

STRUTTURA FISICA DELLA CONOIDE ALLUVIONALE GIGANTE DEL FIUME TARO E RICARICA DEGLI ACQUIFERI DELLA PIANURA PARMENSE

Franco Bedulli & Renzo Valloni

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Parma
Parco Area delle Scienze 157A, 43100 Parma
bedulli@nemo.unipr.it, valloni@unipr.it

RIASSUNTO: Bedulli F. & Valloni R., *Struttura fisica della conoide alluvionale gigante del fiume Taro e ricarica degli acquiferi della pianura parmense*. (IT ISSN 0394-3356, 2004).

I nuovi dati geognostici e stratigrafici di dettaglio raccolti negli ultimi anni hanno consentito di realizzare numerose sezioni geologiche atte a definire la struttura fisica d'insieme della conoide del fiume Taro, il suo scheletro sedimentario e le modalità di ricarica degli acquiferi della pianura di Parma.

L'apparato di conoide è stato diviso in tre settori a struttura fisica nettamente diversa, detti di valle, margine e pianura, con dimensione assiale rispettivamente di 8, 7 e 15 km. I settori di margine e pianura sono separati dalla struttura positiva sepolta di Madregolo che controlla la circolazione sotterranea con una soglia imposta a circa -70 m dal p.c.

Nel settore di pianura si sviluppa un enorme corpo grossolano di sottosuolo, detto anche Conoide Gigante, con estensione radiale di 15 km e dimensione trasversale massima di quasi 20 km, che giace su un'estesa barriera di permeabilità con tetto a 180.000 anni fa. Il controllo tettonico esercitato dai thrust frontali sepolti della catena è a sua volta modulato dal fattore climatico. Le principali unità grossolane del corpo di conoide (interpretate come deposte negli stadiali) e le interposte coperture fini (interpretate come deposte negli interglaciali e interstadiali) sono state attribuite agli Stadi Isotopici marini 1-6 della letteratura.

L'alto strutturale di Madregolo influenza grandemente le geometrie deposizionali del sottosuolo. Sul suo fronte si produce la progressiva espansione del corpo di conoide. Sul suo dorso gli acquiferi risultano saldati fra loro a costituire un grande serbatoio che comunica lungostrato con gli acquiferi in pressione posti più all'esterno. La Conoide Gigante del fiume Taro è compartimentata da tre barriere di permeabilità principali che assumono una relativa continuità solo a valle della Via Emilia e che sulla verticale dell'autostrada A1 vengono intercettate a -40, -80 e -130 metri dal p.c.

ABSTRACT: Bedulli F. & Valloni R., *Physical structure of the Taro River giant alluvial fan and Parma plain aquifer recharge*. (IT ISSN 0394-3356, 2004).

Using a large set of stratigraphic data, numerous cross-sections of the southern margin of the Parma alluvial plain were drawn; they allowed the recognition of the architecture of the Taro alluvial fan and the water flow pattern from the surface to the unconfined and confined aquifers.

The middle (Medesano-Madregolo) and outer portion of the alluvial fan system are separated by an anticline, named Madregolo high, which controls the groundflow pattern with its impermeable basement uplifted at about -70 m from ground level. In its outer portion the fan has giant dimensions extending up to 15 km axially and up to 20 km normally to the depositional strike.

The sedimentation of the Middle-Late Pleistocene alluvium is strongly related to climatic changes. General and local evidence permit the assignment of the tens of meter thick coarse fluvial deposits to cold (glacial) periods and of the meters thick fine alluvium to warm (interglacial) periods.

The base of the alluvial fan rests on a laterally continuous confining layer dated 180.000 yr BP. At the intersection Taro River - Autostrada A1 this layer is encountered at -130 m from ground level; confining layers of lesser importance, internal to the alluvial fan body, are encountered at -40 and -80 m from ground level.

In front of the Madregolo high the coarse sedimentary units (aquifers) of the alluvial fan body are amalgamated. Northwards these aquifers expand in thickness and are put under pressure by the intervening confining layers. This indicates that the groundwater flow pattern is from the front of the Madregolo high northwards into the unconfined and confined aquifers of the thickest part of the fan.

Parole chiave: Pleistocene superiore, conoide fiume Taro, idrostratigrafia, ricarica acquifero parmense.

Keywords: Late Pleistocene, Taro Alluvial Fan, Hydrostratigraphy, Aquifer Recharge.

1. INTRODUZIONE

Il sottosuolo della pianura emiliana è caratterizzato da una successione di apparati di conoide alluvionale, di varia estensione, con apice allo sbocco in pianura dei principali fiumi (Idroser SpA, 1977). La conoide del fiume Taro è di gran lunga la più estesa del margine emiliano e per questo ha assunto la denominazione di Conoide Gigante (Valloni *et al.*, 2003).

La presente ricerca ha preso impulso dai recenti

lavori a carattere idrostratigrafico sul sottosuolo padano (RER & ENI-AGIP, 1998; Regione Lombardia & ENI-AGIP, 2002), nei quali le alluvioni quaternarie sono ordinate in Unità Allostratigrafiche padane e poste in relazione ai ben noti cicli astro-climatici del Pleistocene medio-superiore. Il quadro parmense di tali Unità Idrostratigrafiche è analiticamente esposto da Di Dio (2001).

La rappresentatività dell'assetto strutturale della pianura di Parma e l'imponente raccolta di dati di son-

daggio acquisita dagli scriventi negli ultimi anni rendono oggi utile e possibile dettagliare lo studio della ricarica degli acquiferi freatici e le loro connessioni con gli acquiferi in pressione della media e bassa pianura.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La superficie della pianura di Parma approssima una monoclinale immergente a nord-nord-est con pendenza variabile, ovviamente decrescente verso la bassa pianura. La sua porzione sud presenta, in prima approssimazione, pendenze topografiche maggiori del 4,0 per mille dal margine fino alla Via Emilia e del 1,5-4,0 per mille dalla Via Emilia all'autostrada A1 (Tellini, 2001).

Il fiume Taro bagna il territorio a ovest della città di Parma. Il suo bacino imbrifero, pari a 1.368 km² alla chiusura della Via Emilia, risulta molto più grande di quello dei vicini torrenti Baganza e Parma. A Fornovo termina il tratto intramontano del corso d'acqua che poi prosegue verso nord, stretto dai rilievi collinari, ancora per diversi km (Figura 1).

Nel tratto successivo non esiste evidenza morfologica di una conoide alluvionale proporzionata al rango del bacino di drenaggio del fiume Taro. All'altezza di Medesano il fiume scorre con lo stile dei canali intrecciati e con una larghezza dell'alveo attuale superiore al km. All'altezza di Noceto il talweg diventa pensile sulla pianura adiacente, un carattere che si accentua verso valle. Da Noceto fino a valle dell'autostrada A1, in sinistra Taro si riconoscono le tracce di antichi percorsi del fiume, mentre in destra Taro la superficie della pianura è mediamente più bassa di 5 m (Perego, 1994). A partire dall'autostrada A1 il fiume cambia stile iniziando a disegnare meandri (Petrucci *et al.*, 1983).

3. STUDI PRECEDENTI, IMPOSTAZIONE DELLA RICERCA

I corpi acquiferi della pianura di Parma sono stati investigati con particolare intensità a partire dagli anni settanta del secolo scorso. In generale si tratta di studi che soffrono della mancanza di un quadro stratigrafico regionale ed i principali approfondimenti riguardano primariamente gli aspetti idrologici.

Venzo (1973) presenta i grandi tratti della struttura fisica della conoide del F. Taro distinguendo il settore interno (dall'apice di Fornovo alla struttura positiva di Madregolo), ove il substrato marino è posto a bassa profondità, dal settore esterno ove il substrato marino si abbassa fortemente verso settentrione (cf. Figure 2, 3).

Sulla base di un vasto corpo di dati di pozzo, Petrucci *et al.* (1975) descrivono la complessità geometrica del substrato marino e l'andamento "irregolare degli acquiferi" che solo nella bassa pianura risultano sicur-

mente compartimentati (cf. Figura 3).

In Alifracco *et al.* (1992a) è illustrata la geometria del materasso alluvionale controllata dai "corrugamenti del substrato" che determinano una sinclinale interna ed un'anticlinale sull'allineamento Monticelli - Fontevivo (cf. Figure 2, 3).

Petrucci *et al.* (1992) trattano a tutto campo l'idrogeologia della pianura parmense e accertano che la ricarica è dovuta "in via prioritaria alle acque di subalveo" che alimentano le ghiaie dell'alta pianura e che distalmente si connettono ad un "sistema acquifero plurifalda".

In Ferrarazzo *et al.* (1997) sono illustrati i risultati di numerose levate piezometriche ed è determinato il volume dell'acquifero che sormonta il substrato marino, considerato come freatico fino all'altezza della Via Emilia ove, con il progressivo sviluppo di intercalazioni limoso-argillose, ha inizio lo sviluppo di falde semiconfinite.

Gli studi a respiro regionale degli ultimi anni consentono di formulare un nuovo quadro concettuale dell'evoluzione sedimentaria della pianura parmense che comprende il riconoscimento di un'unità di colmamento della pianura (cf. Figura 3), deposta in età pleistocenica terminale ed olocenica (post glaciale), a litologia essenzialmente fine (Severi *et al.*, 2002). La deposizione di tale unità comporta la compensazione topografica della pianura tramite "azioni di aggradazione fluviale" (Marchetti, 2001) con la conseguenza che la conoide alluvionale del fiume Taro manifesta la sua espressione morfologica solo nel sottosuolo.

Le fasi di forte trasporto di sedimenti grossolani da parte dei corsi d'acqua appenninici sono registrate

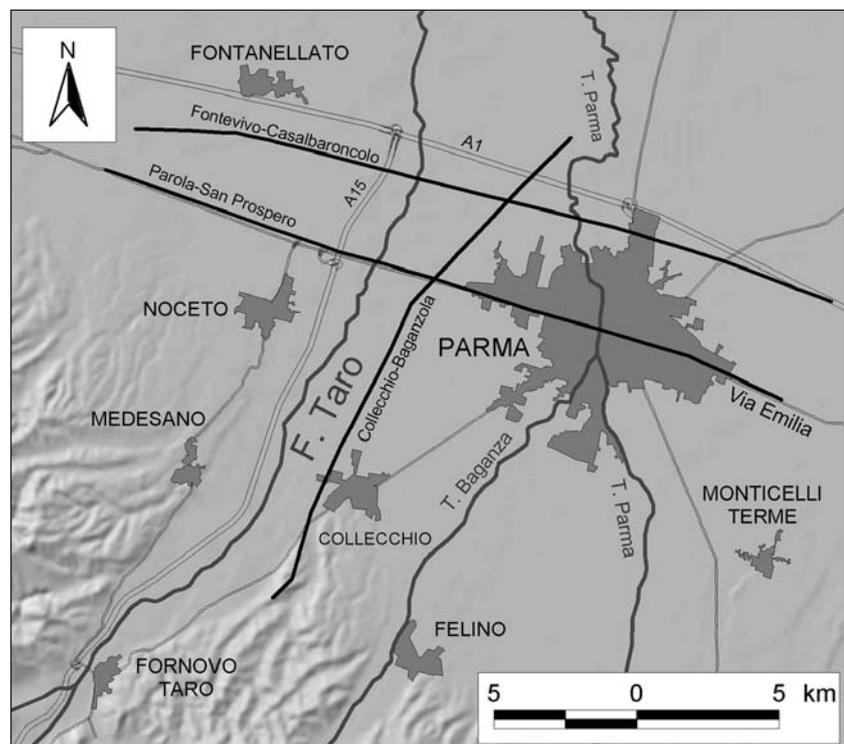


Fig. 1 - Inquadramento geografico dell'area di studio e traccia delle sezioni delle Figure 3 (Collechio-Baganzola), 4 (Parola-San Prospero) e 5 (Fontevivo-Casalbaroncolo).

Geographic setting of the study area and trace of the sections of Figures 3, 4 and 5.

nella struttura fisica dell'edificio di conoide assieme alle fasi di esteso drappeggio della pianura con depositi fini (interglaciali ed interstadiali) che esprimono gli acquitardi più potenti e continui (Amorosi *et al.*, 1996; Di Dio & Valloni, 1997).

Il presente studio si basa su una moltitudine di dati geognostici e stratigrafici di dettaglio che hanno consentito di realizzare numerose sezioni geologiche ad andamento parallelo e trasversale agli assi deposizionali dei corsi d'acqua appenninici del parmense. In particolare il lavoro persegue i seguenti obiettivi: (1) riconoscimento della struttura fisica d'insieme della conoide del fiume Taro, (2) definizione del suo scheletro fisico in termini di acquiferi ed acquitardi principali tramite una maglia di sezioni e (3) illustrazione delle modalità di ricarica degli acquiferi della pianura di Parma.

4. RICOSTRUZIONE FISICA DEL SISTEMA DI CONOIDE

La base dati stratigrafici su cui si fonda la presente ricerca ha tre articolazioni: (1) la banca dati stratigrafici del Dipartimento avviata fin dagli anni settanta dal Prof. Franco Petrucci, (2) i sondaggi stratigrafici eseguiti dalla Regione Emilia-Romagna per l'esecuzione della carta geologica 1:50.000 della pianura emiliana e (3) i sondaggi a carotaggio continuo realizzati dal Consorzio linea ferroviaria Alta Velocità.

4.1 Struttura fisica

Lo studio del sottosuolo si spinge fino alla superficie di inconformità che identifica il passaggio fra i depositi continentali ed i sottostanti depositi marini, qui definita Basamento Idrogeologico in senso lato (Figure 2, 3, 4, 5), che nei settori alpino ed appenninico viene datata a 800.000 anni fa (Carcano *et al.*, 2002).

Tale superficie, presentata in Figura 2 come immagine 3D con vista all'incirca verso est, mette in risalto la caratteristica struttura positiva del Basamento Idrogeologico che corre sulla verticale dell'allineamento degli abitati di Fontevivo, Madregolo, Stradella e Monticelli Terme. Il database per la costruzione di questa superficie, che può essere intesa anche come "base del continentale", deriva dai dati di sondaggio per la porzione interna fino al fronte della struttura positiva e, a partire dall'isolinea -200 verso nord, dalla digitalizzazione della superficie base del continentale in scala 1:250.000 (RER & ENI-AGIP, 1998). La deformazione della superficie in questione è congruente con l'allineamento delle strutture sepolte a *thrust* dell'Appennino emiliano (Bernini & Papani, 1987) e forma una modesta sinclinale allineata sul fronte della catena (Figura 3), qui definita "bacino marginale", sul cui asse i depositi alluvionali hanno uno spessore dell'ordine dei 100-200 m.

La delimitazione fisica d'insieme della conoide tardo-pleistocenica del fiume Taro è stata principalmente fatta tramite numerose sezioni geologiche origi-

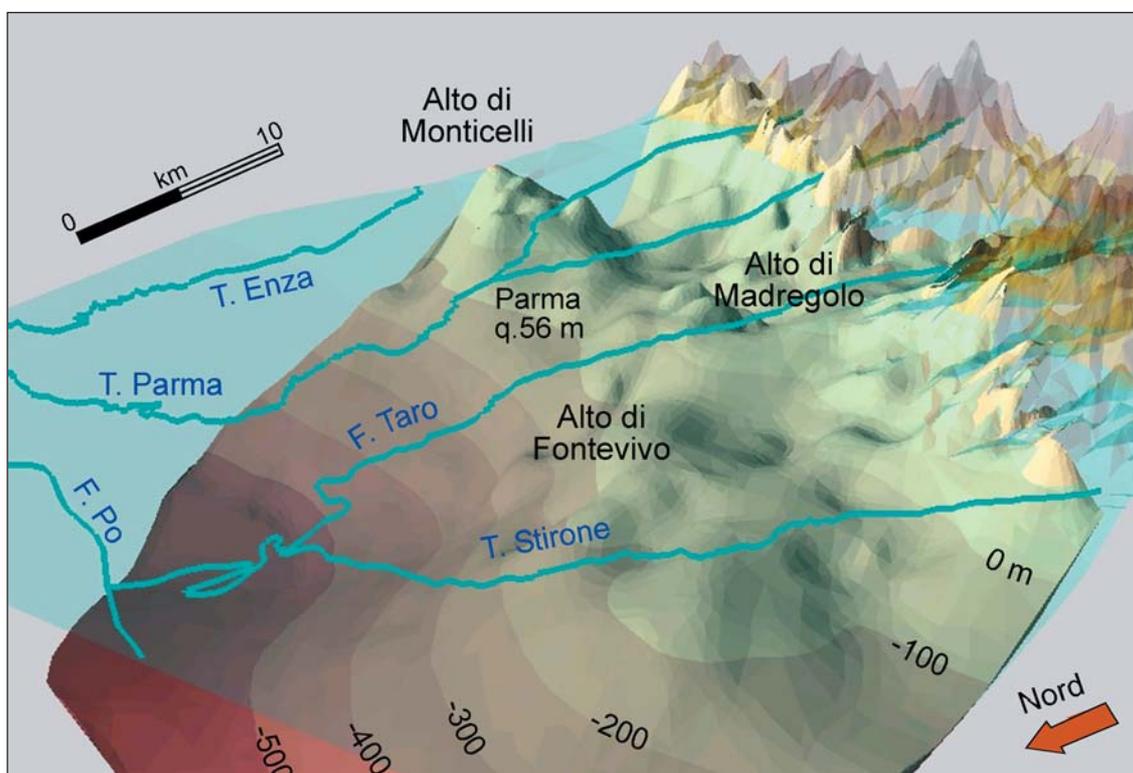


Fig. 2 - Immagine digitale 3D con vista verso est del tetto del substrato marino (Pleistocene medio) nell'area di studio. Valori di profondità s.l.m. La superficie azzurra approssima il p.c. e interseca la pedecollina all'appoggio delle alluvioni sul substrato marino affiorante. La struttura positiva posta sull'allineamento Monticelli Terme - Madregolo - Fontevivo identifica al suo interno un bacino marginale in cui la copertura alluvionale ha spessore limitato.

3D representation of the top of the marine deposits of Middle Pleistocene age (depths below s.l.). The Monticelli Terme - Madregolo - Fontevivo tectonic high is related to the thrusting of the Apennines front.

nali, di cui tre sono parzialmente presentate in questo lavoro (Figure 3, 4, 5). In secondo luogo sono state utilizzate alcune sezioni geologiche di letteratura particolarmente significative, i.e., tracciato Alta Velocità (Valloni *et al.*, 2003), tracciati n° 27 e 30 del lavoro IRSA (Bortolami *et al.*, 1979), tracciato n° 8 dello studio RER & ENI-AGIP (1998) e il tracciato I-I' del lavoro di Petrucci *et al.* (1975). Altre sezioni geologiche utili sono riportate negli studi di Alifracco *et al.* (1992a, b), Conti *et al.* (1999) e Sagne (1998).

In analogia alla descrizione di Beretta *et al.* (1996) l'apparato di conoide può essere diviso in tre settori, qui denominati di valle, margine e pianura, con dimensione assiale di 8, 7 e 15 km, rispettivamente (Figure 1, 2, 3). Nel tratto di valle le alluvioni rappresentano un'esile copertura, spesso meno di 10 metri, ampia 1-4 km, mentre nel tratto di margine le stesse colmano la struttura sinclinica con spessori di 50-100 metri; qui la struttura positiva sepolta di Madregolo controlla la circolazione sotterranea con una soglia imposta a circa -70 m dal p.c. Nel tratto di pianura si apre il vero e proprio ventaglio di conoide (Figura 6) con spessore che supera comodamente i 100 m nell'intorno dell'autostrada A1, spessore che risulta in linea con quelli espressi dai restanti corpi di conoide sudpadani (Antolini *et al.*, 1999).

4.2 Architettura sedimentaria

Lo scheletro strutturale della conoide alluvionale è ricavato dalla rappresentazione della distribuzio-

ne di due semplici categorie di depositi: sedimenti ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi e sabbiosi (idrogeologicamente poroso-permeabili), che risultano potenziale sede di corpi acquiferi, e sedimenti limosi, limo-argillosi ed argillosi (idrogeologicamente semipermeabili o del tutto impermeabili) che rappresentano barriere di permeabilità (Guadagnini *et al.*, 2002).

I corpi acquiferi e le barriere di permeabilità principali delle successioni carotate nel sottosuolo della pianura sono stati datati con diversi metodi anche per correlazione con i loro analoghi affioranti (Di Dio *et al.*, 1997; RER & ENI-AGIP, 1998; Sagne, 1998). Per le età del Pleistocene terminale-Olocene sono invece disponibili numerose datazioni assolute col metodo del radiocarbonio (Valloni *et al.*, 2003). L'illustrazione del quadro stratigrafico locale si appoggia alla sezione di Figura 3, allineata lungo l'asse deposizionale del corpo di conoide tardo-pleistocenico del fiume Taro.

La successione continentale (Allogruppo Emiliano-Romagnolo) è notoriamente suddivisa in due Alloformazioni, Emiliano-Romagnola Inferiore ed Emiliano-Romagnola Superiore; il passaggio è rappresentato da un'importante superficie di inconformità, affiorante al margine sud della pianura, datata su base biostratigrafica a 470.000 anni fa (Di Dio *et al.*, 1997). Sulla trasversale della sezione Collecchio-Baganzola di Figura 3, l'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore ha spessore di decine di metri nell'asse del bacino marginale e di ordine metrico al tetto della struttura positiva di Madregolo.

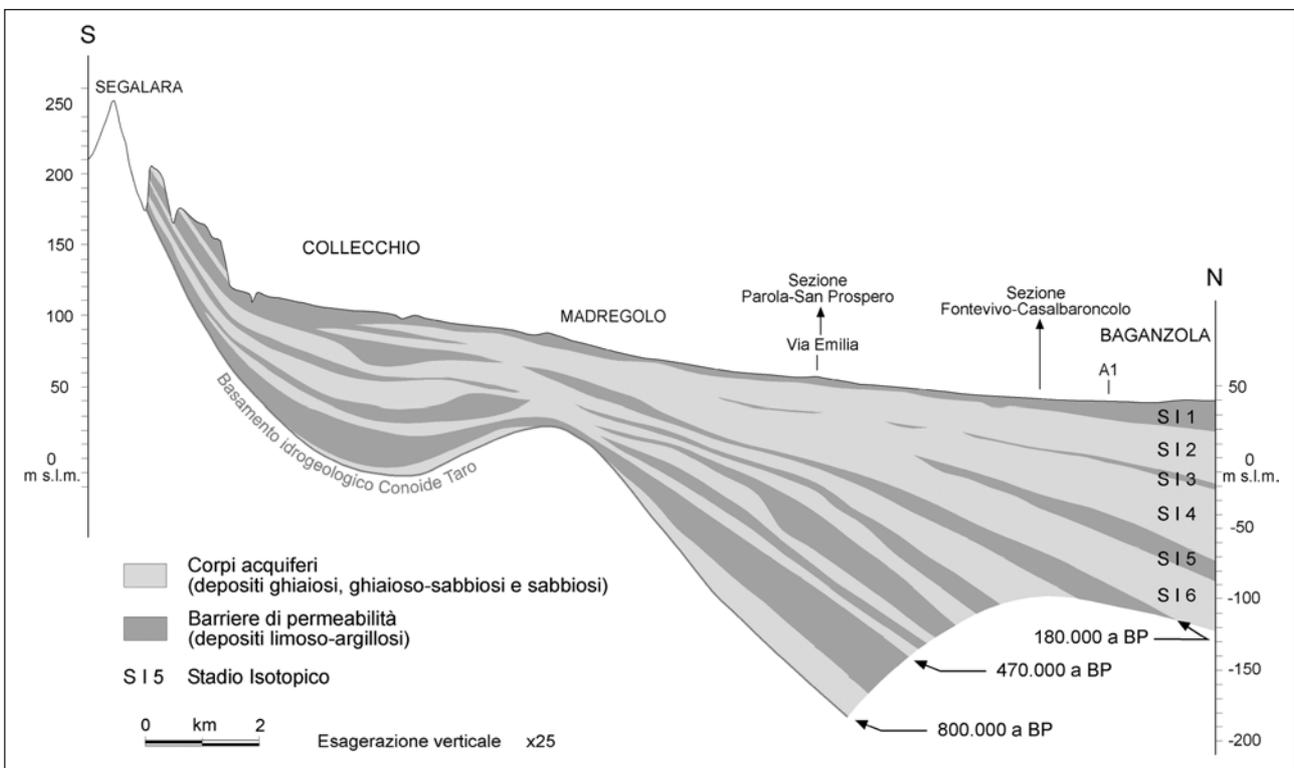


Fig. 3 - Sezione in destra fiume Taro (Collecchio - Baganzola) di inquadramento fisico-stratigrafico del Quaternario alluvionale, orientata secondo l'asse deposizionale. Il tetto del marino è posto a circa 800.000 a BP mentre il limite fra Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore e Superiore (Gruppo Acquifero B ed A, rispettivamente) è datato a circa 470.000 a BP (Di Dio *et al.*, 1997). I principali acquiferi ed acquitardi della Conoide Gigante del fiume Taro sono attribuibili agli Stadi Isotopici marini (1-6) di letteratura.

Hydrostratigraphic longitudinal section (Collecchio - Baganzola) of the Taro River giant alluvial fan. Major aquifers and aquitards are assigned to the (1-6) Marine Isotopic Stages of the literature.

All'interno dell'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore, i corpi acquiferi e le barriere di permeabilità principali che compongono l'architettura della Conoide Gigante del fiume Taro rappresentano l'espressione fisica di una sedimentazione a controllo astro-climatico. Le relazioni fra i cicli climatici del Pleistocene medio-superiore e i caratteri della sedimentazione fluviale, accertate globalmente (es. Mol *et al.*, 2000; Vandenberghe, 1995) e localmente (Vittori & Ventura, 1995; Djokic *et al.*, 1999; Amorosi *et al.*, 1999; Muttoni *et al.*, 2003), consentono di associare la deposizione dei corpi acquiferi e delle barriere di permeabilità principali agli Stadi Isotopici marini dell'ossigeno. In Figura 3 i corpi acquiferi e le barriere di permeabilità principali della pianura parmense, espressi negli ultimi due cicli glaciali (Riss e Wurm dei vecchi Autori), sono stati correlati con gli Stadi Isotopici marini (SI) da 1 (comprendente l'intero Olocene) a 6 (Martinson *et al.*, 1987).

Nella sezione di Figura 3 risalta la particolare continuità dell'unità fine, su cui si annidano i depositi grossolani dello stadio isotopico 6. Da questo momento, in coincidenza con l'instaurazione di un megaciclo sedimentario riconosciuto dal nord al sud Europa (Kukla &

Cilek, 1996), nella pianura a ovest di Parma si sviluppa un corpo grossolano di particolare imponenza, qui denominato Conoide Gigante del fiume Taro; le unità fini intercalate in tale corpo assumono spessori e continuità significative solo ad una certa distanza dal fronte della struttura positiva di Madregolo e comunque a valle del tracciato della Via Emilia.

Riassumendo, gli elementi architettonici di particolare rilievo idrostratigrafico sono rappresentati (1) dalla suddetta barriera di permeabilità con tetto a circa 180.000 anni fa, (2) dalla soglia strutturale di Madregolo e (3) dalla pendenza delle barriere di permeabilità, che aumenta per quelle via via più profonde. Sulla verticale dell'autostrada A1 la barriera di permeabilità deposta al tempo dello stadio isotopico 3 si incontra a circa 40 m di profondità ed ha una pendenza del 0,8 % (0,47 gradi), la barriera di permeabilità deposta al tempo dello stadio isotopico 5 si incontra a circa 80 m di profondità ed ha una pendenza del 1,4 % (0,81 gradi), e la barriera di permeabilità che precede lo stadio isotopico 6 si incontra a circa 130 m di profondità ed ha una pendenza del 1,9 % (1,08 gradi).

Nelle Figure 4 e 5 sono riportate due sezioni

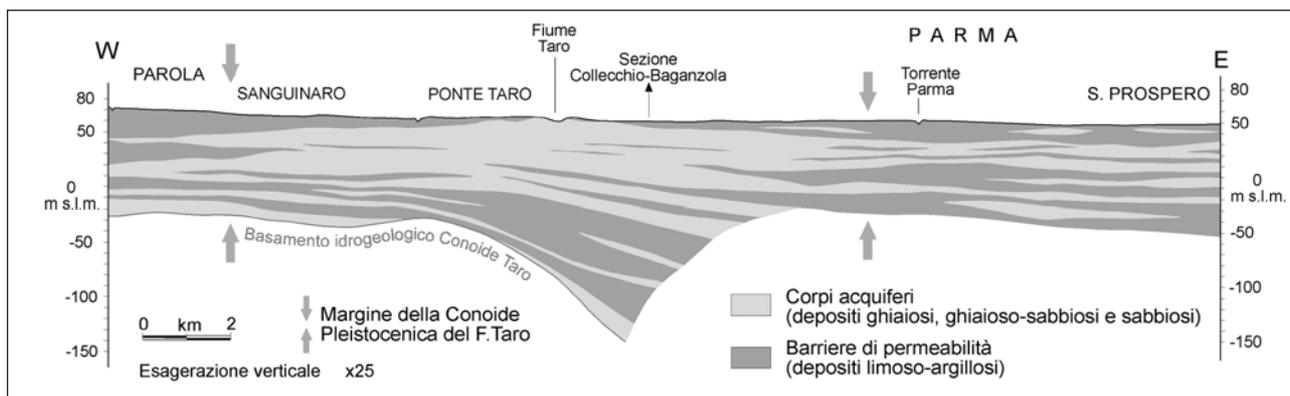


Fig. 4 - Sezione lungo la Via Emilia (Parola - San Prospero) trasversale all'asse deposizionale. Il corpo di conoide ha spessore moderato sviluppandosi sul dorso e sul fronte della struttura positiva di Madregolo-Fontevivo. In corrispondenza dell'abitato di Sanguinaro (ovest) e della città di Parma (est) il rilevante spessore cumulato degli acquitardi esprime un limite di permeabilità.

Hydrostratigraphic transversal section (Parola - San Prospero) of the Taro River giant alluvial fan. Note the moderate thickness of the alluvial fan body and the permeability limits (arrows) to the east and west.

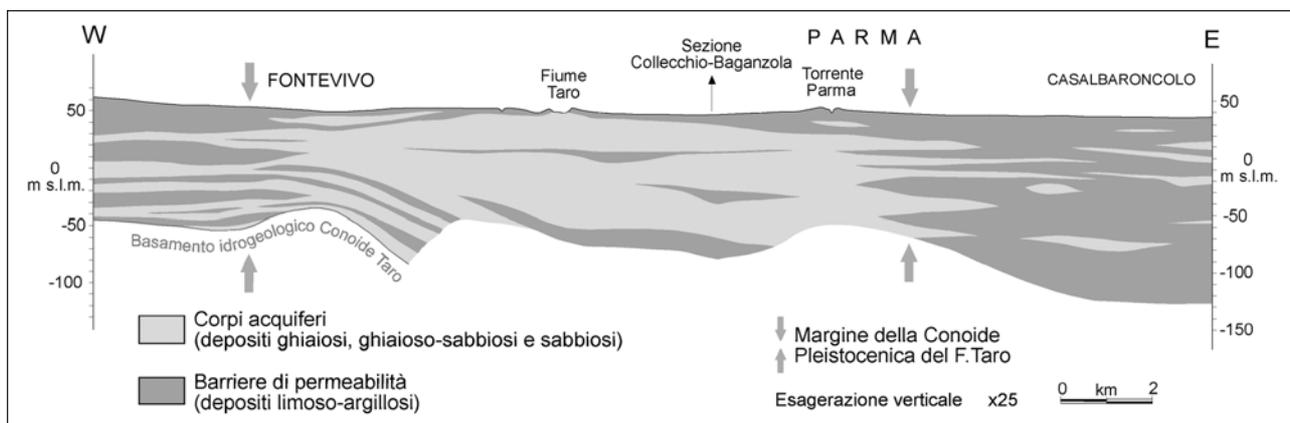


Fig. 5 - Sezione immediatamente a sud dell'autostrada A1 (Fontevivo - Casalbaroncolo) trasversale all'asse deposizionale. Il corpo di conoide sviluppato all'esterno della struttura positiva di Madregolo-Fontevivo ha spessore rilevante. All'altezza dell'abitato di Fontevivo (ovest) e della città di Parma (est) l'accresciuto numero e spessore degli acquitardi esprime un limite di permeabilità.

Hydrostratigraphic transversal section (Fontevivo - Casalbaroncolo) of the Taro River giant alluvial fan. Note the relevant thickness of the alluvial fan body and the permeability limits (arrows) to the east and west.

distanziate di 3-4 km che illustrano l'architettura della conoide su un taglio pressochè trasversale all'asse deposizionale. Risalta in particolare la saldatura dei corpi acquiferi sull'immediato fronte della struttura positiva (Figura 4), che genera rapporti di *interflow* (Vigna, 1996) e il vistoso aumento del loro spessore verso nord (Figura 5). Identicamente, le principali barriere di permeabilità sono sottili e discontinue all'altezza della Via Emilia e dotate di una certa continuità e spessore, pochi km più a nord, in prossimità dell'autostrada A1.

Nel settore di massima apertura del ventaglio di conoide, vale a dire sull'allineamento di Figura 5 che corre immediatamente a sud dell'autostrada A1, il corpo di conoide del fiume Taro presenta un limite ovest all'altezza di Fontevivo, ove si chiude in appoggio sulla soglia strutturale (Beretta *et al.*, 1999) ed un limite est all'altezza di Parma. In corrispondenza di tali limiti i passaggi litologici risultano bruschi e materializzano dei limiti di permeabilità relativamente netti. I depositi sabbiosi di frangia della conoide si interdigitano con quelli di piana alluvionale e di canale dei corsi d'acqua limitrofi che a est sono rappresentati dal Paleo-Baganza e dal Paleo-Parma.

5. CIRCOLAZIONE IDRICA

Dal punto di vista idrogeologico tutta la letteratura è concorde nell'assegnare al subalveo del fiume Taro (es. Dall'Olio *et al.*, 2001; Bedulli *et al.*, 2004) un ruolo dominante nella ricarica degli acquiferi della pianura ovest di Parma (Rossetti, 1976). Altrettanto note sono le condizioni dell'entrata in pressione della falda freatica attestate anche da fenomeni di risorgenza delle acque causati da eterogeneità sedimentaria (Petrucci *et al.*, 1982). In destra Taro la risorgenza avviene immediatamente a nord dell'A1, nell'intorno di Baganzola e Viarolo, ove lo sviluppo della copertura fine è assai pronunciato. In sinistra Taro la fuoriuscita avviene a sud dell'A1, nell'intorno di Fontevivo, a causa dell'effetto ostacolo creato da un corpo ghiaioso sovraconsolidato affiorante in corrispondenza della struttura positiva sepolta.

Nel settore di margine (da Medesano-Giarola a Madregolo) la conoide esprime un modesto carico piezometrico per l'effetto sfioratore creato dalla struttura di Madregolo e il limitato spessore (dell'ordine dei 20 m) dei corpi grossolani poggianti sull'importante barriera di permeabilità, con tetto a 180.000 anni fa (Figura 3). Anche in termini idrogeologici si può quindi dire che la

conoide vera e propria corrisponde al suo tratto di pianura. Sul dorso della struttura positiva di Madregolo e sul suo fronte, fino a poco oltre la Via Emilia, si determinano le condizioni di carico piezometrico e di saldatura ed ispessimento dei corpi acquiferi tali da massimizzare la ricarica dal subalveo del fiume Taro.

Nel settore di pianura della conoide la soglia creata dall'alto strutturale di Madregolo rappresenta un controllo primario sulle geometrie deposizionali del sottosuolo e sul campo dei flussi idrici sotterranei. Sul fronte dell'alto strutturale si ha la progressiva espansione del corpo di conoide, mentre sul dorso dello stesso i corpi acquiferi risultano saldati fra loro. Questi ultimi costituiscono un grande serbatoio che comunica lungoristrato con gli acquiferi in pressione posti più a valle (Conti *et al.*, 1999).

La soglia di Madregolo esercita un controllo altrettanto importante sulla circolazione idrica relativa agli acquiferi più profondi e compartimentati (A3 e A4 di

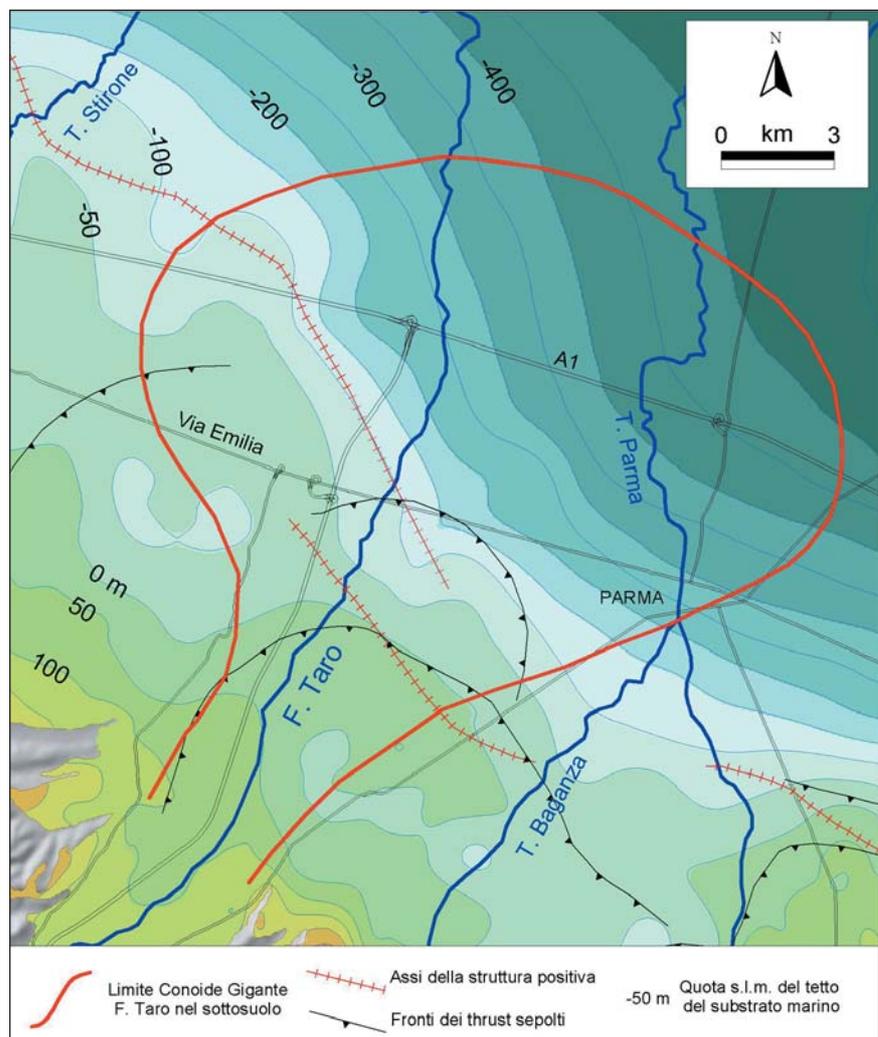


Fig. 6 - Schema del contesto strutturale e della dimensione fisica dell'apparato di conoide. In rosso l'involuppo nel sottosuolo della Conoide Gigante del fiume Taro di età Pleistocene medio terminale - Pleistocene superiore. Fronti dei thrust sepolti del substrato marino da Di Dio *et al.* (1997), semplificato. Assi della struttura positiva del substrato marino da Petrucci *et al.* (1975).

Sketch map of the subsurface extension (red line) of the Taro River giant alluvial fan of Latest Middle to Late Pleistocene age.

RER & ENI-AGIP, 1998) sottostanti la conoide tardo-pleistocenica del fiume Taro. La Figura 3 mostra infatti che in corrispondenza dell'alto strutturale anche l'importante barriera di permeabilità (tetto a 180.000 anni fa), che costituisce la base del corpo di conoide, presenta delle discontinuità che consentono transfert idrico e comunicazione lungostrato con gli acquiferi in pressione più a nord che all'altezza della Via Emilia si trovano fra -70 e -150 m dal p.c.

6. CONCLUSIONI

La fitta maglia dei dati di sondaggio rende possibile un approccio fisico-stratigrafico al problema della ricarica degli acquiferi nell'ambito della Conoide Gigante del fiume Taro. Nel contesto di margine di pianura qui studiato le forzanti della sedimentazione risultano il controllo tettonico, il cui aspetto più evidente è rappresentato dai *thrust* frontali della catena sepolta, e la sua modulazione da parte del fattore climatico che, fra l'altro, controlla il tasso degli apporti trasversali dai fiumi appenninici. Lo schema d'alimentazione idrica della Conoide Gigante del fiume Taro indica una ricarica remota degli acquiferi profondi della media pianura; tale modello potrà essere esteso agli altri settori del margine sud-padano caratterizzati dallo stesso stile deformativo a *thrust* sepolti.

Dalla ricostruzione fisica risulta che l'apparato di conoide può essere diviso in tre settori, detti di valle, margine e pianura. Nel tratto di valle, esteso 8 km da Fornovo a Medesano, le alluvioni sono spesse meno di 10 m. Nel tratto di margine, esteso 7 km da Medesano a Madregolo, le alluvioni hanno spessore limitato e la circolazione è controllata dall'alto strutturale che ne costituisce la soglia nord. Nel tratto di pianura si sviluppa un ampio ventaglio alluvionale con estensione radiale di 15 km e dimensione trasversale massima di quasi 20 km.

L'alto strutturale che corre all'altezza di Madregolo rappresenta un controllo primario sulle geometrie deposizionali del sottosuolo e su quelle dei flussi idrici sotterranei. La Conoide Gigante del fiume Taro, intesa sia in senso sedimentologico che idrogeologico, è propriamente rappresentata dal grande ventaglio sedimentario di pianura con apice sulla soglia di Madregolo. Più propriamente la conoide è costituita dal corpo grossolano, formatosi negli ultimi 180.000 anni, che comprende gli stadi isotopici fino al 6. L'imponente acquitardo su cui poggia la conoide si trova a meno di -30 m dal p.c. in corrispondenza della soglia di Madregolo e a ben oltre -100 m dal p.c. dieci km più a nord.

Le sezioni idrostratigrafiche tracciate secondo l'asse deposizionale (direzione circa nord-sud) mettono in luce importanti saldature fra corpi grossolani sul dorso e sul fronte della soglia e la loro compartimentazione, progressivamente crescente verso nord, ad opera delle barriere di permeabilità. Le sezioni tracciate trasversalmente all'asse deposizionale (direzione circa est-ovest) individuano importanti limiti di permeabilità in corrispondenza del passaggio al dominio di interconoide.

Il flusso dal corpo idrico superficiale (fiume Taro) alla falda freatica e a quella in pressione è grandemente influenzato dalla struttura positiva di Madregolo, in corrispondenza della quale i corpi grossolani, saldati fra loro, offrono un ampio serbatoio alla ricarica dal subal-

veo del fiume Taro. Sul fronte nord della struttura, l'accentuata pendenza dei corpi sedimentari determina un rilevante carico idraulico che si esplica su corpi sedimentari anisotropi con prevalenza della componente orizzontale della permeabilità.

La Conoide Gigante del fiume Taro è compartimentata da tre barriere di permeabilità principali che assumono una relativa continuità solo a valle della Via Emilia e che sulla verticale dell'autostrada A1 vengono intercettate a -40, -80 e -130 metri dal p.c. Queste barriere consentono di identificare tre unità idrostratigrafiche rappresentate dall'acquifero freatico, che proprio nell'intorno dell'A1 entra in pressione, e da due acquiferi profondi alimentati dal fronte della struttura positiva posta a sud. Anche gli acquiferi sottostanti l'importante barriera di permeabilità posta alla base della conoide tardo-pleistocenica (complessi acquiferi padani A3 e A4) possono essere, almeno in parte, ricaricati dalle acque di subalveo del fiume Taro per transfert idrico nei corpi grossolani amalgamati sul dorso dell'alto strutturale di Madregolo.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori sono riconoscenti al Dott. Nicola Calda per il contributo alla realizzazione dello stereogramma di Figura 2.

LAVORI CITATI

- ALIFRACO G., BERETTA G.P., BODRIA A., CATTINI Z., NESPOLI M., PECORARI M. & ZAVATTI A., (1992a) - *Idrogeologia*. In: *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 3 - Alta e Media Pianura Parmense*. A cura del Consorzio Parmense Approvvigionamento Acqua Potabile. Pitagora Editrice, Bologna, 1-35.
- ALIFRACO G., BERETTA G.P., BODRIA A., CATTINI Z., NESPOLI M., PECORARI M. & ZAVATTI A. (1992b) - *Perimetrazione delle zone di rispetto dei campi-pozzi*. In: *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 3 - Alta e Media Pianura Parmense*. A cura del Consorzio Parmense Approvvigionamento Acqua Potabile. Pitagora Editrice, Bologna, 119-152.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., FUSCO F., PASINI G. & FIORINI F. (1999) - *Glacio-eustatic Control of Continental Shallow Marine Cyclicity from Late Quaternary Deposits of the Southeastern Po Plain, Northern Italy*. *Quaternary Research*, **52**, 1-13.
- AMOROSI A., FARINA M., SEVERI P., PRETI D., CAPORALE L. & DI DIO G. (1996) - *Genetically related alluvial deposits across active fault zones: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy*. *Sedimentary Geology*, **102**, 275-295.
- ANTOLINI P., CARATI M., PELLEGRINI M., TOMBA I., VINCENZI D. & ZAVATTI A. (1999) - *Unità idrogeologiche della pianura romagnola ferrarese e bolognese. La vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale*. Atti terzo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il terzo millennio, Parma 13-15 Ottobre 1999. Pitagora Editrice Bologna, Quaderni di Geologia Applicata,

- Supplemento 2-1999 (1), 1.149-1.163.
- BEDULLI F., CONTI A., MARCHI F., ROSSETTI G., VALLONI R. & ZINELLI D. (2004) - *Idrodinamica dei flussi dal subalveo alla conoide pleistocenica del Fiume Taro (Parma)*. Riassunti convegno: *La Geologia del Quaternario in Italia: temi emergenti e zone d'ombra*, Roma, 16-18 Febbraio 2004 (a cura di Giuliana Quaglia). AIQUA - CNR Istituto Geologia Ambientale e Geoingegneria, 98-99.
- BERETTA G.P., CATTINI Z., CHIARI R., PECORARI M. & PELOSIO A. (1996) - *Idrogeologia*. In: *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 13: Pianura Parmense* (a cura dell'Amministrazione Provinciale di Parma, Servizio Ambiente e Tutela del Suolo). Pubblicazione GNDICI-CNR n. 1392, Pitagora Editrice Bologna, 9-28.
- BERETTA G.P., CHIARI A. & GALLARATI E. (1999) - *Gestione delle aree di salvaguardia di importanti captazioni della provincia di Parma: Il campo pozzi di Priorato (Fontanellato)*. Atti terzo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il terzo millennio, Parma 13-15 Ottobre 1999. Pitagora Editrice Bologna, Quaderni di Geologia Applicata, Supplemento 2-1999 (2), 4.109-4.117.
- BERNINI M. & PAPANI G. (1987) - *Alcune considerazioni sulla struttura del margine appenninico emiliano fra lo Stirone e l'Enza (e sue relazioni con il Sistema del F.Taro)*. Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense, **23** (4), 219-240.
- BORTOLAMI G.C., BRAGA G., DAL PRÀ A., FRANCAVILLA F., GIULIANO G., MANFREDINI M., PELLEGRINI M., PETRUCCI F., POZZI R., STEFANINI S. & VUILLERMIN E. (1979) - *Lineamenti idrogeologici della pianura padana*. Quaderni Istituto di Ricerca sulle Acque del CNR, **28** (2), Tipolite Cooptip Modena, 77 pp (con 56 sezioni geologiche fuori testo).
- CARCANO C., DI DIO G. & PICCINI A. (2002) - *Architettura del sottosuolo della Pianura Padana: strumento di conoscenza per lo sviluppo ottimale delle riserve idriche in Lombardia e in Emilia-Romagna*. Atti del terzo seminario sulla Cartografia Geologica (a cura di P. Barchesi, A. Angelelli e S. Forni), Bologna 26-27 Febbraio 2002. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli Regione Emilia-Romagna, Stampa Labanti Bologna, 32-35.
- CONTI A., DI DIO G., LASAGNA S. & ZINELLI D. (1999) - *Approccio idrostratigrafico alla delimitazione delle zone di protezione passiva delle opere di captazione delle acque sotterranee*. Atti del terzo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il terzo millennio, Parma 13-15 ottobre 1999. Pitagora Editrice Bologna, Quaderni di Geologia Applicata, 1.183-1.193.
- DALL'OLIO N., DI DIO G., & GUERMANDI M. (2001). - *Il percorso metodologico*. In: *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 15: Nuova carta della vulnerabilità del parmense ed indirizzi di tutela delle acque* (a cura di G. Alifracco, Amministrazione Provinciale di Parma, Servizio Ambiente e Tutela del Suolo). Pubblicazione GNDICI-CNR n. 2469, Pitagora Editrice Bologna, 21-32.
- DI DIO G. (2001) - *Il quadro delle conoscenze*. In: *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 15: Nuova carta della vulnerabilità del parmense ed indirizzi di tutela delle acque* (a cura di G. Alifracco, Amministrazione Provinciale di Parma, Servizio Ambiente e Tutela del Suolo). Pubblicazione GNDICI-CNR n. 2469, Pitagora Editrice Bologna, 9-20.
- DI DIO G., LASAGNA S., PRETI D. & SAGNE M. (1997) - *Stratigrafia dei depositi quaternari della Provincia di Parma*. Boll. Società Paleontologica It. **36** (1-2), 179-187.
- DI DIO G. & VALLONI R. (1997) - *Unità di Crescita nei sistemi di conoide alluvionale del tardo Quaternario: la risposta dei corsi d'acqua ai cicli climatici e ai movimenti tettonici*. Riassunti del convegno AIQUA: Tettonica quaternaria del territorio italiano - conoscenze, problemi ed applicazioni, Parma 25-27 Febbraio 1997, 159-160.
- DJOKIC D., FRASSINETI G., VASUMINI I., RAVAIOLI C. & VENTURELLI C. (1999) - *Qualità delle acque sotterranee nel territorio forlivese: conoide del Fiume Ronco*. Atti terzo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il terzo millennio, Parma 13-15 Ottobre 1999. Pitagora Editrice Bologna, Quaderni di Geologia Applicata, Supplemento 2-1999 (1), 1.195-1.205.
- FERRARAZZO R., FERRARESI M. & PACCIANI M. (1997) - *L'acquifero della media e alta pianura parmense: analisi geostatistica delle misure piezometriche e interpretazione funzionale del flusso in falda*. Acque Sotterranee, **53**, 53-64.
- GUADAGNINI L., FARINA M., FRONTINI S. & SIMONI M. (2002) - *La funzione degli acquitardi per la determinazione della vulnerabilità geologica - contributo geostatistico e stocastico*. Atti del terzo seminario sulla Cartografia Geologica (a cura di P. Barchesi, A. Angelelli e S. Forni), Bologna 26-27 Febbraio 2002. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli Regione Emilia-Romagna, Stampa Labanti Bologna, 133-135.
- IDROSER SpA (1977) - *Progetto di piano per la salvaguardia e l'utilizzo ottimale delle risorse idriche in Emilia-Romagna: Relazione Generale*. Convenzione tra Regione Emilia-Romagna e Ente Nazionale Idrocarburi, Coordinamento di progetto Tecneco SpA, Stampa Cooptip Modena, 10.59 pp.
- KUKLA G. & CILEK V. (1996) - *Plio-Pleistocene megacycles: record of climate and tectonics*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **120**, 171-194.
- MARCHETTI M. (2001) - *Forme e depositi fluviali, fluvio-glaciali, lacustri (Fluvio, Fluvioglacial and Lacustrine Forms and Deposits)*. In: *Note Illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana* (a cura di G.B. Castiglioni e G.B. Pellegrini). Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., IV, 73-104.
- MARTINSON D.G., PISIAS N.G., HAYS J.D., IMBRIE J., MOORE T.C. JR., & SHACKLETON N.J. (1987) - *Age Dating and the Orbital Theory of the Ice Ages: Development of a High-Resolution 0 to 300.000-Year Chronostratigraphy*. Quaternary Research, **27**, 1-29.
- MOL J., VANDENBERGHE J. & KASSE C. (2000) - *River response to variations in periglacial climate in mid-latitude Europe*. Geomorphology, **33**, 131-148.

- MUTTONI G., CARCANO C., GARZANTI E., GHIELMI M., PICCIN A., PINI R., ROGLEDI S. & SCIUNNACH D. (2003) - *Onset of major Pleistocene glaciations in the Alps*. *Geology*, **31** (11), 989-992.
- PEREGO S. (1994) - *Evoluzione naturale e antropica del medio e basso corso del F. Taro (Prov. di Parma)*. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*, **30** (1-4), 5-27.
- PETRUCCI F., BIGI B., CAVAZZINI R., MORESTORI L., PANICIERI E., PECORARI M. & ROSSETTI G. (1975) - *Ricerche sulle acque sotterranee della pianura parmense e piacentina: sezioni interpretative degli acquiferi (parte prima)*. Pubblicazioni Istituto di Geologia Università di Parma, Grafiche STEP Editrice Parma, 14 pp.
- PETRUCCI F., BIGI B., PECORARI M. & VIDONI TANI M.E. (1982) - *Le risorgive nella pianura parmense e piacentina*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **5**, 277-284.
- PETRUCCI F., CAREGGIO M. & CONTI A. (1992) - *Le acque nel Comune di Parma*. Grafiche STEP Editrice Parma, 153 pp.
- PETRUCCI F., CAVAZZINI R. & CONTI A. (1983) - *Geologia e morfologia della conoide del F. Taro - Prov. di Parma (ed evento alluvionale del 9 novembre 1982)*. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*, **19** (1), 5-23.
- REGIONE LOMBARDIA & ENI-AGIP, (Regione Lombardia, Ente Nazionale Idrocarburi - Divisione AGIP, 2002) - *Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia*. A cura di C. Carcano e A. Piccin. S.EL.CA. Firenze, 130 pp.
- RER & ENI-AGIP (Regione Emilia-Romagna, Ente Nazionale Idrocarburi - Divisione AGIP, 1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA., Firenze, 120 pp.
- ROSSETTI G. (1976) - *Le falde freatiche nella pianura parmense tra i Fiumi Taro ed Enza*. *Il Frantoio*, **8**, 12 pp.
- SAGNE M. (1998) - *Struttura fisica e aspetti idrogeochimici del bacino idrogeologico dell'alta e media Pianura Parmense*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, Facoltà di Scienze MM.FF.NN. dell'Università di Parma, 154 pp.
- SEVERI P., GUERMANDI M., LARUCCIA N. & FRASSINETI G. (2002) - *Cartografia della vulnerabilità degli acquiferi: contributi della geologia dei suoli*. Atti del terzo Seminario sulla Cartografia Geologica (a cura di P. Barchesi, A. Angelelli e S. Forni), Bologna 26-27 Febbraio 2002. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli Regione Emilia-Romagna, Stampa Labanti Bologna, 36-43.
- TELLINI C. (2001) - *Altimetria (Altimetry)*. In: *Note Illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana* (a cura di G.B. Castiglioni e G.B. Pellegrini). *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **IV**, 21-32.
- VALLONI R., BAIO M. & BEDULLI F. (2003) - *Architettura deposizionale del Pleistocene superiore nel sottosuolo della media pianura emiliana*. Riassunti 4° Forum Italiano di Scienze della Terra, Bellaria 16-18 Settembre 2003, 125-127.
- VANDENBERGHE J. (1995) - *Timescales, Climate and River Development*. *Quaternary Science Reviews*, **14**, 631-638.
- VENZO S. (1973) - *Geomorfologia e idrogeologia della zona di Fornovo e della paleoconoide del F. Taro (Parma). Cenno all'inquinamento atmosferico in connessione col regime dei venti*. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*, **9**, 183-211.
- VIGNA B. (1996) - *Il contributo dell'analisi sedimentologica nella valutazione della vulnerabilità degli acquiferi*. Atti secondo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi, Nonantola (MO) 17-19 Maggio 1995. Pitagora Editrice Bologna, Quaderni di Geologia Applicata, Supplemento 1-1996 (4), 4.129-4.141.
- VITTORI E. & VENTURA G. (1995) - *Grain size of fluvial deposits and late Quaternary climate: A case study in the Po River valley (Italy)*. *Geology*, **23** (8) 735-738.

Ms. ricevuto il 1° giugno 2004
 Testo definitivo ricevuto il 23 luglio, 2004

Ms. received: June 1, 2004
 Final text received: July 23, 2004

