

COMPOSIZIONE DEI SEDIMENTI SABBIOSI NELLE PERFORAZIONI LUNGO IL TRACCIATO FERROVIARIO AD ALTA VELOCITÀ: INDICAZIONI PRELIMINARI SULL'EVOLUZIONE SEDIMENTARIA DELLA MEDIA PIANURA MODENESE

Stefano Lugli, Simona Marchetti Dori, Daniela Fontana & Filippo Panini

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia,
Largo S. Eufemia 19, 41100 Modena.

E-mail: lugli.stefano@unimore.it, marchettidori.simona@unimore.it, fontana.daniela@unimore.it, panini.filippo@unimore.it

RIASSUNTO: Lugli S. et al., *Composizione dei sedimenti sabbiosi nelle perforazioni lungo il tracciato ferroviario ad alta velocità: indicazioni preliminari sull'evoluzione sedimentaria della media pianura Modenese*. (IT ISSN 0394-3356, 2004).

Le perforazioni effettuate lungo il tratto modenese del tracciato ferroviario ad Alta Velocità hanno fornito numerosi campioni di sabbie prelevate in profondità fino a 40-50 m dal piano campagna, per un intervallo temporale che presumibilmente copre il Pleistocene sommitale e l'Olocene. L'esame composizionale di 28 campioni di sabbie prelevati da 6 perforazioni ha permesso di evidenziare come la sedimentazione fluviale nella media pianura modenese sia drasticamente mutata a partire da circa 10-12 ka. La composizione dei sedimenti sabbiosi più recenti sembra riconducibile a quella dei corsi d'acqua minori che attraversano oggi la pianura nel tratto compreso tra i fiumi Secchia e Panaro. I sedimenti sabbiosi più antichi presentano invece composizioni diverse, particolarmente arricchite in feldspati. Tali differenze composizionali possono riferirsi a combinazioni di vari fattori quali: a) variazioni nella litologia del substrato per fenomeni tettonici e/o per variazioni nello sviluppo del reticolo idrografico, b) fenomeni di riciclo di sedimenti fluviali antichi. L'arricchimento in feldspati che caratterizza queste sabbie rende improbabili effetti di alterazione per variazioni climatiche e/o modificazioni diagenetiche post-deposizionali. I dati composizionali acquisiti, uniti a dati di tipo stratigrafico, suggeriscono che tra i sedimenti tardo-pleistocenici e quelli olocenici sia presente una significativa discontinuità stratigrafica di importanza regionale.

ABSTRACT: Lugli S. et al., *Composition of sands in cores along the high-speed rail (TAV): preliminary indications on the sedimentary evolution of the Modena plain*. (IT ISSN 0394-3356, 2004).

The Modena alluvial plain has been geologically investigated in great detail and is characterized by a spectacular abundance of archaeological sites of various age. For this reason the area may be considered a natural laboratory for the reconstruction of the recent sedimentary evolution of the Po Plain. The alluvial plain area examined for this study has an approximate extent of 150 km² and is located at the northern side of the Northern Apennines thrust- and fold-belt, where streams draining the chain flow toward the north-east into the Po river. Detailed modal analyses by point-counting of thin sections show that modern stream sands in the Modena plain show similar overall compositional fields, but can be discriminated on the base of key-components, such as quartz, feldspar, carbonate and lithic fragments. The study of sand sediments indicates that the compositional fields have not varied significantly since the Neolithic. The only major diagenetic process is the formation of carbonate concretions (caliche), which can be easily recognized as secondary particles during point counting of thin sections. These results indicate that the reconstruction of the recent evolution of the local drainage system is possible by comparing ancient with modern fluvial sand compositions.

The drilling of numerous wells along the new high speed train tract (TAV) provided us with new insight on the sedimentary evolution of the plain through time. The samples recovered from 6 wells reaching depths up to -50 m show that the sand sediments older than 10-12 kyr, have a significant shift in composition from the modern ones. This compositional change consists in a marked overall increase of quartz and feldspar components. The compositional variations can be explained by the combination of various factors: a) significant change in the bedrock lithology through time induced by tectonics and/or change in the local drainage pattern, and b) recycling of older fluvial sediments enriched in feldspar. Because the sands older than 10-12 kyr compared to the overlying olocenic and modern sediments are enriched in feldspar, which is considered a particularly alterable component, the compositional differentiation can not be related to effects induced to glacial-interglacial climate changes and post-depositional diagenetic processes.

The considerable change in sand composition and the stratigraphy of the deposits suggest dramatic geographical, environmental and depositional variations supporting the observation that a regional unconformity separates the Late Pleistocene from the Olocene sediments.

Parole chiave: Depositi fluviali, Quaternario, pianura Padana, composizione sabbie.

Keywords: Fluvial sediments, Quaternary, Po plain, sand composition.

1. INTRODUZIONE

La pianura modenese, per la particolare abbondanza di siti archeologici e di sondaggi geognostici, rappresenta un laboratorio naturale per lo studio dell'evoluzione sedimentaria della Pianura Padana. Alla ricca documentazione già disponibile, si aggiunge la notevole mole di dati di sottosuolo acquisita recentemente in occasione della realizzazione del tracciato ferroviario ad Alta Velocità. Il presente lavoro illustra i primi dati com-

posizionali ottenuti analizzando campioni di sabbie provenienti da perforazioni effettuate lungo tale tracciato. Lo scopo è quello di fornire un contributo alla comprensione della complessa evoluzione sedimentaria del settore modenese della Pianura Padana (Fig.1).

Indagini di dettaglio da noi recentemente effettuate (LUGLI *et al.*, 2003), hanno permesso di individuare specifiche petrofacies caratterizzanti le sabbie attuali e recenti dei principali corsi d'acqua modenesi in funzione di alcuni parametri composizionali (quarzo+feldspati,

carbonati totali, frammenti litici). Tale studio ha inoltre dimostrato che la composizione delle sabbie si è mantenuta pressoché costante a partire dal Neolitico. Questi risultati hanno fornito uno strumento importante per l'indagine dei sedimenti sabbiosi nel sottosuolo modenese, per l'identificazione degli apparati fluviali di pertinenza e della loro evoluzione.

Le perforazioni lungo il tracciato TAV si sono rivelate una utile occasione per effettuare un confronto con i dati già in nostro possesso sulle composizioni delle sabbie dei corsi d'acqua modenese, al fine di ottenere informazioni più complete sull'evoluzione della sedimentazione fluviale nel settore meridionale della pianura Padana.

2. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO DELL'ALTA E MEDIA PIANURA

Le alternanze di peliti e di depositi conglomeratico-sabbiosi di ambiente alluvionale che caratterizzano la pianura emiliano-romagnola sono il risultato di cicli deposizionali che si sviluppano a partire dal Pleistocene medio (da circa 650 ka) su di una superficie di discontinuità stratigrafica che li separa dai più antichi depositi di ambiente litorale. Lo sviluppo di questa superficie è legata ad un sollevamento regionale che, nei settori prossimi al margine appenninico, ha il carattere di una superficie di erosione subaerea (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). A scala regionale, all'interno dei depositi continentali quaternari sono stati riconosciuti due principali cicli, corrispondenti a due unità, o a unità a limiti inconformi (sintema emiliano-romagnolo inferiore e superiore (AMOROSI & FARINA, 1994; 1995; REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998; GASPERI & PIZZIOLO, in stampa) separate da una discontinuità stratigrafica collocabile tra 350 e 450 ka (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998), connessa ad un ulteriore episodio di sollevamento della catena (Fig. 2). Questi due sintemi sono stati ulteriormente suddivisi in unità di rango inferiore la cui organizzazione verticale riflette lo sviluppo di un ciclo trasgressivo-regressivo. Il riconoscimento di queste unità di rango inferiore è agevole nell'alta pianura, dove sui depositi grossolani sono presenti paleosuoli più o meno sviluppati. Nella media e bassa pianura invece, l'assenza di interruzioni prolungate nella sedimentazione, oltre al mancato o limitato sviluppo di pedogenesi ed un minor contrasto litologico, rendono difficile la loro definizione (GASPERI & PIZZIOLO, in stampa).

A scala regionale, il più recente ciclo trasgressivo-regressivo completo (Subsintema di Villa Verucchio) è suddiviso in una porzione pelitica (unità di Niviano), deposta durante la penultima fase interglaciale alla quale segue, nelle aree a ridosso del margine appenninico, e fino all'altezza della Via Emilia (Fig. 3), una potente porzione grossolana (unità di Vignola), corrispondente alla successiva fase glaciale e deposta durante un intervallo cronologico antecedente 15-18 ka. Esso è ritenuto genericamente più antico di 30 ka (GASPERI & PIZZIOLO, in stampa), anche se la possibile correlazione con un orizzonte grossolano presente nell'Appennino bolognese fa supporre una età della base non più antica di 20-23 ka (AMOROSI et al., 1996).

Nella pianura emiliana, la sedimentazione tardo-

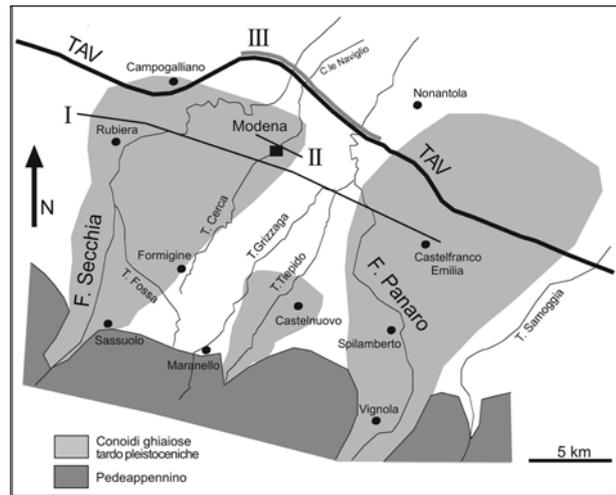


Fig. 1 - Idrografia principale dell'alta e media pianura modenese e traccia del percorso della linea TAV. E' illustrata la distribuzione dei corpi ghiaiosi che costituiscono le conoidi pedemontane tardo-pleistoceniche dei fiumi Secchia e Panaro e del T. Tiepido (modificata da PELLEGRINI & ZAVATTI, 1979). I = sezione geologica di Fig. 4; II = sezione geologica di Fig. 5; III = sezione geologica di Fig. 6.

Schematic hydrography of the Modena alluvial plain crossed by the new high speed train tract (TAV). The Late Pleistocene piedmont gravel fans of the Secchia, Panaro and Tiepido streams are illustrated (modified from PELLEGRINI & ZAVATTI 1979). I = geological section of Fig. 4; II = geological section of Fig. 5; III = geological section of Fig. 6.

Unità stratigrafiche		Età	Scala cronost. (Ma)
Quaternario continentale	A0	~ 15-20 ka	Pleistocene sup. e Olocene 0,125
	A1		
	A2	~ 120 ka	
	A3		
	A4		
Sintema emiliano-romagnolo superiore		~ 350-450 ka	Pleistocene medio
Sintema emiliano-romagnolo inferiore			
Quaternario marino	Formazione delle Sabbie Gialle o Sabbie di Imola	~ 650 ka	

Fig. 2 - Schema stratigrafico dei depositi continentali quaternari della pianura emiliano-romagnola (modificata da REGIONE-EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998; GASPERI & PIZZIOLO, in stampa). Le sigle A0-4 si riferiscono alle unità idrostratigrafiche distinte in REGIONE-EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998).

Stratigraphic sketch of the Quaternary continental deposits in the Emilia Romagna plain (modified from REGIONE-EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998; GASPERI & PIZZIOLO, in press). The abbreviations A0-4 refer to the hydrostratigraphic units of REGIONE-EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998).

pleistocenica ed olocenica è rappresentata da depositi di piana alluvionale (Subsistema di Ravenna), ad esclusione delle aree prossime al margine appenninico, dove sono presenti corpi ghiaioso-sabbiosi (depositi di canali intrecciati, Fig. 3).

Nella media pianura modenese questa unità a limiti inconformi è caratterizzata da una parte inferiore, tra 15 ed 25 m di profondità dal piano campagna, ricca di materia organica (depositi di palude o di piana alluvionale mal drenata) con una età radiometrica tra 15 e 10 ka (GASPERI & PIZZIOLLO, in stampa). Un altro orizzonte ricco di materia organica, si rinviene al di sopra del precedente, tra 7,5 e 11 m di profondità ed ha fornito età radiometriche intorno a 4 ka.

Gli scavi e le perforazioni eseguite nell'area cittadina hanno documentato la presenza entro il Subsistema di Ravenna di una unità stratigrafica superiore (unità di Modena) costituita dai sedimenti alluvionali pelitici depositi dopo l'età romana, ed in prevalenza durante la crisi climatica databile all'alto medioevo (Fig. 3). L'unità, potente 5-8 m si sovrappone ad una superficie pedogenetica poco sviluppata e si ritiene sia stata prodotta dalle esondazioni di un corso d'acqua minore (T. Fossa-Cerca o Formigine) che scorreva nei pressi della città in epoca storica (GASPERI *et al.*, 1989; CREMASCHI & GASPERI, 1989; FAZZINI & GASPERI, 1996; GASPERI & PIZZIOLLO, in stampa).

Nelle zone a nord di Modena, l'identificazione delle unità a limiti inconformi precedentemente citate risulta più difficile a causa della mancanza di orizzonti ghiaiosi correlabili a quelli della media ed alta pianura. I profili geologici trasversali lungo la media pianura modenese attualmente disponibili sono illustrati in Fig. 4 e 5. Dal loro esame è possibile determinare l'orizzonte ghiaioso corrispondente all'unità di Vignola e separarlo dai depositi sovrastanti dove le ghiaie passano alle alternanze di sabbie e limi del Subsistema di Ravenna. Come si evince dalla estensione delle conoidi ghiaiose tardo-pleistoceniche (Fig. 1), le ghiaie presenti nel sottosuolo cittadino sono probabilmente attribuibili al F. Secchia. Solo un corso d'acqua con un considerevole bacino idrografico e con una efficienza di trasporto elevata può infatti aver trasportato depositi ghiaiosi fino a molti chilometri oltre lo sbocco vallivo. Più a nord gli episodi grossolani non sono presenti e l'intero record stratigrafico è dominato da depositi pelitici di piana alluvionale (Fig. 6).

2.1. Un nuovo profilo trasversale: il tracciato TAV

L'esecuzione dei sondaggi penetrometrici ed i carotaggi per la realizzazione della linea ferroviaria ad alta velocità Milano-Bologna, alcuni chilometri a nord di Modena, ha permesso di acquisire un nuovo profilo stratigrafico che si spinge fino a 40-50 m di profondità dal piano campagna, orientato trasversalmente alla direzione dei corsi d'acqua appenninici (Fig. 1 e 7) (VALLONI *et al.*, 2003).

Dal profilo si può osservare come la sezione stratigrafica sia grosso modo suddivisibile in due parti. Nei primi 25-30 m della sezione, i corpi sabbiosi sono rari e discontinui, suggerendo una correlazione con i depositi limosi e sabbiosi sovrastanti le ghiaie dell'unità di Vignola, (Pleistocene sommitale e dell'Olocene del Subsistema di Ravenna). A conferma di ciò, sono dispo-

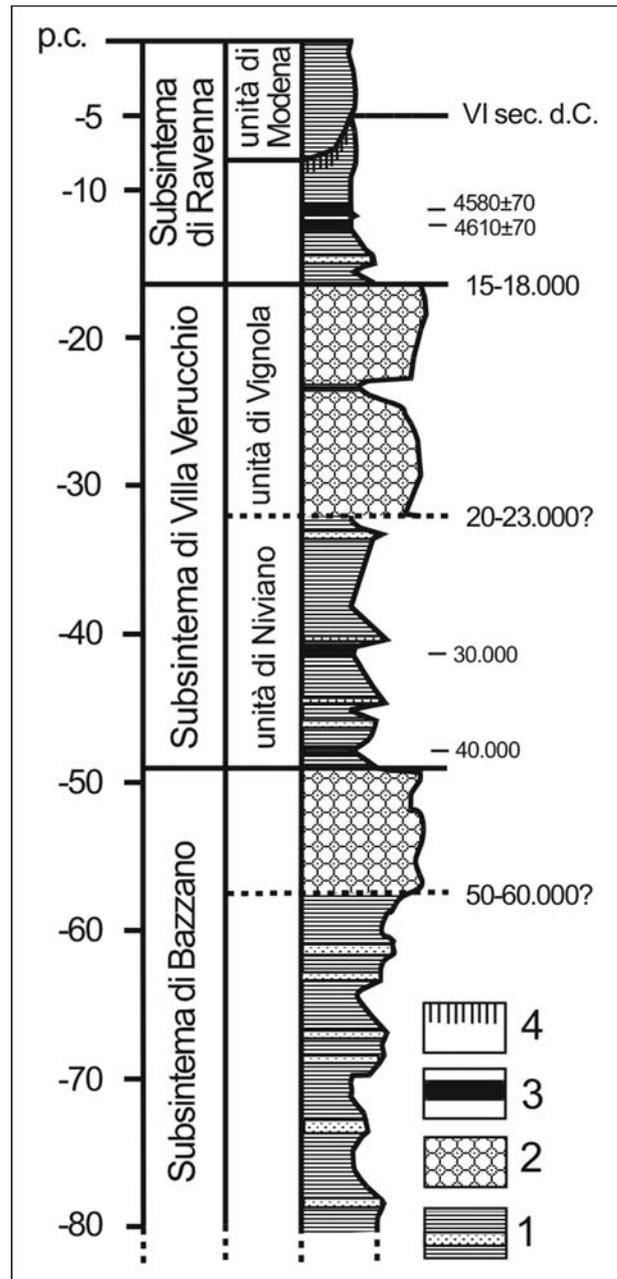


Fig. 3 - Colonna stratigrafica schematica del sottosuolo nel centro urbano di Modena secondo i dati di CREMASCHI & GASPERI (1989) e GASPERI & PIZZIOLLO (in stampa). Legenda: 1) peliti prevalenti con orizzonti sabbiosi; 2) corpi ghiaioso-sabbiosi; 3) livelli con resti organici; 4) orizzonte pedogenizzato.

Schematic stratigraphic column of the Modena urban area (data from CREMASCHI & GASPERI 1989 and GASPERI & PIZZIOLLO, in press). Legend: 1) pelites with sand horizons; 2) grave-sand bodies; 3) organics-rich layers; 4) pedogenetic horizons.

nibili due datazioni radiometriche di un livello continuo di torbe rinvenuto nella parte basale di questa unità più superficiale. Le datazioni sono state eseguite su campioni ubicati esternamente all'area studiata (BAIO, comunicazione personale) e hanno fornito un'età di 11,8 e 11,2 ka. Tali età radiometriche consentono anche di correlare questo orizzonte pelitico con l'unità sommitale distinta nella pianura ad est del F. Reno (unità B2:

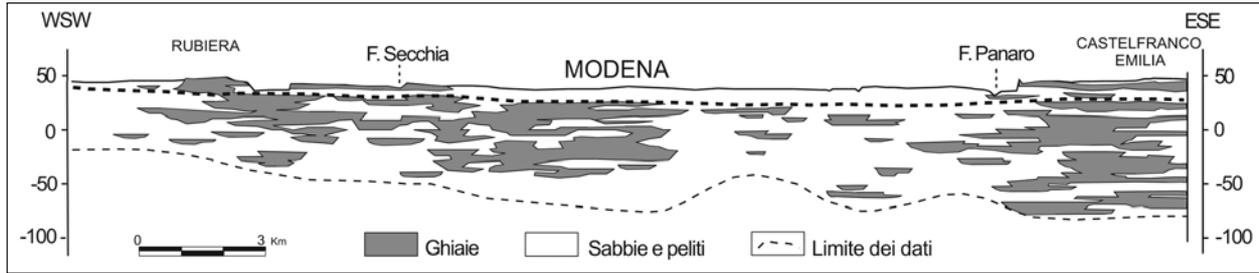


Fig. 4 - Sezione geologica trasversale alla pianura modenese passante a sud del centro urbano che evidenzia la distribuzione in profondità dei corpi ghiaiosi (da GASPERI *et al.*, 1989). La linea tratteggiata in grassetto divide la parte superiore, con scarsi corpi ghiaiosi (Subsistema di Ravenna) da quella inferiore, caratterizzata da un notevole sviluppo di depositi grossolani. La linea tratteggiata inferiore rappresenta il limite dei dati.

Geological section transversal to the Modena plain showing the distribution of the gravel bodies at depth, south of the urban area (from GASPERI *et al.*, 1989). The hatched thick line separates the upper gravel-poor portion (Ravenna Subsystem) from the lower gravel-rich part. The lower hatched line mark the data limit.

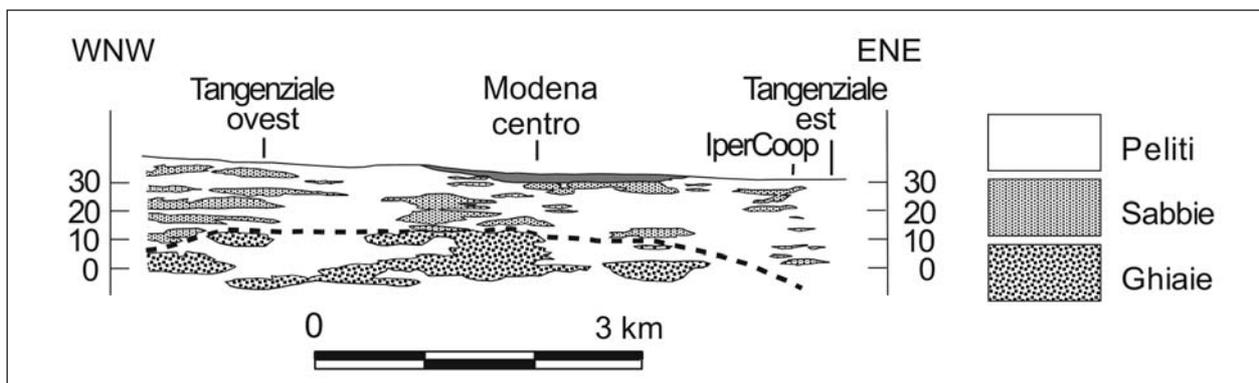


Fig. 5 - Sezione geologica attraverso l'area urbana di Modena (a nord della Via Emilia) nella quale è evidenziata (linea tratteggiata) il limite tra la porzione superiore costituita da peliti e corpi sabbiosi discontinui (Subsistema di Ravenna) e la porzione sottostante ricca in corpi ghiaioso-sabbiosi (unità di Vignola). In corrispondenza del centro cittadino è evidenziata l'unità di Modena (puntinato) con depositi di epoca post-romana (modificata da FAZZINI & GASPERI, 1996).

Geological section along the Modena urban area (north of Via Emilia) showing the limit (hatched line) between the upper gravel-poor portion (Ravenna Subsystem) and the lower gravel-rich part (Vignola unit). Below the urban area is present the Modena unit (dotted), characterized by post-Roman age deposits (modified from FAZZINI & GASPERI, 1996).

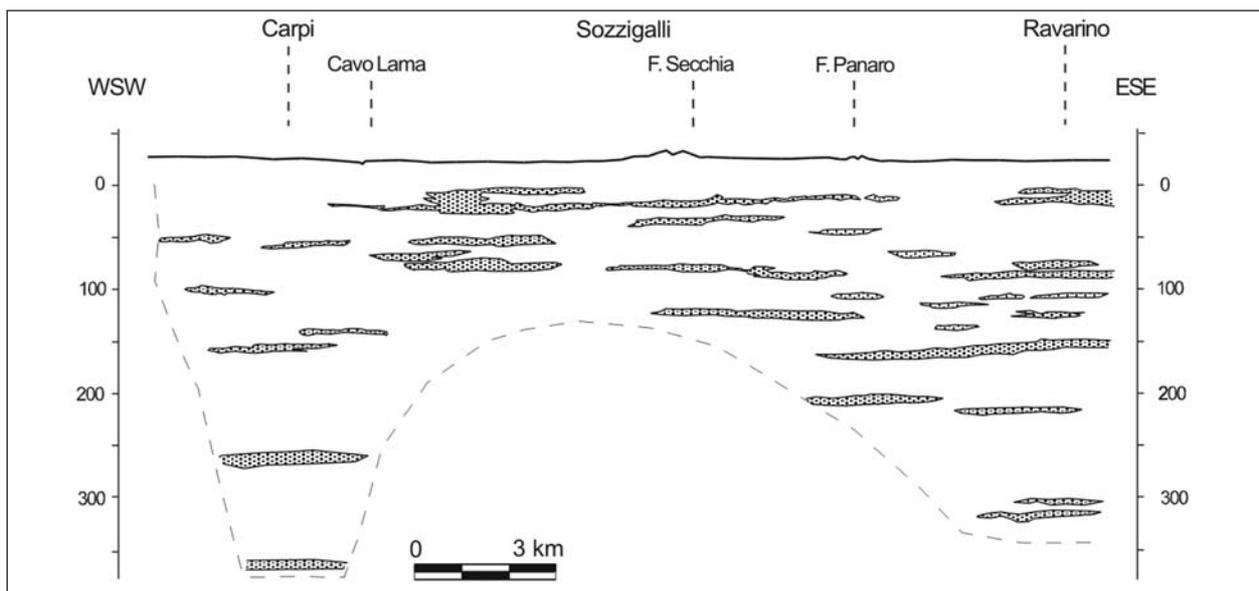


Fig. 6 - Sezione stratigrafica trasversale della pianura modenese all'altezza di Carpi e Ravarino. La sezione è ubicata circa 7 km a nord del tracciato della linea TAV. Sono messi in evidenza i rari e discontinui corpi sabbiosi intercalati a peliti (da: GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE DELLA PIANURA PADANA, 1979).

Geological section transversal to the Modena plain near Carpi and Ravarino. The section is located about 7 km north of the TAV track. Notice the rare and discontinuous sand bodies intercalated into the pelites (from GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE DELLA PIANURA PADANA, 1979).

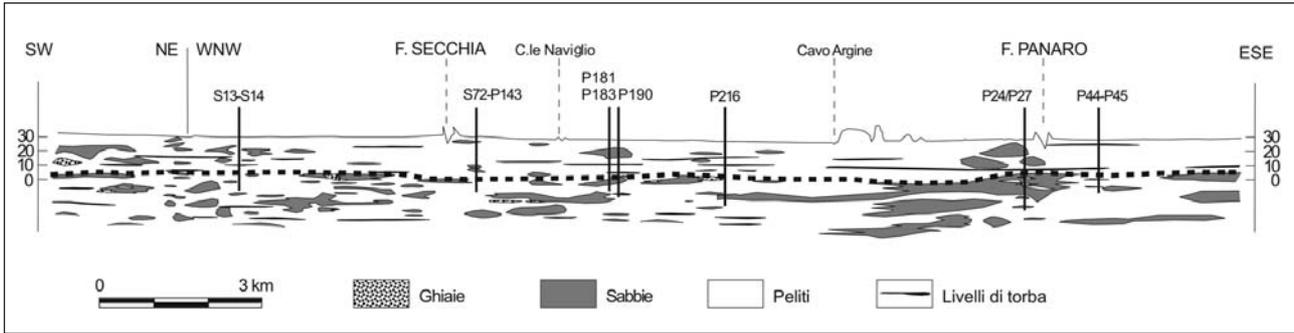


Fig. 7 - Sezione stratigrafica lungo il tracciato della linea TAV (modificata da VALLONI *et al.*, 2003). La linea tratteggiata indica il limite fra la porzione superiore (Subsistema di Ravenna) e la porzione sottostante (unità di Vignola), Sono indicate le perforazioni dalle quali sono stati prelevati i campioni di sabbie analizzati.

*Geological section along the TAV track (modified from VALLONI *et al.*, 2003). The hatched line shows the limit between the upper Ravenna Subsystem and the lower Vignola unit. The sampled wells are also shown.*

AMOROSI *et al.*, 1996).

VALLONI *et al.* (2003) collegano i livelli torbosi con età di circa 12 ka, alla fase di disattivazione delle conoidi fluviali legato alla trasgressione Flandriana. Ulteriori dati cronologici potranno provenire dalle indagini su alcuni campioni di materia organica da noi prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi.

Lungo il profilo corrispondente alla linea TAV, l'orizzonte sottostante 25-30 m di profondità è più ricco di corpi sabbiosi e può essere correlato con l'unità di Vignola (Fig. 7).

Tra le due porzioni dovrebbe essere presente una superficie di discontinuità corrispondente ad una prolungata interruzione della sedimentazione posteriore alla fase di costruzione delle conoidi pedemontane; la sezione studiata ne rappresenta l'area esterna, di transizione alla vera e propria pianura alluvionale. La deposizione delle conoidi si sviluppò, come accennato, durante o subito dopo l'ultima fase glaciale tardo-pleistocenica, od in corrispondenza di una fase particolarmente intensa di sollevamento della catena, come suggerito dalle ricerche in aree adiacenti (AMOROSI *et al.*, 1996).

La possibilità di prelevare campioni di sabbie durante l'esecuzione dei lavori di perforazione per la linea ferroviaria ha fornito un nuovo strumento indipendente di verifica del quadro stratigrafico e del modello interpretativo di riferimento. L'analisi composizionale può permettere infatti di verificare, anche lungo una trasversale più distale e meno definita dal punto di vista litologico se, come ipotizzato per il sottosuolo dell'area urbana, i depositi alluvionali appartenenti all'unità di Vignola e quelli sovrastanti di pertinenza del Subsistema di Ravenna, presentino un'alimentazione dovuta a differenti apparati fluviali. Gli orizzonti sabbiosi infatti, diversamente da quelli pelitici che derivano da esondazioni che interessano potenzialmente vasti tratti di pianura, sono legati a forme ed ambienti deposizionali strettamente connessi all'alveo fluviale (barre di canale, barre di meandro, depositi di argine, depositi di rotta) e dunque possono documentare le divagazioni spaziali e temporali di singoli corsi d'acqua. Questa possibilità di verifica presuppone che vi sia stata, almeno durante il Pleistocene sommitale e l'Olocene, una sostanziale stabilità nel segnale composizionale relativo ai vari corsi d'acqua.

3. COMPOSIZIONE DEI SEDIMENTI SABBIOSI NELLE PERFORAZIONI TAV

3.1. Metodi

Le perforazioni effettuate lungo il tratto modenese del tracciato ferroviario ad Alta Velocità hanno fornito numerosi campioni di sabbie prelevate in profondità fino a 40-50 m dal piano campagna. Le perforazioni realizzate per il tracciato TAV hanno attraversato prevalentemente sedimenti pelitici con intercalazioni sabbiose di modesta entità, per un intervallo temporale che presumibilmente copre il Pleistocene sommitale e l'Olocene. Per il presente studio sono stati presi in esame 28 campioni di sabbie prelevati da 6 perforazioni nella porzione del tracciato TAV che corre tra i fiumi Secchia e Panaro, a nord dell'abitato di Modena, per uno sviluppo complessivo di 5,5 km (Fig. 8, 9).

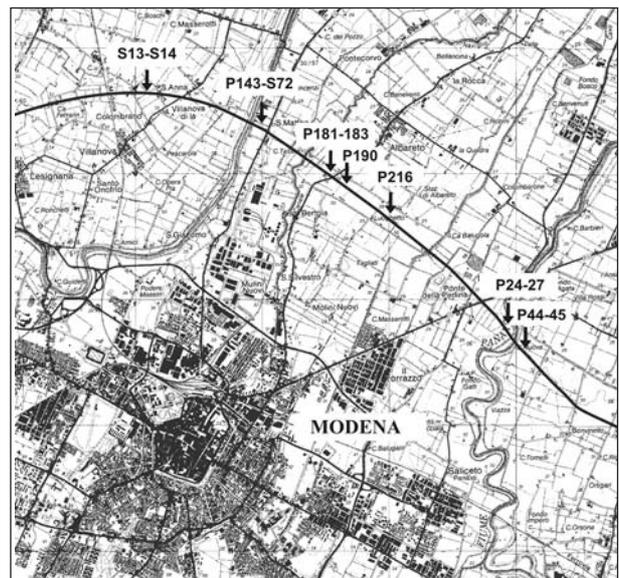


Fig. 8 - Ubicazione delle perforazioni studiate lungo il tracciato ferroviario ad Alta Velocità.

Location of studied wells along the new high speed train tract (TAV).

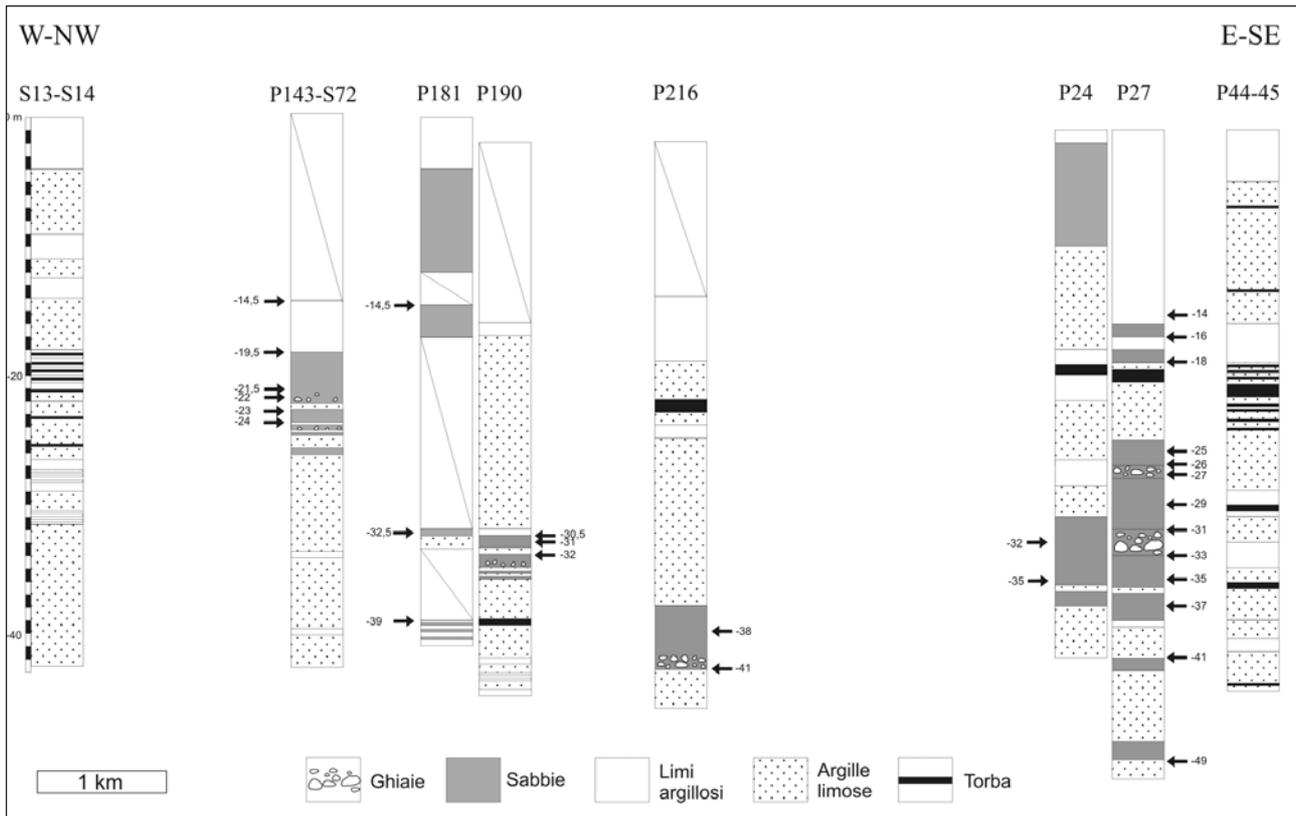


Fig. 9 - Stratigrafie delle perforazioni TAV esaminate (non in scala). Le frecce indicano i campioni di sabbie analizzati.
Stratigraphic columns of the studied wells along the TAV track (not to scale). Arrows point to the analyzed sand samples.

La frazione sabbiosa di tali campioni è stata separata nei diversi intervalli granulometrici mediante setacciatura. La frazione fine (0,250-0,125 mm) è stata impregnata attraverso resina epossidica per la realizzazione di sezioni sottili, colorate per il riconoscimento dei feldspati (HOUGHTON, 1980).

Sulle sezioni è stata condotta l'analisi modale al microscopio ottico mediante conteggio di circa 300 granuli, secondo la metodologia GAZZI-ZUFFA (GAZZI, 1966; DICKINSON, 1970; ZUFFA, 1985), che permette di calcolare, partendo dai dati ottenuti, i vari parametri dei principali diagrammi classificativi proposti in letteratura. Lo schema classificativo utilizzato (CIBIN & DI GIULIO, 1996), mostrato in Tab.1, comprende anche componenti intrabacinali e antropici, quali laterizi, bioclasti penecontemporanei e concrezioni carbonatiche diagenetiche, esclusi in fase di elaborazione dei dati in quanto non diagnostici della provenienza dei sedimenti fluviali.

L'errore che viene compiuto utilizzando il conteggio al tavolino integratore di 300 granuli corrisponde a $2\sigma = 2\%$ per un componente presente al 5% ($5\% \pm 2$) al 95% di confidenza. Un componente presente al 50% è invece caratterizzato da $2\sigma = 5,7\%$ ($50\% \pm 5,7$) al 95% di confidenza (HOWARTH, 1998). Per semplicità di lettura tali errori non sono riportati nei diagrammi classificativi presentati.

3.2. Risultati

I risultati composizionali ottenuti dai conteggi al

tavolino integratore sono stati confrontati con i dati ottenuti da LUGLI *et al.* (2003) sulle sabbie oloceniche e attuali dei corsi d'acqua che solcano il territorio modenese (Secchia, Panaro, Tiepido, Grizzaga e Cerca) e sono sintetizzati nella Tabella 1 e in Fig. 10 e 11.

L'analisi dei sedimenti fluviali attuali ha evidenziato campi composizionali distinti per i diversi fiumi, sulla base del contenuto in quarzo, feldspati, litici carbonatici e ofiolitici. In particolare il sistema fluviale Secchia-Grizzaga-Cerca mostra al suo interno una certa affinità e registra la prevalenza della componente silicoclastica su quella carbonatica terrigena. I depositi dei fiumi Panaro e Tiepido registrano invece prevalenza dei litotipi carbonatici all'interno della frazione terrigena.

La maggior parte dei campioni analizzati in questo lavoro provenienti dai sondaggi TAV mostra composizioni affini a quelle caratteristiche dei corsi d'acqua Cerca e Grizzaga, mentre soltanto tre campioni risultano simili a quelli del fiume Panaro e nessuno a quelli del fiume Secchia (Fig. 10 e 11).

Più in dettaglio, i campioni analizzati possono essere suddivisi in due gruppi principali: quelli al di sopra e quelli al di sotto dei livelli di torba riferibili ad una età di circa 12 ka (sensu VALLONI *et al.*, 2003) posta a circa 19-20 m dal piano campagna. Nei diagrammi ternari Q+F-Carb-Litici la maggior parte dei campioni presenti al di sopra dei livelli di torba mostra composizioni affini a quelle caratteristiche del Torrente Cerca (Fig. 10).

La quasi totalità dei campioni con età maggiore di

12 ka (Fig. 11) non ricade all'interno dei campi composizionali individuati per i corsi d'acqua attuali, ma si allinea in posizione intermedia rispetto ai campi composizionali del Grizzaga, del Secchia e dell'Unità di Vignola

(Pleistocene Sup.). Come si può notare nella Tab. 1, tali campioni sono caratterizzati da un contenuto in granuli feldspatici (13,5-30,8 %) maggiore rispetto a quelli dei corsi d'acqua attuali (6,9-21,3 %).

Fig. 10 - Composizione dei campioni prelevati nelle perforazioni TAV con età minore di 10-12 ka. Nel diagramma sono indicati i campi composizionali delle sabbie attuali e recenti (Neolitico) dei corsi d'acqua modenesi.

Composition of samples from TAV wells with an age younger than 10-12 kyr. The diagram shows also the compositional fields of modern and recent (Neolithic) sands of the Modena plain streams.

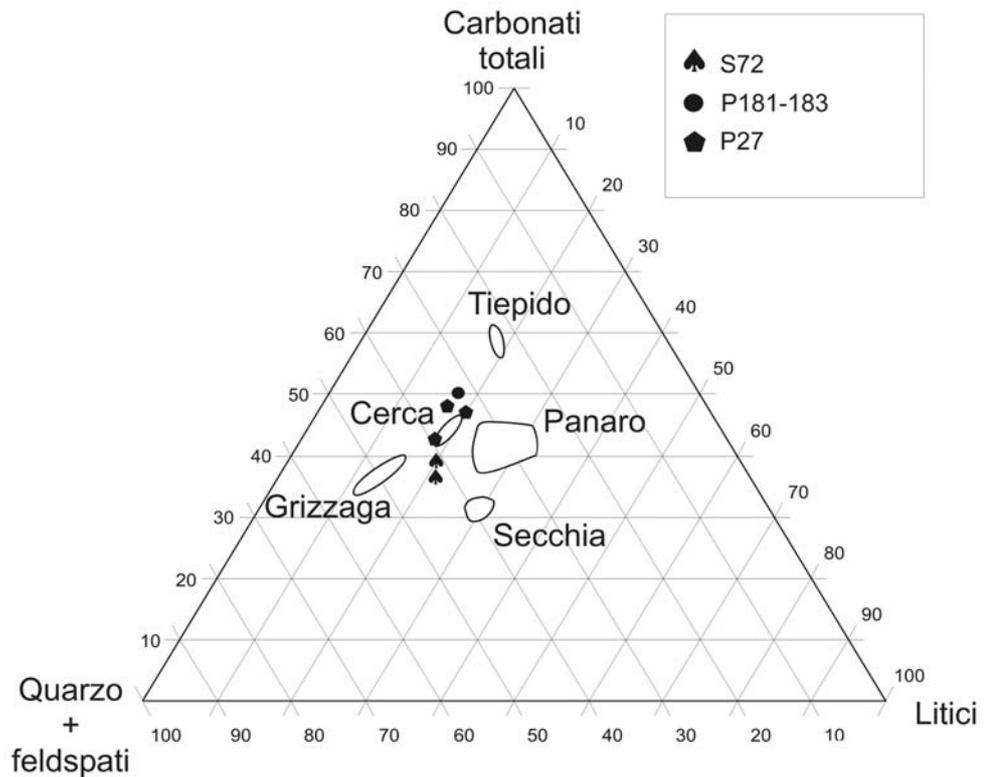
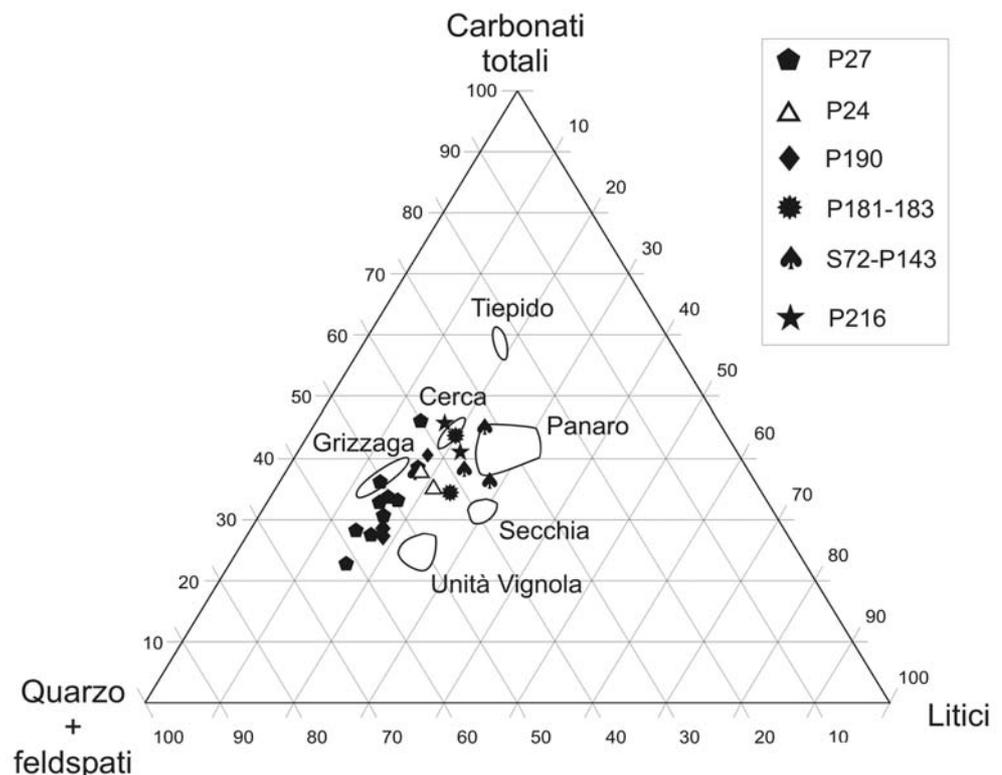


Fig. 11 - Composizione dei campioni prelevati nelle perforazioni TAV con età maggiore di 10-12 ka. Nel diagramma sono indicati i campi composizionali delle sabbie attuali e recenti (Neolitico) dei corsi d'acqua modenesi e dell'unità di Vignola (Pleistocene Sup., presso Formigine).

Composition of samples from TAV wells with an age older than 10-12 kyr. The diagram shows also the compositional fields of modern and recent (Neolithic) sands of the Modena plain streams and of the Vignola unit (Late Pleistocene, close to Formigine).



3.3. Discussione dei dati composizionali

I dati composizionali suggeriscono che l'alluvionamento recente della media pianura modenese, di età inferiore a circa 12 ka, sia stato prevalentemente effettuato dai corsi d'acqua minori, mentre i fiumi maggiori, Secchia e Panaro, probabilmente contribuivano alla sedimentazione attraverso deposizione di sedimenti fini. Il rinvenimento di sabbie non attribuibili ai due fiumi maggiori nel sottosuolo in prossimità del loro attuale letto sembra confermare l'ipotesi che i traccianti del Secchia e Panaro abbiano iniziato a convergere nella zona a nord della città soltanto in epoca piuttosto recente, come evidenziato dalla distribuzione delle tracce dei paleovalvei ancora visibili in superficie (GASPERI & PIZZIOLLO, in stampa).

Altro dato significativo riguarda il Torrente Tiepido le cui sabbie presentano una composizione del tutto caratteristica e che non sono state identificate nel sottosuolo della media pianura. L'ipotesi più probabile è che anche in passato, così come oggi, esso confluisse nel Panaro a monte dell'area esaminata.

I campioni prelevati al di sotto dei livelli torbosi riferibili ad un'età di circa 12 ka evidenziano una situazione complessa. Le sabbie hanno una composizione particolare, spostata verso il vertice quarzo-feldspati, che non ha corrispondenza con le petrofacies individuate per le sabbie oloceniche e attuali dei corsi d'acqua modenesi. In particolare, come evidenziato in precedenza, le sabbie risultano arricchite in feldspati. La spiegazione di tale composizione non è semplice. Queste sabbie appartengono probabilmente ad un ciclo sedimentario più antico rispetto a quello per il quale è stata dimostrata la validità del nostro schema interpretativo, basato sulla composizione dei sedimenti olocenici ed attuali (LUGLI *et al.*, 2003).

Le differenze composizionali riscontrate possono essere indotte da variazioni nella natura dei litotipi affioranti nel bacino di alimentazione, e potrebbero essere collegate all'erosione di successioni terrigene a composizione francamente arcocosa, come quelle presenti in successioni torbidity del Cretaceo superiore di unità Liguri interne, o ad unità epiliguri ricche in feldspati. L'erosione di porzioni di formazioni geologiche di composizione diversa rispetto a quelle attualmente affioranti potrebbe inoltre essere il risultato di variazioni nello sviluppo ed estensione del reticolo idrografico.

La variazione composizionale dei sedimenti trasportati dai corsi d'acqua potrebbe essere imputata a mutamenti climatici legati ai cicli glaciale-interglaciale in grado di indurre variazioni nell'entità e modalità dei fenomeni di alterazione ed erosione del substrato (effetto climatico). La presenza nelle sabbie in esame di feldspati facilmente alterabili, sembra però escludere tale ipotesi.

Altro fattore che può aver contribuito alla differenziazione composizionale riscontrata nei sedimenti depositi intorno a 10-12 ka sono le alterazioni diagenetiche, che potrebbero aver in parte modificato i granuli di sabbia in condizioni di seppellimento. Tali effetti però non hanno modificato in misura importante i sedimenti fluviali olocenici (LUGLI *et al.*, 2003). I fenomeni diagenetici nelle sabbie oloceniche consistono infatti prevalentemente nella formazione di concrezioni carbonatiche, e non possono quindi essere responsabili di arricchimenti in feldspati, minerali ritenuti particolarmente labili in tali

condizioni diagenetiche.

Non ultimo, il riciclo di successioni sedimentarie più antiche potrebbe aver contribuito alla produzione di sedimenti a composizione diversa rispetto a quelli oggi depositi. Tali fenomeni di riciclo dovevano comunque coinvolgere sedimenti caratterizzati da un contenuto in feldspati maggiore di quello attuale.

Come si evince dalla distribuzione dei campioni in Figura 11, è probabile che le sabbie più antiche di 10-12 ka siano state deposte da corsi d'acqua minori quali il Cerca, ma soprattutto il Grizzaga, che re-incidevano sedimenti più antichi a composizione analoga a quella dell'Unità di Vignola.

Le differenze composizionali osservate tra la porzione superiore e quella inferiore della successione studiata indicano cambiamenti drastici nel contesto geografico, ambientale e deposizionale, avvalorando l'ipotesi che una significativa discontinuità stratigrafica tra le due porzioni.

4. CONCLUSIONI

Le perforazioni TAV hanno permesso di evidenziare come la sedimentazione fluviale nella media pianura modenese sia drasticamente mutata a partire da circa 10-12 ka.

La composizione dei sedimenti sabbiosi più recenti sembra ricalcare quella dei corsi d'acqua minori che attraversano oggi la pianura nel tratto compreso tra i fiumi Secchia e Panaro. I sedimenti sabbiosi più antichi di circa 10-12 ka presentano invece composizioni diverse, arricchite in feldspati.

Queste differenze composizionali possono riferirsi a combinazioni di vari fattori quali: a) variazioni nella litologia del substrato per fenomeni tettonici e/o per variazioni nello sviluppo del reticolo idrografico, b) fenomeni di riciclo di sedimenti fluviali antichi. L'arricchimento in feldspati che caratterizza queste sabbie rende improbabili effetti di alterazione per variazioni climatiche e/o modificazioni diagenetiche post-deposizionali.

I dati composizionali acquisiti, la distribuzione dei sedimenti sabbiosi lungo la sezione studiata ed il confronto con le stratigrafie oloceniche e tardo-pleistoceniche in settori più prossimali (area urbana di Modena e alta pianura) suggeriscono che tra i sedimenti tardo-pleistocenici e quelli olocenici sia presente una significativa discontinuità stratigrafica di importanza regionale.

I nuovi dati composizionali in corso di acquisizione e le datazioni assolute attualmente in via di realizzazione permetteranno di ottenere nuove informazioni utili per interpretare l'evoluzione spaziale e temporale dei corpi fluviali nel sottosuolo della pianura modenese.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro non sarebbe stato possibile senza la disponibilità delle ditte operanti nei cantieri della TAV. Un ringraziamento al consorzio Cepav Uno e in particolare a Maria De Vita per la gentilezza e la disponibilità dimostrata. Un ringraziamento a Mariangelo Baio e Renzo Valloni per le preziose informazioni e il diretto aiuto sul terreno.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AMOROSI A. & FARINA M. (1994) - *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**, pp. 35-54.
- AMOROSI A. & FARINA M. (1995) - *Large-scale architecture of a thrust-related alluvial complex from subsurface data: the Quaternary succession of the Po Basin in the Bologna area (northern Italy)* - *Giorn. di Geol.*, ser. 3, **57** (1/2), pp. 3-16.
- AMOROSI A., FARINA M., SEVERI P., PRETI D., CAPORALE L. & DI DIO G. (1996) - *Genetically related alluvial deposits across active fault zones: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy* - *Sedim. Geol.*, **102**, pp. 275-295.
- CIBIN U. & DI GIULIO A. (1996) - *Proposta per l'analisi microscopica della composizione delle areniti nell'ambito della Carta Geologica d'Italia* - *Boll. Serv. Geol. D'Italia*, **CXV**, pp. 87-98.
- CREMASCHI M. & GASPERI G. (1989) - *L'alluvione alto medioevale di Mutina (Modena) in rapporto alle variazioni ambientali oloceniche* - *Mem. Soc. Geol. It.*, **42**, pp.179-190.
- DICKINSON W.R. (1970) - *Interpreting detrital modes of graywacke and arkose* - *Journ. Sedim. Petrology*, **40**, pp. 695-707.
- FAZZINI P. & GASPERI G. (1996) - *Il sottosuolo della città di Modena* - *Accad. Naz. Sci. Lett. Arti di Modena Miscellanea Geologica*, **15**, pp. 41-54.
- 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**, pp. 375-431.
- GASPERI G. & PIZZOLO M. (in stampa) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000. Foglio 201 "Modena"* - Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico d'Italia.
- GAZZI P. (1966) - *Le arenarie del flysh sopracretaceo dell'Appennino modenese; correlazioni con il Flysh di Monghidoro* - *Miner. Petrogr. Acta*, **12**, pp. 69-97.
- HOUGHTON H.F. (1980) - *Refined techniques for staining plagioclase and alkali feldspars in thin section* - *Journ. Sedim. Petrology*, **50**, pp. 629-631.
- HOWARTH R.J. (1998) - *Improved estimators of uncertainty in proportions, point-counting and pass-fail test results* - *Am. Journ. of Science*, **298**, pp. 594-607.
- LUGLI S., MARCHETTI DORI S. & FONTANA D. (2003) - *Composition of fluvial sands as a tool to unravel the recent sedimentation history of the Modena plain (northern Italy)* - Abstract: 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatjia (Croatia), 17-19 September 2003, Abstracts Book, p. 11.
- 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.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della regione Emilia-Romagna* - (A cura di Di Dio G.). S.EL.CA. (Firenze) pp. 120.
- VALLONI R., BAIO M. & BEDULLI F. (2003) - *Architettura deposizionale del Pleistocene superiore nel sottosuolo della media pianura emiliana* - Riassunti Convegno FIST Geitalia 2003, Bellaria, 16-18 settembre 2003, pp.125-127. Media Print, Livorno.
- ZUFFA G.G. (1985) - *Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results* - In (a cura di G.G. Zuffa) "Provenance of arenites". Nato ASI series, Reidel Publishing Company, **148**, pp. 165-189.

Ms. ricevuto l'11 maggio 2004
 Testo definitivo ricevuto il 18 agosto 2004

Ms. received: May 11, 2004
 Final text received: August 18, 2004