati descritti in 20 metri: dettaglio 1).

Comparando tra loro il valore del dettaglio per grandi “famiglie” di dati, si ottiene la seguente tabella 6.

TAB. 6 - Valore del “dettaglio” per alcune famiglie di prove del Foglio Modena

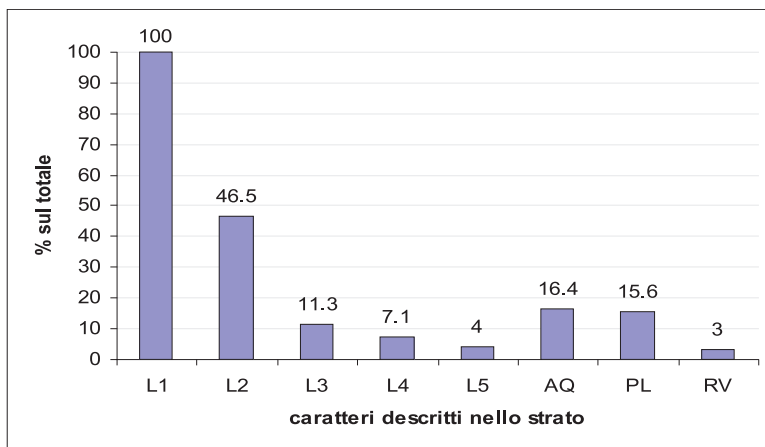
Tipo di prova	Valore del “dettaglio”
Sondaggi a carotaggio continuo realizzati dalla R.E-R	0.94
Sondaggi a carotaggio continuo	0.52
Pozzi per acqua	0.13
Pozzi per ricerca idrocarburi	0.05

Sommando tra loro tutti gli spessori descritti, risultano oltre 83 km di descrizioni litologiche disponibili nel sottosuolo del Foglio Modena, distribuite in 11.190 intervalli discreti complessivi. Lo spessore medio degli intervalli stratigrafici descritti è di 7,4 metri.

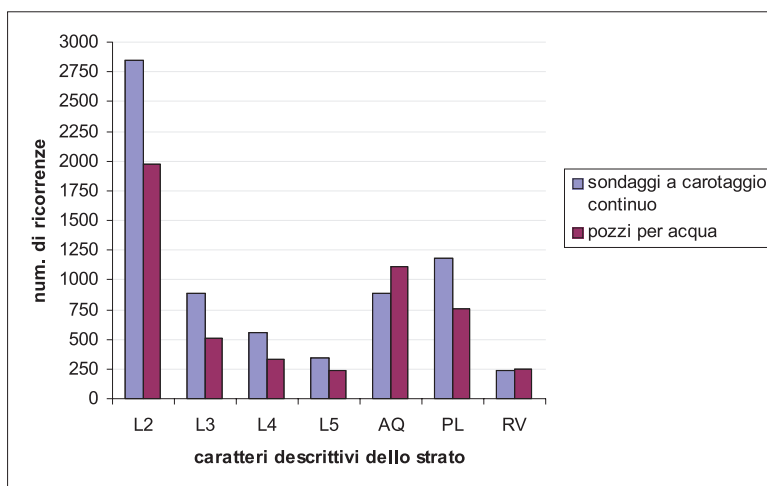
Analizzando statisticamente le ricorrenze di alcuni tra i principali caratteri descrittivi degli 11.190 intervalli stratigrafici presenti, la fig. 18a ne mostra sinteticamente le ricorrenze, mentre la fig. 18b pone a confronto le ricorrenze dei medesimi caratteri tra due grandi famiglie di prove geognostiche presenti in archivio: i sondaggi a carotaggio continuo ed i pozzi per acqua. Per le stesse due grandi famiglie di prove, la fig. 19 pone a confronto le ricorrenze nell'utilizzo dei termini “argilla”, “limo” e “sabbia”.

Si precisa che la litologia principale è sempre descritta (100% delle ricorrenze) poiché costituisce un campo obbligatorio del database; in genere la descrizione litologica è costituita dalla litologia principale e da una secondaria (ad es: argilla limosa). Solo nell'11% dei casi la litologia dello strato è descritta da tre tessiture (ad es: sabbia limoso argillosa). Ciò è stato interpretato come un grado di accuratezza complessivamente discreto nel riconoscimento in campagna delle caratteristiche granulometriche degli orizzonti.

In genere si è notato che le litologie intercalate vengono descritte molto più frequentemente nei carotaggi continui (ad es. nella fig. 18b si noti la frequenza circa doppia di L4 nei carotaggi rispetto ai pozzi per acqua), mentre, come è intuitivamente chiaro, l'umidità dello strato è un carattere descrittivo di maggiore interesse nei pozzi per acqua.



a



b

L1 - litologia principale; L2 - litologia secondaria; L3 - terza litologia; L4 - prima litologia intercalata; L5 - seconda litologia intercalata; AQ - umidità dello strato; PL - plasticità dello strato; RV - resti vegetali nello strato

Fig. 18 (a) – Ricorrenze in % di alcuni caratteri descrittivi degli intervalli stratigrafici – (b) – Comparazione tra le ricorrenze di alcuni caratteri descrittivi degli intervalli stratigrafici tra due grandi famiglie di prove geognostiche.

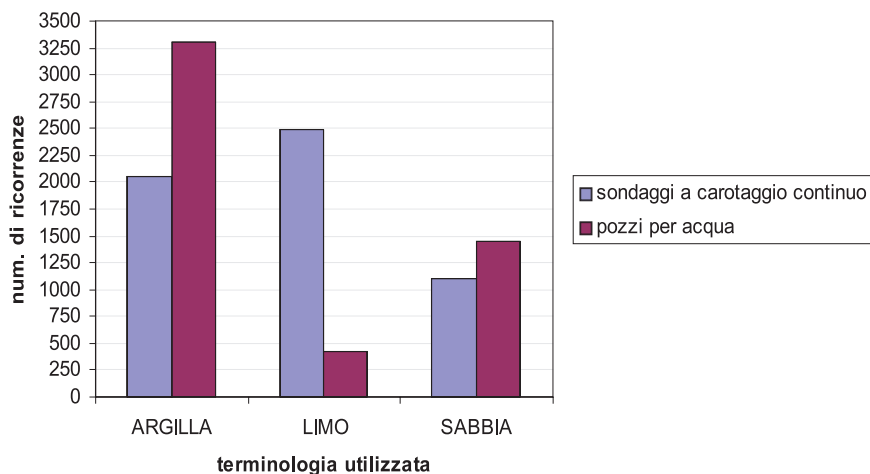


Fig. 19 - Comparazione tra le ricorrenze dei termini “argilla”, “limo” e “sabbia” descritti negli intervalli stratigrafici di due grandi famiglie di prove geognostiche.

A commento della Fig. 19, mentre la sabbia è in genere riconosciuta e descritta sia nei carotaggi che nei pozzi per acqua, la frazione fine (argilla e limo) è scarsamente descritta dai sondatori dei pozzi per acqua, cui interessano le litologie grossolane dei serbatoi acquiferi. Se ne è dedotto che non sono state operate distinzioni nella descrizione tra “limo argilloso” ed “argilla” e tra “limo sabbioso” e “sabbia”, e che quindi i termini argilla e limo utilizzati vanno considerati come generiche “categorie” granulometriche.

Ciò porta a ritenere, in linea di massima, che i pozzi per acqua lascino margini di incertezza anche piuttosto ampi nel riconoscimento e correlazione nel sottosuolo dei corpi a litologia più fine.

In merito poi all’attendibilità della Banca Dati Geognostici del Foglio Modena, una sua definizione a priori non è in genere possibile. Non necessariamente, infatti, uno scarso dettaglio descrittivo del log di sottosuolo comporta una bassa attendibilità di definizione stratigrafica. Solo il modello stratigrafico di sottosuolo ed uno studio geologico integrato possono consentire una reale ed affidabile opera di validazione della Banca Dati nel suo complesso.

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

E’ importante sottolineare che le prove di nuova realizzazione da parte della Regione Emilia-Romagna confermano il quadro geologico complessivo che si evince dallo studio dei dati recuperati da altri archivi.

## APPENDICE 2

### IL FENOMENO DELLA SUBSIDENZA NELLA CITTA' DI MODENA

(a cura di: A. Annovi, L. Marino, N. Paltrinieri e G. Barelli)

La pianura modenese, ubicata all'interno del bacino Padano, è da sempre assoggettata ad un lento movimento di abbassamento del suolo, stimato in qualche mm/anno, sia per azioni tettoniche quali l'affossamento del bacino sedimentario, che per motivi legati alla litologia ed alla stratigrafia dei sedimenti ivi depositati nei recenti periodi geologici, ed in progressiva compattazione a causa del loro stesso peso.

A questo fenomeno naturale tuttavia, nel periodo tra gli anni '60 e '70, si è andata a sovrapporre nell'area cittadina una componente di subsidenza «artificiale», fino a divenire causa dominante, imputabile principalmente al forte prelievo idrico dalle falde seguito all'industrializzazione dell'area urbana.

Il fenomeno di subsidenza nella città di Modena e nelle aree circostanti è da mettere in relazione anche alla particolare struttura geologica dei depositi alluvionali sotterranei, fino a circa 300 m dalla superficie, così come si evince anche dalla lettura del foglio 201 della Carta Geologica di Pianura della Regione Emilia-Romagna; la città è infatti collocata sulla parte terminale della conoide del fiume Secchia che, nel suo divagare nella pianura ha abbandonato sedimenti costituiti da successioni di materiali a litologia grossolana, ghiaie e sabbie generalmente poco compressibili, alternati a depositi a litologia fine, limi ed argille, soggetti a diversa compressibilità in funzione delle pressioni neutre dell'acqua in essi contenuta.

Il motivo per cui la subsidenza è risentita in particolare nell'area urbana è dovuto al pesante deficit idrogeologico causato dagli emungimenti idrici, con forti riduzioni dei livelli piezometrici della falda, che ha successivamente innescato un veloce processo di compattazione nel sottosuolo e di abbassamento alla superficie dell'ordine dei diversi cm/anno: la componente «artificiale» del fenomeno

della subsidenza.

I considerevoli effetti negativi riscontrati nella città già a partire dai primi anni '70, fra cui lesioni ad edifici storici (Accademia Militare) e forti perdite di prevalenza nella rete fognaria, hanno portato l'Amministrazione Comunale a prendere provvedimenti per evitare l'aggravarsi dei problemi causati dal cedimento del suolo.

Il piano degli interventi attuati a metà degli anni '80, può essere sintetizzato in alcuni punti significativi, come un'azione normativo-amministrativa con l'obiettivo di contenere quanto più possibile i prelievi ed i consumi di acqua delle falde (ordinanze sull'applicazione dei contatori nei pozzi, sui canoni di depurazione fognaria e sui ricicli delle acque di raffreddamento); è stata inoltre approntata un'indagine territoriale, al fine di investigare come le caratteristiche del sottosuolo avessero condizionato il fenomeno di subsidenza (mediante un regolare controllo delle quote piezometriche delle falde, uno studio dei parametri geotecnici che regolano il comportamento del sottosuolo in relazione alla subsidenza ed una definizione areale dell'entità dei movimenti verticali del suolo).

I provvedimenti hanno infine portato alla ricerca di fonti alternative all'uso delle acque sotterranee, di buona qualità, a scopo industriale (con derivazione di acque superficiali dalla traversa di Castellarano).

## 1. - METODOLOGIE DI CONTROLLO DEL FENOMENO SUBSIDENZA

L'Assessorato all'Ambiente del Comune di Modena, con la stesura del «Piano per la Tutela e l'Uso delle Risorse Idriche» del 1979, aveva già individuato i percorsi da seguire per lo studio e il controllo della subsidenza nella città di Modena.

Assodato che il deficit idrico fosse la principale causa del fenomeno, si è provveduto innanzi tutto ad una misurazione periodica della piezometria delle falde sotterranee istituendo un'apposita rete di pozzi campione.

In seguito, al fine di ottenere maggiori informazioni sulla reale entità e distribuzione territoriale degli abbassamenti del suolo, si è proceduto a disporre sull'area dell'alta pianura di Modena una rete di caposaldi per livellazioni topografiche di precisione, progettata dal Prof. P. Russo dell'Istituto di Topografia dell'Università di Bologna, costituita da circa 280 caposaldi, suddivisa in diverse linee appoggiate ad un caposaldo di accertata stabilità geologica presso Castellarano (RE).

All'interno del centro urbano, maggiormente vulnerabile agli effetti di abbassamento del suolo, i caposaldi presentano una densità doppia rispetto al resto del territorio; è inoltre stata istituita una microrete di livellazione di alta precisione nell'area di Piazza Grande, appoggiata ai principali monumenti cittadini (Duomo, Torre Ghirlandina, Palazzo Comunale).

Il programma di studi geotecnici è stato coordinato dal Prof. Cancelli, del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano, finalizzato alla conoscenza delle caratteristiche del sottosuolo urbano, con particolare dettaglio del Centro Storico, mediante indagini dirette sul terreno, analisi di laboratorio su



campioni prelevati a diverse profondità, installazione di strumentazione geotecnica di precisione (piezometri tipo Casagrande ed elettropneumatici, stazioni di assestimetri magnetici), e relativa misurazione periodica ed elaborazione cartografica dei risultati rapportata alla evoluzione della piezometria per un medesimo periodo di osservazione.

## 2. - IL PROGRAMMA REALIZZATO NEL PERIODO 1981-1993

Per quanto riguarda il controllo topografico dell'abbassamento del suolo, sono state eseguite diverse livellazioni topografiche di precisione: una prima, completa, nel 1981, contemporaneamente alla realizzazione della rete di caposaldi, seguita da una livellazione parziale nel 1982-1983; nel 1985 è stata ripetuta la livellazione sull'intera rete, e nel 1992 si è provveduto ad una misura parziale.

Confrontando le livellazioni del 1981-1985 con quelle storiche (IGM, CATASTO, AGIP, CARRA) è stato possibile inoltre elaborare una cartografia territoriale degli abbassamenti del suolo dal dopo guerra al periodo attuale.

E' stata poi istituita una microrete in Piazza Grande, livellata a partire dal 1984 con cadenza semestrale, che si proponeva di segnalare movimenti differenziati nello sprofondamento del suolo per l'area monumentale e fornire un controllo incrociato dei dati rilevati dalla strumentazione geotecnica ivi installata.

Per definire un modello geotecnico del sottosuolo modenese si è provveduto a raccogliere i dati relativi a profondità del tetto delle ghiaie, prove penetrometriche, analisi di laboratorio, etc., ricavati dalla bibliografia pubblicata o da studi inediti, per l'intero territorio al fine di poter valutare le risposdenze geotecniche connesse alla subsidenza.

La strumentazione geotecnica installata in Piazza Grande nel 1984 è stata misurata regolarmente, fino a disporre di un trend pluriennale indicativo del comportamento del sottosuolo urbano; nel 1987 altre stazioni di assestimetri magnetici all'immediata periferia del Centro Storico sono entrate a far parte della strumentazione di controllo della subsidenza.

Sui campioni di terreno prelevati in Piazza Grande a diverse profondità (fino a 85 m) sono stati effettuati test presso il laboratorio del Politecnico di Milano, per evidenziarne le caratteristiche di compressibilità, avere indicazioni sull'omogeneità di comportamento geotecnico del sottosuolo e poter stimare eventuali margini residui di compressione del terreno in profondità.

## 3. - I RISULTATI DEGLI STUDI 1981-1993

Le falde sotterranee modenesi, storicamente caratterizzate dalla prevalenza dei livelli idrici sul piano di campagna (da cui la denominazione pozzi artesiani o modenesi), hanno subito, a partire dagli anni '60, un progressivo impoverimento causato in particolare dai prelievi idrici del quartiere industriale Modena nord,

fino ad un abbassamento dei livelli piezometrici dell'ordine dei 10 m, raggiunto a metà degli anni '70.

I provvedimenti amministrativi sugli approvvigionamenti idrici unicamente allo spostamento/chiusura delle industrie idroesigenti e un andamento crescente delle precipitazioni, hanno operato una inversione di questa tendenza; a partire dagli anni '80, si è quindi assistito ad un lento, ma costante recupero delle quote piezometriche: attualmente, nel centro cittadino, esse sono attestate a 3-4 m dal piano di campagna rispetto ai 10-11 m del 1975.

La cartografia realizzata coi risultati delle livellazioni topografiche di precisione ha evidenziato una evoluzione nel tempo nella distribuzione degli abbassamento del suolo nel territorio.

Nel periodo 1950-1981 infatti, lo sviluppo dei movimenti verticali del suolo presentava una configurazione con isolinee concentriche sviluppate attorno ad un polo principale, centrato nel quartiere industriale a Modena nord con un valore massimo di abbassamento di 84 cm (fig. 20).

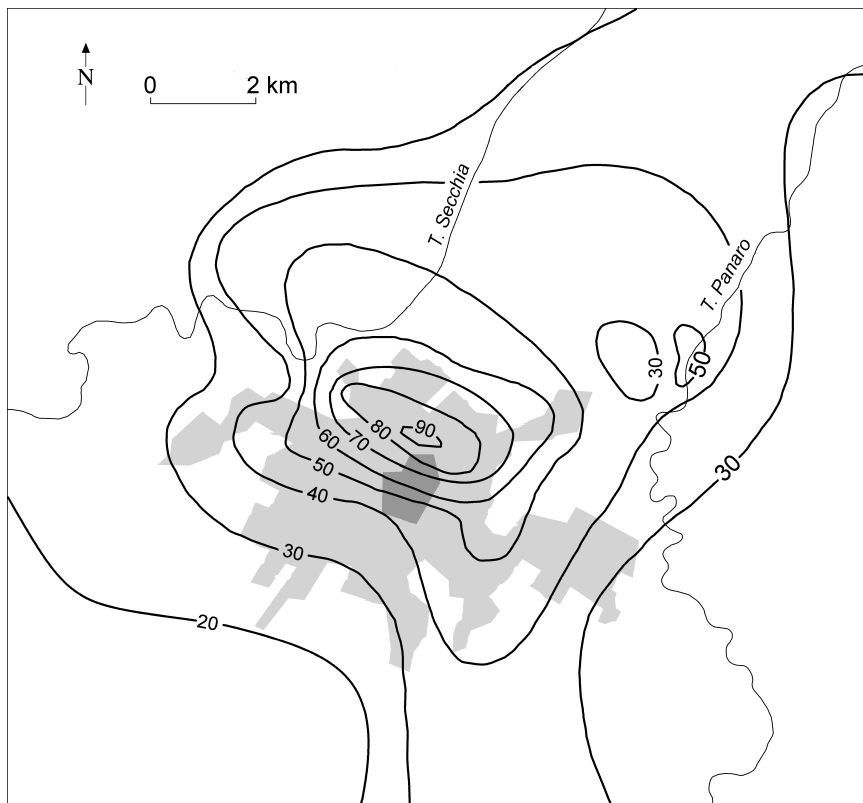


Fig. 20 - Linee di eguale subsidenza relative alla città di Modena rilevate nel periodo 1950-1981, valori in centimetri (relazione inedita del Comune di Modena).

Le risultanze delle misurazioni 1981-1985 invece avevano messo in luce una differente distribuzione delle aree soggette a subsidenza: in questo quinquennio infatti il territorio maggiormente interessato si colloca lungo una direttrice SW-NE, ed i valori massimi di abbassamento si riscontravano a nord della città, nei terreni agricoli compresi tra i corsi dei fiumi Secchia e Panaro: i tassi di abbassamento inoltre erano sensibilmente inferiori rispetto ai precedenti: 0.5/1 cm/anno contro i 2/3 del periodo 1950-1981.

I sondaggi e le prove penetrometriche effettuati in Piazza Grande al momento dell'installazione della strumentazione geotecnica avevano mostrato una notevole omogeneità nel comportamento del sottosuolo, confermata ulteriormente dalle prove di laboratorio sui campioni di terreno prelevati fino ad 80 m di profondità.

Questa omogeneità di comportamento tuttavia si perde rapidamente allontanandosi dall'area monumentale: in effetti una delle caratteristiche più evidenti della subsidenza modenese, evidenziata dalle livellazioni topografiche, è la presenza di aree fortemente cedevoli vicine ed alternate irregolarmente ad aree relativamente stabili.

Le analisi geotecniche sui campioni hanno infine permesso di stimare una compressione potenziale del sottosuolo, dal piano di campagna fino ad 85 m di profondità, di circa 1 m: da questo valore nel periodo 1950-1985 si sono già esauriti 50-60 cm, in seguito all'abbassamento delle quote piezometriche: il progressivo rimpinguamento delle falde avrebbe dovuto evitare un'ulteriore ripresa di uno sprofondamento «selvaggio» nell'immediato futuro.

Poiché il monitoraggio delle acque sotterranee confermava, pur con brevi battute d'arresto, in corrispondenza di periodi particolarmente siccitosi, una tendenza a risalire e d'altra parte le letture della strumentazione scientifica (assestimetri), non evidenziavano variazioni significative, si era ritenuto di avere ormai sotto controllo l'intero fenomeno.

La livellazione eseguita nel 1992 è stata parziale ed impostata come verifica dei movimenti possibili sia lungo una linea sud-nord che attraversa la città sia nell'immediato perimetro del Centro Storico, tuttavia è risultata sufficiente affinché l'elaborazione dei dati raccolti, effettuata nel corso dell'anno '93, potesse consentire di evidenziare alcuni aspetti preoccupanti rispetto ai risultati analizzati nel 1985 e nel 1989 che erano invece stati tranquillizzanti sia per il valore annuale di abbassamento, attestato a circa 0,8 cm/anno, sia per il fatto che le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati facevano prevedere un esaurimento del fenomeno soprattutto a fronte di una stabilizzazione dei livelli piezometrici.

#### 4. - CONCLUSIONI

Tenendo presente quanto esposto e soprattutto riferendosi al fatto che la livellazione del 1992 non ha coperto tutto il territorio urbano, pertanto i risultati ottenuti possono considerarsi puramente indicativi per le aree esterne, l'elaborazione dei rilievi 1985-1992 porta ad affermare che mediamente il fenomeno

di subsidenza registrato non è diminuito, anzi la velocità di abbassamento del suolo è passata da 0,8 a 1,1 cm/anno essendosi registrato un abbassamento medio di 7-8 cm nel periodo considerato; che inoltre sono evidenti diverse aree in cui vengono registrati abbassamenti relativi molto più consistenti come la zona sud-ovest della città.

Le analisi dei dati relativi alla strumentazione scientifica parimenti ci forniscono le seguenti considerazioni:

- il livello medio delle acque sotterranee è in aumento, fatto salvo un periodo siccitoso di 2 anni tra il 1986 e il 1988, e comunque è passato da - 7 a - 2,7 m dal piano di campagna nel periodo 1984-1992;

- la pressione dell'acqua nelle argille, misurata con i piezometri elettropneumatici, conferma la tendenza all'aumento anche se, soprattutto gli strati posti a 18 m di profondità, vicino alla falda importante, hanno subito notevoli oscillazioni;

- la misura diretta della compattazione dei terreni in profondità, effettuata con gli assestimetri, evidenzia come sia gli strati più superficiali, sia quelli più profondi, abbiano subito compressioni anche se il livello di attendibilità delle singole misure è limitato in rapporto ai valori complessivi registrati. Unica eccezione sullo strumento di Largo Aldo Moro dove l'asportazione del terreno per la costruzione di un parcheggio sotterraneo ha indotto un rigonfiamento del terreno seppure di scarsa entità (1 cm).

Dunque i risultati emersi dall'elaborazione dei dati inducono preoccupazioni soprattutto in riferimento al fatto che sia sufficiente un periodo siccitoso come quello verificatosi tra il 1986 e il 1988 a determinare una ripresa consistente del fenomeno di compressione che interessa strati di terreno sempre più profondi.

E' da notare poi che data la disomogenea costituzione del sottosuolo dell'area urbana dove la profondità del primo livello ghiaioso non compressibile varia tra i - 13 m a sud, ai - 28 m a nord, e la stratigrafia è formata da un'alternanza di terreni a diverso grado di compressibilità (limi, argille e sabbie) con varie proporzioni, l'effetto di abbassamento può risultare diverso anche in aree abbastanza vicine.

Gli effetti del fenomeno di subsidenza si fanno risentire oltre che in termini di lesioni ad edifici, gravi soprattutto per quelli in Centro Storico, anche perché inducono una diminuzione di pendenze sul sistema fognario già in crisi nell'area nord del Centro.

Si nota infatti che, soprattutto nei pressi dell'Accademia, il gradiente di abbassamento registrato può indurre una diminuzione della pendenza nel Canale Naviglio (già del 0,5 - 1 per mille) di circa il 10 % (causando una diminuzione di officiosità idraulica).

Questo meccanismo potrebbe essere verificato anche su altri collettori fognari già in condizioni critiche nei tratti posti più a nord.

### APPENDICE 3 STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI











In questa appendice sono riportate le stratigrafie degli 8 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti appositamente per la realizzazione della Carta Geologica nell'ambito del Progetto CARG. L'ubicazione dei sondaggi è visibile nella Carta Geologica di Superficie e nel Foglio Allegato Geologia di Sottosuolo.

Nelle stratigrafie riportate in appendice è illustrato:

- il profilo granulometrico in termini di contenuto di argilla, limo, sabbia e ghiaia;
- il contenuto in sostanza organica;
- la presenza di alcuni costituenti particolari (es. fossili o legni);
- le unità stratigrafiche a cui viene riferito il singolo intervallo.

#### LEGENDA DELLE STRATIGRAFIE DEI CAROTAGGI

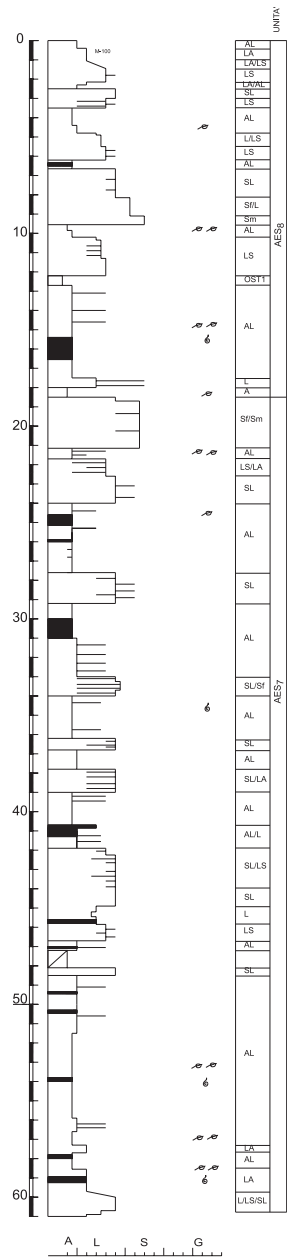
##### *simboli*

3,0m s.l.m.	quota del piano campagna riferita al livello del mare
	intervallo non recuperato o fortemente disturbato
	tracce di sostanza organica
	abbondante sostanza organica diffusa e torbe
	frustoli vegetali
	frammenti di legno
	fossili continentali
	fossili marini
	radici
	bioturbazione diffusa
 M=100	fitta laminazione pianoparallela

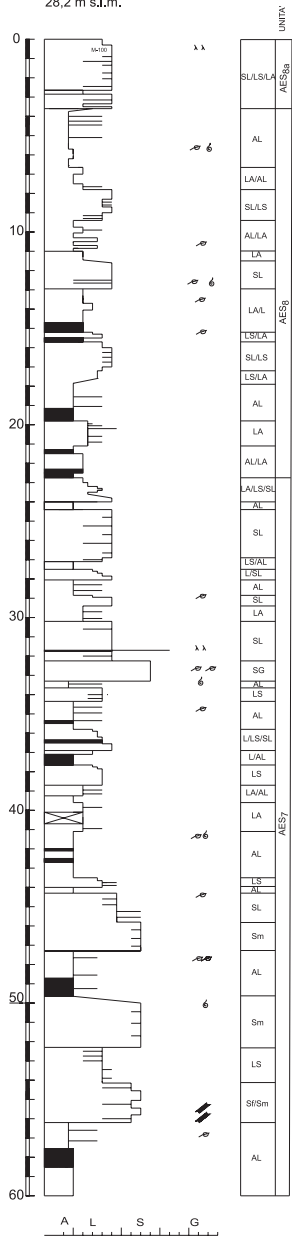
A	argilla
AL	argilla limosa
L	limo
LA	limo argilloso
LS	limo sabbioso
S	sabbia
Sm	sabbia media
Sf	sabbia fine
Sff	sabbia molto fine
SL	sabbia limosa
SG	sabbia ghiaiosa
GH	ghiaia



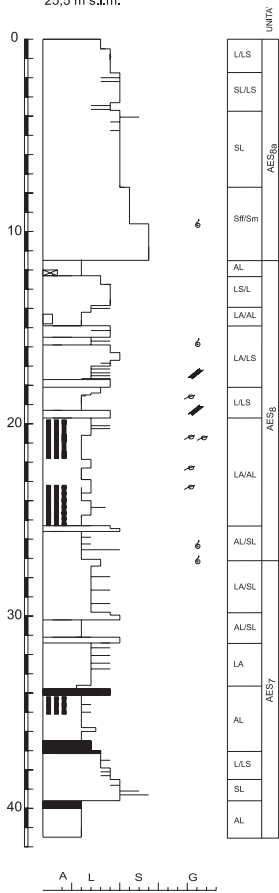
CARPI 201 - S4  
22,5 m s.l.m.



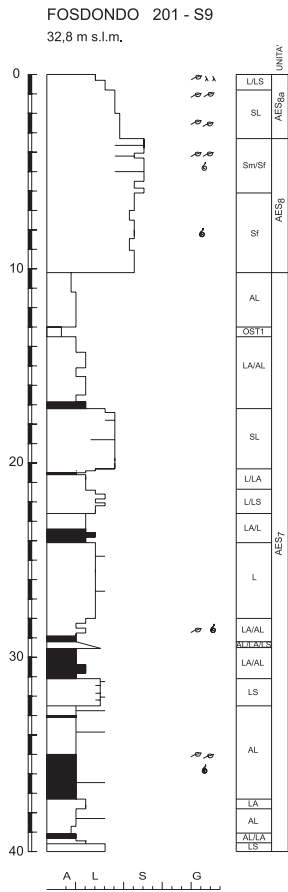
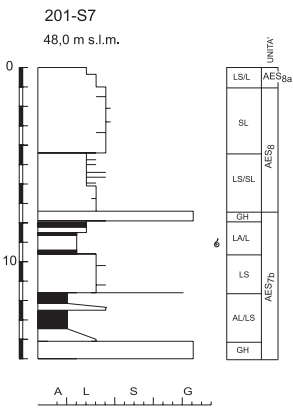
SOLIERA 201 - S5  
28,2 m s.l.m.



201 - S6  
25,5 m s.l.m.









## BIBLIOGRAFIA

- ACCORSI C.A., BANDINI MAZZANTI M. & FORLANI L. (1982) – *Prove di mutamenti climatici nell'Appennino emiliano*. Atti del primo convegno di meteorologia appenninica – Reggio Emilia, 7-10 Aprile 1979, Reggio Emilia ; pp. 641-652.
- AGIP MINERARIA (1959) – *Descrizione dei giacimenti gassiferi padani*. In: I giacimenti gassiferi dell'Europa occidentale, Atti del convegno di Milano 30/9-5/10 1957. **2**, 132-597.
- ALESSIO M., ALLEGRI L., BELLA E., CALDERONI G., CORTESI C., CREMASCHI M., IMPROTA S., PAPANI G. & PETRONE V. (1980) – *Le Datazioni <sup>14</sup>C della pianura tardowürmiana ed olocenica nell'Emilia occidentale*. Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, **III**, C.N.R. Napoli, 1411-1435
- AMOROSI A. (1999) – *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000 – Foglio 223 Ravenna*: Servizio geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna.
- AMOROSI A., CIBIN U. & SEVERI P. (1998) – *La sequenza deposizionale tardo-quaternaria del Bacino padano sud-orientale nella cartografia geologica 1:50000*. Giorn. Geol., ser. 3, **60**, 7-8.
- AMOROSI A. & FARINA M. (1996) - *Sequenze deposizionali nei depositi alluvionali quaternari del primo sottosuolo nell'area a est di Bologna, tra il T. Savena e il T. Idice*. 1St. European Congress on Regional Geological Cartography and Information Systems. Bologna, June 13-16, **5**, 35-54.
- 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.
- ANNOVI A., CREMASCHI M., FREGNI P. & GASPERI G. (1979) - *La successione pleistocenica marina e continentale del T. Tiepido (Appennino modenese)*. Geogr. Fis. e Dinam. Quat., **1**, 1-22.
- AUTORI VARI (1981) - *Piano per la tutela e l'uso delle risorse idriche. Comprensorio di Modena*
- AUTORI VARI (1982) - *Carta strutturale dell'Appennino settentrionale a scala 1:250.000*. S.EL.CA., Firenze.
- AUTORI VARI (1988) - *Modena dalle origini all'anno Mille. Studi di archeologia e storia*. Vol. I pp 612, Vol. II pp 533. Edizioni Panini, Modena.
- AUTORI VARI (1987) - *Note illustrative alla Carta strutturale dell'Appennino settentrionale a scala 1:250.000*. Tipografia senese.
- AUTORI VARI (1992) - *Appennino Tosco-Emiliano*. Guide Geol. Reg., **4**, BE-MA editrice.
- BALLY A.W. & SNELSON S. (1980) - *Realms of subsidence*. In: MIALI A.D.(Ed.), Facts and Principles of World Petroleum Occurrence. Can. Soc. Petrol. Geol., Memoir, **6**, 9-94.
- BARRELL J. (1917) - *Rhythms and the measurements of geologic time*. Geol. Soc. America Bull., **28**, 745-904.
- BARTOLINI C., CAPUTO R. & PIERI M. (1996) - *Pliocene – Quaternary sedimentation in the northern Apennine foredeep and related denudation*. Geol. Mag., **133**, 255-273.
- BARTOLINI C., BERNINI M., CARLONI G.C., COSTANTINI A., FEDERICI P.R., GASPERI G., LAZZAROTTO A., MARCHETTI G., MAZZOTTI R., PAPANI G., PRANZINI G., RAU A., SANDRELLI F., VERCESI P.L., CASTALDINI D. & FRANCAVILLA F. (1982) - *Carta neotettonica dell'Appennino Settentrionale. Note illustrative*. Boll. Soc. Geol. It., **101**, 523-549.
- BENTIVOGLIO T. (1901-1925) - *Bibliografia geo-mineralogica e paleontologica delle provincie di Modena e Reggio Emilia: 1469-1900*. Atti Soc. Nat. Mat. Modena, **4**, **3**; con suppl. 1901 - 1920: id. (1909), **11**; (1912), **14**; (1918), **4**; (1925), **8**.
- BERGONZINI G.D., BRONZONI L., CERCHI E., CHIESI I., CREMASCHI M., FORTE M., LOSI A. & ZANASI C. (1989) – *La successione stratigrafica rilevata nei recenti sondaggi presso l'abside centrale del Duomo*. Modena dalle origini all'Anno Mille. Studi di Archeologia e Storia, vol. **1**, 45-54.
- BERTOLANI MARCHETTI D. & FORLANI L. (1972) - *Il bosco sub-boreale di Rubiera (Reggio Emilia)*. Giornale Botanico Italiano, **106**, 5, 270.
- BLUM M.D. & VALASTRO S. JR. - (1994) - *Late Quaternary sedimentation, Lower Colorado River, Gulf coastal plain of Texas*. Geological Society of America bulletin, **106**, 1002-1016
- BOCCALETTI M., COLI M., DECANDIA F.A., GIANNINI E. & LAZZAROTTO A. (1980) - *Evoluzione dell'Ap-*

- pennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., **21**, 359-373.
- BOCCALETTI M., ELTER P. & GUAZZONE G. (1971) - *Polarità strutturali delle Alpi e dell'Appennino in rapporto all'inversione di una zona di subduzione nord-tirrenica*. Mem. Soc. Geol. It., **10**(4), 371-378.
- BOCCALETTI M. & GUAZZONE G. (1972) - *Gli archi appenninici, il Mar Ligure ed il Tirreno nel quadro della tettonica dei bacini marginali retroarco*. Mem. Soc. Geol. It., **11**, 201-216.
- BONAZZI U. (1994) - *A proposito di una sezione geologica nel pedeappennino reggiano in sinistra del F. Secchia*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **125**, 49-75.
- BONDESAN M., FAVERO V. & VINALS M.J. (1995) - *New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene*. Quat. Int., **29/30**, 105-110.
- CAPORUSSO D. & CREMASCHI M. (1988) - *Milano, via S. Croce. Scavi MM Linea 3. Significato archeologico e paleoambientale dei depositi di età romana*. Archeologia Stratigrafica in Italia settentrionale, **1**, 143 – 150.
- CAPOZZI R., MENATO F. & RABBI E. (1994) - *Manifestazioni superficiali di fluidi ed evoluzione tettonica recente del margine appenninico emiliano-romagnolo: indagine preliminare*. Atti Tic. Sc. Nat., Serie Speciale, **1**, 247-254.
- CARMIGNANI L., GIGLIA G. & KLIGFIELD R. (1978) - *Structural evolution of the Apuane Alps: an example of continental margin deformation in the Northern Apennines, Italy*. Journ. Geol., **86**, 487-504.
- 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. APAT - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia Romagna.
- CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R. & CAPPELLI V. (1986) - *Pianura Padana: interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*. 73° Congresso S.G.I., Roma 29 Sett.-4 Ott. 1986, Centro Stampa AGIP, pp. 27.
- CASTALDINI D. & PELLEGRINI M. (1989) - *A review of the flow regulation system on the Secchia and Panaro rivers (Modena area, Italy)*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **II**, 35-39.
- CASTELLARIN A., EVA C., GIGLIA G. & VAI G.B. (1985) - *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giorn. Geol., **47** (1-2) (1985), 47-75.
- CASTELLARIN A. & PINI A. col contributo di BORSETTI A.M. e RABBI E. (1989) - *L'arco del Sillaro: la messa in posto delle Argille Scagliose al margine appenninico padano (Appennino bolognese)*. Mem. Soc. Geol. It., **39** (1987), 127-141.
- CASTIGLIONI G.B., BONDESAN A., BONDESAN M., CAVALLIN A. & GASPERI G. (Eds.) (1998) - *Carta Geomorfologica della Pianura Padana*. S.EL.CA., Firenze.
- CLERICI A. (1988) - *Considerazioni morfotettoniche sul versante padano dell'Appennino fra il Fiume Secchia e il Fiume Santerno in base all'analisi delle "superfici pianeggianti"*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., Suppl. **1**, 89-106.
- COLOMBETTI A., GELMINI R., PELLEGRINI M., PALTRINIERI N. & ZAVATTI A. (1984) - *Land subsidence in the area of Modena, Po Valley, Northern Italy*. In: Atti del «Third International Symposium on Land Subsidence», Venezia 1984.
- COLOMBETTI A., GELMINI R. & ZAVATTI A. (1980) - *La conoide del fiume Secchia: modalità di alimentazione e rapporti col fiume (prov. di Modena e Reggio E.)*. Quad. Ist. Ric. sulle Acque, C.N.R., **51**, 1.
- CONTI S. & GELMINI R. (1994) - *Miocene-Pliocene tectonic phases migration of foredeep-thrust belt system in the Northern Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 261-274.
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F. (1996) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the north Adriatic sea*. Il Quaternario, **9** (2), 697-704.
- CREMASCHI M. (1987) - *Paleosols and Vetusols in the Central Po plain (Northern Italy)*. Ed. Unicopli, Milano.
- CREMASCHI M., BERNABÒ BREA M., TIRABASSI J., D'AGOSTINI A., DALL'AGLIO P.L., MAGRI S., BARICCHI

- W., MARCHESINI A. & NEPOTI S. (1980) - *L'evoluzione della pianura emiliana durante l'età del Bronzo, l'età romana e l'alto medio evo: geomorfologia ed insediamenti*. "Padusa" – Bollettino del Centro Polesano di Studi Storici Archeologici ed Etnografici, Rovigo – 1980.
- CREMASCHI M. & GASPERI G. (1989) - *L' "Alluvione" alto medioevale di Mutina (Modena) in rapporto alle variazioni ambientali oloceniche*. Mem. Soc. Geol. It., **42**.
- CREMASCHI M., GASPERI G., LOSACCO S., TOSATTI G. & ZAROTTI L. (1979) - *Excursion to the Valley of the Torrente Tiepido*. Proceedings of the 15th Plenary meeting, Modena-Catania 7-15 Sept. 1979.
- CREMASCHI M. & SALA D. (1982) - *Resti di Elephas Meridionalis in sedimenti del Pleistocene inferiore-medio del fiume Panaro (Modena)*. AIQUA Convegno annuale 1980. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **5**, 256-257.
- CREMONINI S. (1981) - *Analisi morfodinamica preliminare della pianura reggiana – modenese tra Crostolo e Secchia*. In: Ricerche archeologiche nel carpignano. Ed. Panini – Modena, pp. 172.
- CREMONINI G. & RICCI LUCCHI F. (1982) - *Guida alla geologia del margine appenninico-padano*. Guida Geol. Reg. S.G.I., Bologna.
- DI DIO G., LASAGNA S., PRETI D. & SAGNE M. (1997) - *Carta geologica dei depositi quaternari della Provincia di Parma*. Il Quaternario, **10**, 443 – 450.
- DI PIETRO P. (1985) - *Lazzaro Spallanzani, viaggi nell'Appennino Modenese e reggiano*. Massimiliano Boni Bologna Ed. Tip. Babina S. Lazzaro di Savena (BO), pp. 266.
- DODERLEIN P. (1870) - *Note illustrative alla Carta geologica del Modenese e Reggiano, con carta geologica alla scala 1:144.000*. Mem. R. Accad.d. Sc. Modena, **12**, **13**.
- DONDI L. (1985) - *Pianura Padana: paleogeografia dall'Oligocene superiore al Pleistocene*. Progetto cartografia geologica, 22-13 Febbr., Bologna, 76-101.
- DONDI L. & D'ANDREA M. G. (1986) - *La Pianura Padana e Veneta dall'Oligocene superiore al Pleistocene*. Giorn. Geol., ser. 3, **48**, 1/2, 197-225.
- DONDI L., MOSTARDINI F. & RIZZINI A. (1982) - *Lessico delle formazioni del bacino padano orientale*. In: G. Cremonini e F. Ricci Lucchi (a cura di): Guida alla geologia del margine appenninico-padano, 205-236, Guida Geol. Reg. S.G.I., Bologna.
- FARABEGOLI E. & ONOREVOLI G. (1991) - *La sezione di S. Mamante (Faenza) nel quadro evolutivo neotettonico ed eustatico del quaternario dell'Appennino romagnolo*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **46**, 417 – 432.
- FAZZINI P. & GASPERI G. (1996) - *Il sottosuolo della città di Modena*. Accad. Naz. di Sc. Lett. e Arti, Modena. Miscellanea Geologica. 41-54.
- FAZZINI P., GASPERI G. & GELMINI R. (1976) - *Litologia di superficie dell'alta e media pianura modenese*. Atti Soc. Nat.e Mat. Di Modena, **107**, 53-66.
- GASPERI G., CREMASCHI M., MANTOVANI UGUZZONI M. P., CARDARELLI A., CATTANI M. & LABATE D. (1989) - *Evoluzione plio-quaternaria del margine appenninico modenese e dell'antistante pianura*. Note illustrative alla carta geologica. Mem. Soc. Geol. It. **39**, 375-431.
- GASPERI G., FIORONI C. & CREMASCHI M. (1990) - *Geologia del bacino del fiume Panaro a valle di Marano*. Ed. "El Quatr'ari, Tipolitografia FG Savignano s.P. (MO).1-22.
- GASPERI G., GELATI R. & PAPANI G. (1984) - *Neogene evolution of the Northern Apennines on the Po Valley side*. Giorn. Geol., ser.3, **48**, 187-195.
- GELMINI R. & PALTRINIERI N. (1988) - *Litologia di superficie e isobate del tetto del primo livello ghiaioso*. Progetto Ambiente, Comune di Modena-Istituto di Geologia di Modena. S.EL.CA., Firenze.
- GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE DELLA PIANURA PADANA (1979) - *Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana*. Quad. Ist. Ric. Sulle Acque, C.N.R., **28**, 2.
- HUNT D. & TUCKER M.E. (1992) - *Stranded Parasequences and the forced regressive wedge system tract: deposition during base level fall*. Sedimentary Geology, **81**, 1-9.
- IACCARINO S. (1985) - *Mediterranean Miocene and Pliocene planktic Foraminifera*. In: Bolli H.M., Saunders J.B., & Perch Nielsen K. (Ed.)-Plankton Stratigraphy. Cambridge University Press, 283-314.
- LIPPARINI T. (1963) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, foglio "Bologna"*. Serv. Geol. d'It.

- LOSACCO U. (1964) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, foglio "Modena"*. Serv. Geol. d'It.
- LUCCHETTI L., ALBERTELLI L., MAZZEI R., THIEME R., BONGIORNI D. & DONDI L. (1962) - *Contributo alle conoscenze del Pedeaappennino padano*. Boll. Soc. Geol. It., **81**(4), 5-245.
- MAFFEI M. (2001) - *Evoluzione recente della Pianura modenese - reggiana, implicazioni paleoambientali, paleoclimatiche e geoarcheologiche*. Tesi di dottorato di ricerca in "Scienze della Terra", XIV ciclo. Università di Modena e Reggio Emilia, pp.281.
- MAYR F. (1964) - *Untersuchungen über Ausmass und Folgen der Klima-und Gletscherschwankungen seit dem Beginn der postglazialen wärmezeit*. Zietschrift für Geomorphologie, N.F., B.8, H.3, 257-285.
- MARABINI S., LENAZ R. & VAI G.B. (1987) - *Pleistocene superiore e Olocene del margine pedeappenninico romagnolo: rapporto preliminare*. Rend. Soc. geol. Ital., **10**, 33 – 37.
- MAROCCHO R. (1991) - *Evoluzione tardopleistocenica-olocenica del delta del F. Tagliamento e delle lagune di Marano e Grado (Golfo di Trieste)*. Il Quaternario, **4** (1b), 223-232.
- MATTAVELLI L., RICCHIUTO T., GRIGNANI D. & SCHOELL M. (1983) - *Geochemistry and habitat of natural gases in Po basin, Northern Italy*, A.A.P.G. Bull., **67**, 12, 2239-2254.
- MITCHUM R.M., VAIL P.R. & THOMPSON S. III (1977) - *The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis*. In: Payton C.E. (ed.), *Seismic stratigraphy - application to hydrocarbon exploration*. A.A.P.G. Mem., **26**, 53 -62.
- MUNSELL A. (1975) - *Soil color chart*. Macbeth division of Kollmorgen corporation - Baltimore.
- MURATORI A. & PALTRINIERI N. (1990) - *Il fenomeno della subsidenza nella città di Modena*. In: Notiziario dell'ordine degli Ingegneri della Provincia di Modena.
- N.A.C.S.N. (1983) - *North American Stratigraphic Code*. AAPG Bull., **67**, 841-875.
- PALTRINIERI N. (1985) - *La subsidenza a Modena; analisi delle caratteristiche geologiche del sottosuolo*. In: *Impianti pubblici integrati di risanamento ambientale, Comune di Modena, AMIU*.
- PALTRINIERI N. & PELLEGRINI M. (1990) - *Geometria dell'acquifero*. In: *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 2 – Alta e media pianura modenese – a cura di N. Paltrinieri, M. Pellegrini e A. Zavatti*. Pitagora Editrice, Bologna.
- PANTANELLI D. (1903) - *Andamento delle acque sotterranee nei dintorni di Modena*. Mem. R. Acc. Sc. Lett. E Arti in Modena, s. 3, **5**.
- PAPANI G., PETRUCCI F. & VENZO S. (1967) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, foglio "Reggio nell'Emilia"*. Serv. Geol. d'It.
- PASQUINUCCI M. (1984) - *Il territorio modenese e la centuriazione*. In: *Misurare la terra: centuriazione e coloni nel mondo romano, il caso modenese*. Ed Panini – Modena, pp. 147.
- PELLEGRINI M. (1969) - *La pianura del Secchia e del Panaro*. Atti Soc. Nat. e Mat. di Modena, **100**, 1-51.
- PELLEGRINI M. (1982) - *Introduzione ai problemi di "geologia ambientale" nel margine appenninico-padano*. In: *Cremonini C. e Ricci Lucchi F. (a cura di: Guida alla geologia del margine appenninico-padano*. Guida Geol. Reg., S.G.I., 61-63.
- PELLEGRINI M. (1990) - *I navigli e la rete idrografica negli antichi ducati estensi di Modena e Reggio*. In: AA. VV.: *Vie d'Acqua nei ducati estensi*. Cassa di risparmio di Reggio Emilia, Reggio Emilia.
- PELLEGRINI M., COLOMBETTI A. & ZAVATTI A. (1976) - *Idrogeologia profonda della Modenese*. Quad. Ist. Ric. Sulle Acque, **28**, 7.
- PELLEGRINI M., PREGO S. & TAGLIAVINI S. (1979) - *La situazione morfologica degli alvei degli affluenti emiliani del Po. Magistrato per il Po*. Atti Convegno di Idraulica padana, 19-20 Ott. 1979, Parma.
- PELLEGRINI M. & ROSSI A. (1967) - *Le variazioni del profilo di equilibrio del fiume Panaro e di alcuni suoi affluenti*. Atti Soc. Nat. e Mat. di Modena, **98**, 47-68.
- PELLEGRINI M. & TONI G. (1982) - *Sugli abbassamenti in alveo nei principali corsi d'acqua emiliano romagnoli*. In: CREMONINI G. e RICCI LUCCHI F. (Eds) "Guida alla geologia del margine appenninico-padano". Guida Geol. Reg. S.G.I., Bologna, 191-195.
- PELLEGRINI M. & ZAVATTI A. (1979) - *Le falde acquifere della pianura a sud del fiume Po, tra i fiumi*

- Enza e Panaro*. Genio Rurale, **42**, 5.
- PIERI M. & GROPPI G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy)*. C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubbl. n°414, 1-13.
- POSAMENTIER H.W., ALLEN G.P., JAMES D.P. & TESSON M. (1992) – *Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples and sequence stratigraphic significance*. A.A.P.G. Bulletin, **76**, 1687-1709
- POSAMENTIER H.W., JERVEY M.T. & VAIL P.R. (1988) - *Eustatic controls on clastic deposition I: conceptual framework*. In *Sea level changes: an integrated approach* (ed. by C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross and J.C. Van Wagoner), Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., **42**, 109-124.
- PROVINCIA DI MODENA (1995) - *Piano infraregionale per le Attività Estrattive. Relazione illustrativa*. Modena, ottobre 1995.
- RAFFI I. e RIO D. (1980) - *Biostratigrafia a nannofossili, biocronologia e cronostatigrafia della serie del Torrente Tiepido (Subappennino Emiliano, Provincia di Modena)*. L'Ateneo Parmense. Acta Naturalia, **16**, 19-31.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1994) - *I suoli dell'Emilia-Romagna, note illustrative*. pp.383. BOLOGNA
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della regione Emilia-Romagna*. (A cura di Di Dio). S.EL.CA. (Firenze) pp. 120.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA E PROVINCIA DI MODENA (1993) – *I suoli della pianura modenese*, ed. Regione Emilia – Romagna.
- RICCI L. (1806) - *Corografia dei territori di Modena, Reggio e degli altri stati appartenenti alla Casa d'Este*. Eredi Soliani, Modena.
- RICCI LUCCHI F. (1984) - *Flysh, molassa, cunei clastici: tradizione e nuovi approcci nell'analisi dei bacini orogenici dell'Appennino settentrionale*. In: Cento anni di geologia italiana. Vol. Giub. I° Centenario Soc. Geol. IT, 279-295.
- RICCI LUCCHI F., COLALONGO M.L., CREMONINI G., GASPERI G., IACCARINO S., PAPANI G., RAFFI S. & RIO D. (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico*. In: Cremonini G. & Ricci Lucchi F., Guida alla geologia del margine Appenninico-Padano, 17-46, Bologna.
- RIO R. (1931) – *Vestigia Crustunei*, L. Bonvicini Ed., Reggio Emilia
- ROVERI E. (1960) - *Indagine sulle cause che hanno provocato il cedimento del ponte sul Secchia della via Emilia a Rubiera*. Asfalti, Bitumi e Catrami. 2.
- ROVERI E. (1960) - *Sul ciclo di erosione rinnovatisi lungo i corsi d'acqua dell'Appennino Emiliano*. Boll. Soc. Geol. It., **84**.
- SACCO F. (1932) - *Note illustrative alla carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000, fogli Modena, Reggio*. R. Serv. Geol. d'It.
- SALVADOR A. (1994) - *International stratigraphic guide, second edition - International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy*. IUGS and GSA, pp. 214.
- SCICLI A. (1972) - *L'attività estrattiva e le risorse minerarie della Regione Emilia-Romagna*. Poligraf. Artioli, Modena.
- 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.
- TIRABASSI J. (1979) – *Catasto archeologico della provincia di Reggio Emilia – 4. I siti dell'età del bronzo*, Reggio Emilia.
- TIRABOSCHI G. (1824) – *Dizionario topografico-storico degli Stati Estensi*. Tipografia Camerale. Modena.
- TOMASELLI A., PASTORE S., AUGLIERA P. e EVA C. (1992)-*Sismicità dell'Appennino nord-occidentale*. St. Geol. Camerti, vol. spec. CROP **1/1A**, 43-50.
- TOSI L. (1994) – *L'evoluzione paleoambientale tardo-quaternaria del litorale veneziano nelle attuali conoscenze*, Il Quaternario, **7**, 589-596.
- VAI G.B. (1988) - *A field trip guide to Romagna Apennine geology. The Lamon valley*. In: De Giuli

- C. & Vai G.B. (eds) "Fossil vertebrates in the Lamone valley, Romagna, Apennines. Field trip guidebook" Litografia Faenza, 7-37.
- VEGGIANI A. (1963) - *Ancora un esempio di danni causati dalla ripresa del ciclo erosivo dei fiumi appenninici*. Boll. Camera di Commercio Ind. e Agric. di Forlì.
- VEGGIANI A. (1994) - *I deterioramenti climatici dell'età del ferro e dell'alto medioevo*. Torricelliana, Boll. Soc. Torricelliana di Sc. e Lett., **45**, 1-80.