

## **Il contributo dei pozzi perforati dalla Regione Lombardia alla conoscenza del Pleistocene lombardo**

### **Giancarlo Scardia**

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano-Pavia; [scardia@mi.ingv.it](mailto:scardia@mi.ingv.it)

### **Giovanni Muttoni**

Dipartimento di Scienza della Terra “A. Desio”, Università di Milano; ALP – Alpine Laboratory of Paleomagnetism, Peveragno (CN); [giovanni.muttoni1@unimi.it](mailto:giovanni.muttoni1@unimi.it)

### **Abstract**

Facies analysis applied to several up to 220-m-deep cores, taken by Regione Lombardia in the central-northern Po Plain, allowed to recognize an overall regressive sequence consisting of cyclotemic shallow marine and fluvial-deltaic deposits overlain by distal to proximal braidplain sediments. Magnetostratigraphy, coupled with calcareous nannoplankton biostratigraphy, was used to date marine and fluvial-deltaic sediments to the early Pleistocene and continental sediments to the middle–late Pleistocene. Sediment accumulation rates were of ~0.3–0.4 mm/yr in the early Pleistocene, whereas an overall reduction in sediment accumulation rates to ~0.06–0.08 mm/yr, associated to relevant unconformities, characterized the middle-late Pleistocene.

Stratigraphic evidences from petrographic, sedimentologic and palynologic analyses highlight in the Regione Lombardia cores a drastic reorganization of vegetational, fluvial, and Alpine drainage patterns, associated to a sequence boundary termed the “R surface”. The “R surface”, seismically traceable across the Po Plain subsurface, was constrained magnetostratigraphically to the first prominent Pleistocene glacio-eustatic lowstand of marine isotope stage (MIS) 22 at 0.87 Ma at the end of the Mid-Pleistocene Revolution, when climate worsened globally and locally caused the onset of the first major Pleistocene glaciation in the Alps.

Most marine deposits in the cores lie above sea level highstands of corresponding age, suggesting that they have been uplifted. In order to estimate the observed rock uplift, sediments were back-stripped to elevations at times of deposition (expressed in meters above current sea level) by applying a simple Airy compensation model. The correlation of the isostatically corrected sedimentary facies to a glacio-eustatic reference curve obtained from classic oxygen isotope studies highlights a positive elevation mismatch (rock uplift) in the range of 70–120 m, which occurred after the onset of the major Pleistocene glacial-interglacial cycles at rates of at least 0.15–0.09 mm/yr. Although the driving forces of the observed rock uplift cannot be unambiguously identified, but its timing of onset after the beginning of the major Pleistocene glacial-interglacial cycles and the low seismicity observed in the most of the Regione Lombardia area seem to point

to an isostatic readjustment of the chain probably due to the long-term erosional removal of sediments during major Pleistocene glacial advances.

Key-words: Pleistocene, Po Plain, paleomagnetism, glaciation, rock uplift

Parole chiave: Pleistocene, Pianura Padana, paleomagnetismo, glaciazione, sollevamento

## **1. Introduzione**

Il Pleistocene è un intervallo di tempo caratterizzato da un'elevata risoluzione stratigrafica, che potrebbe permettere studi scientifici di grande dettaglio. Sfortunatamente, tale risoluzione è penalizzata dalla natura stessa del record sedimentario pleistocenico, che, in ambito continentale, è generalmente frammentario e discontinuo, soprattutto in quelle regioni che hanno subito in passato l'azione di ripetute glaciazioni, come la Lombardia. L'assenza in affioramento di successioni stratigrafiche continue costituisce un ostacolo al riconoscimento ed alla correlazione fisica degli eventi stratigrafici riconosciuti. Tale limite è tuttora riscontrabile nel tradizionale rilevamento geologico, che se da un lato ha avuto il merito di descrivere il territorio con un dettaglio ragguardevole, non è stato tuttavia in grado di inquadrare efficacemente i dati raccolti nell'ambito di un quadro evolutivo regionale.

A supporto e completamento dell'attività scientifica svolta in passato, si è aggiunto il contributo della Regione Lombardia, che, sul modello di un precedente studio svolto tra la Regione Emilia-Romagna ed Eni (Di Dio, 1998), ha portato avanti un importante programma di ricerche sul sottosuolo padano tra il 1998 e il 2006, sempre in collaborazione con ENI E&P. Nell'ambito di questo programma sono stati perforati 12 sondaggi a carotaggio continuo profondi fino a 220 m dal piano campagna, con un recupero complessivo di circa 1880 m di sedimenti (fig. 1, tab. 1). Tali carote sono state oggetto di uno studio multidisciplinare con analisi palinologiche, micropaleontologiche, petrografiche, paleomagnetiche e sedimentologiche, i cui risultati sono stati in parte pubblicati (Carcano & Piccin 2002; Muttoni et al. 2003; Scardia et al. 2006), in parte sono in corso di pubblicazione (Scardia et al., submitted).

## **2. Litostratigrafia dei sondaggi**

I sondaggi della Regione Lombardia sono stati ubicati in Pianura Padana (fig. 1, tab. 1), con l'eccezione dei sondaggi Cremignane RL6, perforato nell'anfiteatro morenico del Lago d'Isèo, e Bagaggera RL 17, perforato nella Valle del Curone, circa 30 km a Sudovest di Lecco. L'area milanese è stata interessata da quattro sondaggi, due prelevati a Nord di Milano (Milano Triulza RL10 e Milano Parco Nord RL11) e due nel settore meridionale (Peschiera Borromeo RL8 e Gaggiano RL9). I restanti sondaggi sono situati lungo l'alta pianura (Agrate RL4, Trezzo RL5, Palosco RL7 e Ghedi RL1) e nella bassa pianura lombarda (Cremignane RL3 e Pianengo RL2).

Senza entrare nel dettaglio della sedimentologia di ogni singola carota, per la quale si rimanda a lavori già pubblicati (Carcano & Piccin 2002; Scardia et al. 2006) o in corso di pubblicazione, è possibile comunque delineare un'architettura deposizionale regionale, comune alla maggior parte dei sondaggi.

Alla base della successione carotata (fig. 2), si osserva una successione ciclica di limi fossiliferi e sabbie fini bioturbate di ambiente marino, alternate a sabbie medie o grossolane, laminate, di ambiente transizionale. Questi ciclotemi (unità 1; fig. 2), che verso l'alta pianura (sondaggi RL4, RL5, RL7) passano a ghiaie ben classate con ciottoli appiattiti e Ostreidi alternate ai limi marini, sono interpretabili come l'effetto della progradazione ciclica di delta e delta-conoidi su una piattaforma terrigena di mare basso. È possibile che tale ciclicità sedimentaria sia stata controllata dalle fluttuazione glacio-eustatiche del livello del mare (Scardia et al. 2006). Verso Ovest (sondaggi RL3, RL8, RL9, RL10) i ciclotemi marino-transizionali passano lateralmente a depositi di piana alluvionale con fiumi a meandri (unità 2; fig. 2), caratterizzati da depositi di canale alternati a depositi di argine naturale e piana inondabile.

In tutti i sondaggi, ad una profondità variabile tra 60 e 120 m dal piano campagna si osserva un netto passaggio a depositi fluviali di ambiente *braided* distale (unità 3; fig. 2), testimoniante un cambio radicale nella sedimentazione della Pianura Padana, chiaramente riconoscibile nei profili sismici a riflessione ENI e tracciabile a scala regionale. Questo cambio di sedimentazione produce nel sottosuolo un limite di sequenza denominato "superficie rossa" (Carcano & Piccin 2002) ed è riconducibile ad un evento climatico di drastico raffreddamento globale e relativo abbassamento del livello del mare (Muttoni et al. 2003; vedi sotto). I depositi dell'unità 3 passano verso l'alto a depositi di piana alluvionale *braided* più prossimale (unità 4; fig. 2), costituiti prevalentemente da ghiaia grossolana in strati da medi a spessi e subordinati livelli di sabbia grossolana.

### **3. Paleomagnetismo e magnetostratigrafia**

La disponibilità di lunghi carotaggi continui ha permesso l'applicazione del paleomagnetismo, tecnica di datazione molto affidabile, ma poco utilizzabile nei limitati e discontinui affioramenti continentali del Pleistocene lombardo. È stato ormai ampiamente dimostrato e accettato che il Campo Magnetico Terrestre ha subito numerose inversioni di polarità nel corso della storia geologica del nostro pianeta. Al momento della deposizione, i sedimenti acquisiscono una magnetizzazione naturale (magnetizzazione rimanente detritica), prodotta dalla polarità del Campo Magnetico Terrestre esistente in quel momento. Ricostruire la stratigrafia della polarità magnetica di una successione sedimentaria, o magnetostratigrafia, significa determinare con misure di laboratorio la successione di epoche magnetiche registrate nei sedimenti. Confrontando la magnetostratigrafia ottenuta con la scala di riferimento delle polarità magnetiche (GPTS) è possibile datare i sedimenti studiati e correlare tra loro le successioni stratigrafiche.

Nel caso dei sondaggi della Regione Lombardia, ogni carota è stata oggetto di approfondite analisi paleomagnetiche svolte presso il Laboratorio di Paleomagnetismo ALP con sede a Peveragno (CN). Queste misure hanno permesso di determinare con successo la magnetostratigrafia di ciascun sondaggio e di costruire per i primi 200 m circa della pianura lombarda un robusto quadro cronostratigrafico regionale (fig. 2), supportato anche da datazioni indipendenti ricavate dalla biostratigrafia a pollini e nannofossili calcarei (Carcano & Piccin 2002; Muttoni et al. 2003; Scardia et al. 2006). Le misure paleomagnetiche eseguite mostrano una forte coerenza, sia interna che regionale, ed il contesto di relativa subsidenza della Pianura Padana ha permesso un accumulo sufficientemente continuo di sedimenti, tale da registrare tutte le principali inversioni di polarità magnetica per l'intervallo di tempo considerato.

La porzione inferiore dei sondaggi presenta invariabilmente una polarità magnetica inversa (fig. 2), che sulla base del contenuto in pollini e nannofossili calcarei è riferibile al Chron Matuyama (2.58–0.78 Ma; Cande & Kent 1995). All'interno di questa zona a polarità magnetica inversa, è stato possibile riconoscere in quasi tutti i sondaggi anche una sottozona a polarità magnetica normale, riferibile al Subchron Jaramillo (1.07–0.99 Ma; Cande & Kent 1995). In tutti i sondaggi tranne RL5, ad una profondità variabile tra 30 e 70 m dal piano campagna è stata individuato il cambio di polarità magnetica tra il Chron Matuyama, a polarità inversa, e il sovrastante Chron Brunhes, corrispondente al campo magnetico attuale, con polarità normale. Tale cambio di polarità, denominato "limite Brunhes/Matuyama" (B/M), è avvenuto 780.000 anni fa ed è l'ultimo grande evento magnetico in ordine di tempo del Pleistocene. L'unico sondaggio in cui non è stato individuato il Chron Brunhes è il sondaggio RL5, ma tale assenza è ragionevolmente legata più ad un'assenza di dati che ad una lacuna stratigrafica. La parte superiore della carota infatti non possiede materiale adatto per le analisi paleomagnetiche e non è stato quindi possibile eseguire alcuna determinazione della polarità magnetica.

#### **4. Modello di età e tassi di sedimentazione**

Il supporto fornito dalla magnetostratigrafia ha consentito di individuare nelle carote studiate mediamente 3 vincoli cronologici (1,07 Ma; 0,99 Ma; 0,78 Ma), permettendo di stabilire una correlazione età-profondità per la maggior parte dei sondaggi. Tale relazione è utile per valutare in prima analisi i tassi di sedimentazione registrati nei primi 200 m della pianura lombarda durante il Pleistocene. Dai modelli d'età elaborati per i sondaggi RL1, RL2, RL3, RL4, RL5 e RL7 (fig. 3) si evincono tassi di sedimentazione confrontabili tra loro a scala regionale. La porzione inferiore di tutti i sondaggi è accomunata da tassi di sedimentazione nell'ordine dei 0,3-0,4 mm/anno fino ad un massimo di 0,7 mm/anno nel sondaggio RL1. Al di sopra del limite B/M, i tassi di sedimentazione sembrano crollare di un ordine di grandezza, anche se manca un'adeguata scansione temporale. Attribuendo un'età 0 al piano campagna e utilizzando l'ultimo vincolo cronologico disponibile, il limite B/M (780.000 anni), i tassi di sedimentazione così ricavati sono

comunque confrontabili tra loro, con valori compresi tra circa 0,06 e 0,08 mm/anno. Questa variazione dei tassi di sedimentazione è un evento osservato regionalmente, ma non è univocamente interpretabile: potrebbe essere collegato ad una maggiore efficienza di trasporto del sistema deposizionale fluviale a canali intrecciati rispetto a quello a meandri oppure ad una riduzione dello spazio d'accumulo legato al sollevamento della pianura lombarda nel Pleistocene medio (Scardia et al. 2006; vedi sotto). Molto probabilmente le due cause coesistono e sono legate tra loro.

## **5. L'intensificazione delle glaciazioni ed il sollevamento della pianura lombarda**

I risultati più significativi ottenuti dallo studio dei sondaggi della Regione Lombardia sono la datazione dell'inizio delle grandi glaciazioni pleistoceniche e l'individuazione di un sollevamento a lungo termine della pianura lombarda, avvenuto a partire dal Pleistocene medio.

L'esistenza di glaciazioni nel passato geologico delle Alpi è stata riconosciuta sin dal 1840 con il lavoro di L. Agassiz "Etudes sur les glaciers", ma allo stato attuale delle conoscenze sono ancora insufficienti i dati relativi all'età assoluta di queste glaciazioni, né c'è un accordo unanime sul loro numero. Nell'ambito dello studio dei sondaggi lombardi è stato possibile apportare un contributo al problema individuando e datando la prima grande avanzata glaciale del Pleistocene.

Se i prodromi di una tendenza al deterioramento globale delle condizioni climatiche possono essere ravvisati almeno sin dall'epoca del Subchron Jaramillo (1,07–0,99 Ma) nella forte progradazione di conoidi alluvionali al piede delle Alpi, con la conseguente formazione di laghi di sbarramento alluvionale in valli laterali (Ravazzi et al. 2005), e di delta-conoidi nell'antico golfo padano (unità 1; fig. 2), è indubbiamente con la formazione della "superficie rossa" (Carcano & Piccin 2002; Muttoni et al. 2003) che l'inerzia del sistema Alpi-Pianura Padana viene definitivamente superata. Alla formazione della "superficie rossa" sono legati il cambio sedimentologico precedentemente descritto, tra un sistema deposizionale con fiumi a meandri (unità 2; fig. 2) ed un soprastante sistema a fiumi *braided* (unità 3; fig. 2) ed il cambio degli apporti detritici che al di sotto della "superficie rossa" provenivano dalle Alpi Centrali ed Occidentali, mentre al di sopra della superficie mostrano un apporto più prossimale dalle Prealpi Lombarde (Muttoni et al. 2003). Alla "superficie rossa" è legata anche la scomparsa in Pianura Padana della *Tsuga* (Muttoni et al. 2003), conifera attualmente diffusa in Asia e in Nord America, ma presente anche in Italia Settentrionale prima dell'inizio delle glaciazioni del Pleistocene. Con il supporto della magnetostratigrafia è stato possibile datare per interpolazione la "superficie rossa" a circa 870.000 anni (Muttoni et al. 2003) e di correlarla alla curva paleoclimatica del frazionamento isotopico dell'ossigeno (ODP677-SPECMAP; Shackleton, 1995), permettendone una contestualizzazione a scala globale (fig. 4). Sulla base di questa correlazione, si è osservato che i radicali cambiamenti legati alla formazione della "superficie rossa" in Pianura Padana coincidono

con lo stadio isotopico marino 22 (MIS 22), che rappresenta effettivamente il primo marcato raffreddamento climatico del Pleistocene a scala globale (Shackleton & Opdyke, 1976).

L'altro risultato ottenuto riguarda l'individuazione e una prima quantificazione del sollevamento a lungo termine dell'alta pianura lombarda. Studi geologici progressivi riportarono per la pianura lombarda manifestazioni di un sollevamento recente localizzato in corrispondenza di alcune strutture tettoniche sepolte (Desio 1965) o di movimenti verticali (sollevamento o subsidenza) a breve termine su scala regionale (Arca & Beretta 1985).

L'analisi sedimentologica delle carote ha portato all'identificazione di una serie di depositi marini nel sottosuolo lombardo ubicati a quote sul livello del mare comprese tra 15 m e 64 m. Tali depositi marini sono stati osservati nei sondaggi RL1, RL2, RL4, RL5, RL7 (unità 1; fig. 2) e la loro giacitura altimetrica non è giustificabile in altro modo se non ammettendo un sollevamento avvenuto dopo la loro deposizione. I sondaggi contenenti i livelli marini sono stati oggetto di una modellazione numerica per tentare una prima quantificazione del tasso di sollevamento a lungo termine. Senza entrare nel dettaglio della metodologia utilizzata, riportata in Scardia et al. (2006), i tassi di sollevamento ottenuti sono nell'ordine di 0,1 mm/anno per la fascia di alta pianura compresa tra Milano e Brescia (fig. 5). Sulla base dei dati utilizzati per la modellazione, i tassi ricavati devono essere considerati come minimi. Confrontando i dati a breve termine calcolati da Arca & Beretta (1985) con quelli a lungo termine ottenuti dai sondaggi della Regione Lombardia, si nota un sostanziale accordo tra i sondaggi RL2, RL4, RL5 e RL7 e le isocinetiche calcolate da Arca & Beretta (1985). È invece in leggera controtendenza il sondaggio RL1 che risulta in sollevamento a lungo termine, ma nell'elaborazione di Arca & Beretta (1985) è ubicato in una zona subsidente compresa tra le isocinetiche 0 e -0,5 mm/anno. Tale discrepanza può essere attribuita al fatto che il sondaggio RL1 è situato in prossimità della struttura di Castenedolo, la cui attività neotettonica è stata ampiamente riconosciuta (Desio 1965).

Il sollevamento osservato sembra essere posteriore al limite B/M (780.000 anni) e succede ad una fase di subsidenza da moderata a bassa presente durante il tardo Chron Matuyama. Allo stato attuale delle conoscenze non è ancora possibile definire con certezza la causa del sollevamento osservato. La scarsa sismicità finora accertata per la pianura lombarda sembra escludere una componente di tettonica attiva, fatta eccezione per l'area bresciana-gardesana dove tale attività è invece ben documentata da una moderata sismicità storica (p.e. i terremoti 25/12/1222 Brescia, 05/12/1802 Soncino, 30/11/1901; CPTI 2004) e strumentale (p.e. il terremoto 24/11/2004 Salò; Franceschina et al., 2009). D'altra parte, il sollevamento è di poco posteriore all'intensificazione delle glaciazioni, avvenuto verso la fine del Pleistocene inferiore. Data la notevole capacità erosiva dei ghiacciai, è possibile che la causa del sollevamento sia imputabile ad un progressivo riequilibrio isostatico delle Alpi. Applicando il principio di compensazione isostatica di Airy, se si spostano per erosione glaciale ingenti masse di roccia dalle valli alpine all'antistante Pianura Padana, ne consegue che al termine di ogni glaciazione la catena alpina è più leggera e la perdita

di massa viene compensata da una spinta verso l'alto, determinando il sollevamento regionale delle Alpi e delle aree limitrofe. Secondo questa ipotesi, il sollevamento osservato dei depositi marini sarebbe la somma a lungo termine di ripetute compensazioni avvenute al termine di ogni ciclo glaciale.

## **6. Conclusioni**

L'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo nella Pianura Padana ha reso disponibile materiale inedito di notevole valore scientifico. Lo studio di questo materiale, prevalentemente finanziato dalla Regione Lombardia, è stato eseguito mediante un approccio multidisciplinare. Il supporto cronologico della magnetostratigrafia e il riconoscimento di importanti variazioni di facies, petrografia e contenuto pollinico nelle carote hanno permesso di riconoscere nel sottosuolo lombardo eventi globali e regionali avvenuti nell'ultimo milione di anni circa. Il più importante di questi eventi stratigrafici è indubbiamente l'inizio delle grandi glaciazioni del Pleistocene, che ha prodotto un drastico cambio nell'architettura deposizionale della Pianura Padana ed un'importante rivoluzione nell'ecologia dell'epoca. Questo evento, datato con la magnetostratigrafia a circa 870.000 anni dal presente, è correlabile a scala globale con la "rivoluzione del Pleistocene medio" (MPR), che segna il passaggio tra il Pleistocene inferiore, più caldo dell'attuale e con ridotte oscillazioni climatiche con frequenza di circa 40.000 anni, ed il Pleistocene medio, caratterizzato dall'alternanza di glaciazioni e periodi caldi interglaciali con frequenza di circa 100.000 anni. Un secondo evento stratigrafico riconosciuto nel sottosuolo grazie allo studio dei sondaggi riguarda il sollevamento dell'alta pianura lombarda, avvenuto nel Pleistocene medio con tassi minimi valutati nell'ordine di 0,1 mm/anno. La natura di questo sollevamento non è univocamente interpretabile, ma allo stato attuale delle conoscenze viene dubitativamente attribuita al bilanciamento isostatico delle Alpi, come conseguenza dell'importante erosione subita durante le glaciazioni del Pleistocene.

## **Ringraziamenti**

Il lavoro qui esposto è il risultato di un'attività svolta da un gruppo di persone in tempi diversi nell'arco di una decina di anni. Si ringraziano per la collaborazione ed il supporto: F. Berra (Università di Milano), C. Carcano (ENI), D. Corbari (Provincia di Cremona), M. Donegana (Provincia di Como), E. Garzanti (Università di Milano-Bicocca), M. Ghielmi (ENI), A. Piccin (Regione Lombardia), R. Pini (CNR-IDPA), C. Ravazzi (CNR-IDPA), S. Rogledi (ENI), S. Rossetti (Regione Lombardia), D. Sciunnach (Regione Lombardia) e G. Vezzoli (Università di Milano-Bicocca). Gli Autori ringraziano A. Amorosi per la lettura critica del testo.

## **Bibliografia**

- Arca S., Beretta G.P. (1985) – Prima sintesi geodetico-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia settentrionale (1897-1957). *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, **2**: 125-156.
- Cande S.C., Kent D.V. (1995) – Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, **100**: 6093-6095.
- Carcano C., Piccin A. (2002) – Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia. 130 pp., SELCA, Firenze.
- CPTI, 2004. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). *INGV, Bologna*. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>
- Desio A. (1965) – I rilievi isolati della pianura Lombarda ed i movimenti tettonici del Quaternario. *Rendiconti dell'Istituto Lombardo*, **A 99**: 881–894.
- Di Dio G. (1998) – Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. 119 pp., SELCA, Firenze.
- Franceschina G., Pessina V., Di Giacomo D., Massa M., Mulargia F., Castellaro S., Mucciarelli M. (2009) – La ricostruzione dello scuotimento del terremoto del Garda del 2004 ( $M_L=5.2$ ). *Italian Journal of Geosciences*, **128**: 217–228.
- 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**: 989-992.
- Ravazzi C., Pini R., Muttoni G., Breda M., Chiesa S., Confortini F., Egli R., Martinetto E. (2005) – The lacustrine deposits of Fornaci di Ranica (late Early Pleistocene, Italian Pre-Alps): stratigraphy, palaeoenvironment and geological evolution. *Quaternary International*, **131**: 35-58.
- Scardia G., Muttoni G., Sciunnach D. (2006) – Subsurface magnetostratigraphy of Pleistocene sediments from the Po Plain (Italy): constraints on rates of sedimentation and rock uplift. *Geological Society of America Bulletin*, **118**: 1299-1312.
- Scardia G., Donegana M., Muttoni G., Ravazzi C., Vezzoli G. – Late Matuyama climate forcing on sedimentation at the fringe of the Southern Alps (Italy). *Quaternary Science Reviews*, submitted.
- Shackleton N.J. (1995) – New data on the evolution of Pliocene climate variability. In: E. Vrba et al. (Eds) - Palaeoclimate and evolution, with emphasis on human origins: 242–248. Yale University Press, New Haven.
- Shackleton N.J., Opdyke N.D. (1976) – Oxygen-isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific core V28-239: Late Pliocene to latest Pleistocene. *Geological Society of America Memoir* **145**: 449-464.

### **Didascalie delle figure**

**Figura 1.** Carta strutturale semplificata della Pianura Padana con l'ubicazione dei sondaggi della Regione Lombardia (da Scardia et al. 2006); sono riportati i principali elementi tettonici sepolti e le isobate in metri della base del Pliocene.



**Figura 2.** Schema lito-cronostratigrafico dei sondaggi della Regione Lombardia. Sono riportati il profilo litologico, la magnetostratigrafia, gli ambienti e i sistemi deposizionali di tutti i sondaggi rappresentativi della pianura lombarda. GPTS da Cande & Kent (1995).

**Figura 3.** Modelli di età dei sondaggi RL1, RL2, RL3, RL4, RL5 e RL7, elaborati con i vincoli cronologici forniti dalla magnetostratigrafia (da Scardia et al. 2006). L'errore relativo a ciascun vincolo è riportato. Le aree grigie si riferiscono agli ipotetici percorsi età-profondità al di sopra del limite B/M.

**Figura 4.** Modello di età del sondaggio RL2 e correlazione con la curva glacio-eustatica ODP677-SPECMAP (da Muttoni et al. 2003). La "superficie rossa" (R surface) corrisponde al MIS 22 e alla rivoluzione del Pleistocene medio (MPR).

**Figura 5.** Modello Digitale del Terreno della Pianura Padana con i sondaggi della Regione Lombardia. Sono riportati in bianco le curve isocinetiche (mm/anno) a breve termine, ricavate dal lavoro di Arca & Beretta (1985) e in nero i principali corsi d'acqua. I sondaggi che hanno fornito indicazioni sul tasso di sollevamento a lungo termine dell'alta pianura lombarda sono riportati in rosso, con i rispettivi tassi calcolati (da Scardia et al. 2006).

*Tabella 1 – Dati relativi ai sondaggi della Regione Lombardia*

<b>Sondaggio</b>	<b>Codice</b>	<b>Coordinate</b>	<b>Profondità</b>	<b>Recupero</b>
Ghedi	RL1	1599830 5033719 109	201	97%
Pianengo	RL2	1554996 5027329 83	200	94%
Cilavegna	RL3	1479211 5018136 115	220	92%
Agrate	RL4	1527893 5045219 155	185	90%
Trezzo	RL5	1539894 5048745 174	152	87%
Cremignane	RL6	1578992 5055640 203	144	84%
Palosco	RL7	1563930 5047651 157	201	91%
Peschiera Borromeo	RL8	1522956 5032854 106	180	95%
Gaggiano	RL9	1501496 5030067 120	150	99%
Milano Triulza	RL10	1507632 5040954 144	100	99%
Milano Parco Nord	RL11	1515003 5041402 139	99	93%
Bagaggera	RL17	1529940 5062060 306	47	95%