

### 6.1.2 - SEDIMENTOLOGIA DEI GRUPPI ACQUIFERI A, B, C, D

In questo studio, condotto con un approccio di tipo multidisciplinare, è proposta una stratigrafia del sottosuolo della pianura lombarda basata sul riconoscimento e definizione di unità idrostratigrafiche, informalmente definite Gruppi Acquiferi A, B, C e D.

In questa sezione sono presentati i principali aspetti sedimentologici dei quattro Gruppi Acquiferi. Tali aspetti sono desunti sia dalla descrizione sedimentologica e correlazione dei carotaggi dei quattro sondaggi, che dall'analisi dei dati di sottosuolo, pozzi e linee sismiche, Eni Divisione Agip.

Vista la precisa finalità del progetto, per la descrizione sedimentologica della successione interessata dai sondaggi si fa esclusivo riferimento alle unità idrostratigrafiche definite. Non si farà quindi cenno alle unità e alle superfici di natura stratigrafico-sequenziale utilizzate nel corso dello studio sedimentologico.

Una volta completata la descrizione e interpretazione sedimentologica, il log sedimentologico di ciascun sondaggio è stato correlato con i log elettrici dei pozzi più prossimi. La correlazione ha permesso di riconoscere le facies elettriche corrispondenti alle principali associazioni di facies sedimentarie delle carote, e di posizionare sul profilo del pozzo le superfici stratigrafiche maggiormente significative dal punto di vista stratigrafico-sedimentologico.

Quindi i sondaggi sono stati confrontati tra di loro mediante la correlazione dei log di pozzo (facies elettriche e superfici stratigrafiche principali) strettamente integrata alla correlazione sismica, lungo linee sismiche selezionate, delle corrispondenti superfici sismo-stratigrafiche.

L'analisi integrata dei sondaggi e dei dati di sottosuolo (pozzi e linee sismiche) così condotta, ha permesso la costruzione di uno schema di correlazione di buon dettaglio.

I sondaggi a carotaggio continuo hanno fornito i dati di migliore qualità per quanto concerne: facies, associazioni di facies, sistemi deposizionali e attribuzioni ambientali. Le considerazioni stratigrafico-sedimentologiche presentate in questa sezione sono basate in buona parte su tali dati, la loro validità è quindi limitata alle aree interessate dai sondaggi.

#### 6.1.2.1 - Gruppo Acquifero D

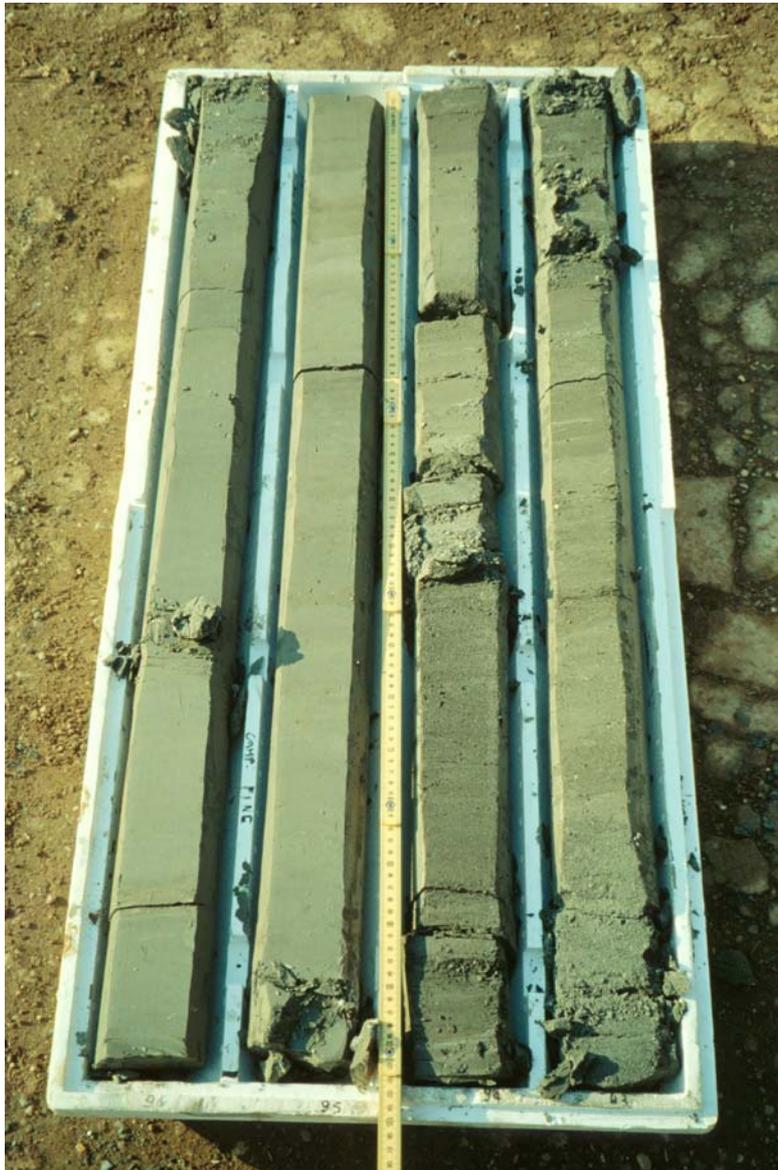
Il Gruppo Acquifero D è stato raggiunto solo dal sondaggio *Agrate RL 4*, che ne ha attraversato la parte sommitale per circa 50 m (132.4 – 185 m).

Le correlazioni con dati di sottosuolo (linee sismiche, log elettrici e dati di pozzo) hanno permesso di attribuire l'intervallo stratigrafico del gruppo alla parte alta del Pleistocene inferiore.

Nel sondaggio il Gruppo Acquifero è rappresentato da una sequenza di facies negativa (Coarsening Upward - CU) caratterizzata da argilla siltosa e silt con intercalazioni di sabbia fine e finissima in strati sottili alla base, sabbia grigia fine e media bioturbata nella parte intermedia, e ghiaia poligenica grigia alternata a sabbia nella parte alta. La successione sedimentaria è attribuita, in accordo con i dati di sottosuolo, ad un sistema deposizionale di delta-conoide progradante da Nord verso Sud (direzione di progradazione desunta dall'analisi delle linee sismiche dell'area).

#### 6.1.2.2 - Gruppo Acquifero C

Il Gruppo Acquifero C è stato interessato da tutti i sondaggi. Il sondaggio *Agrate RL 4* lo ha completamente attraversato; il sondaggio *Pianengo RL 2* si è avvicinato alla base senza raggiungerla; i sondaggi *Ghedi RL 1* e *Cilavegna RL 3* ne hanno attraversato la parte alta. Gli spessori interessati da carotaggio continuo sono compresi tra 75 m (*Agrate RL 4*) e 130 m (*Ghedi RL 1*).



*Agrate RL 4.*

La descrizione sedimentologica dei sondaggi presenta in modo sintetico solo gli aspetti sedimentologici principali della successione carotata (litologia, colore, granulometria, stratificazione, ecc.). Per brevità non sono invece riportati altri importanti aspetti sedimentologici osservati nel corso dell'analisi di dettaglio delle carote (superfici e ciclicità della stratificazione, contenuto paleontologico, sequenze di facies, ciclicità sedimentarie

Fotografia 6.1 Gruppo Acquifero C, sondaggio *Ghedi RL 1*, profondità 92-96 m. È rappresentato il passaggio tra gli intervalli 10 (prevalenti sabbie di ambiente transizionale) e 11 (limi di ambiente da transizionale a marino).



Fotografia 6.2 Gruppo Acquifero D, sondaggio *Agrate RL 4*, profondità 148-152 m. Si notino le marcate e brusche variazioni granulometriche, da ghiaia a limo.



Fotografia 6.3 Gruppo Acquifero C, sondaggio *Pianengo RL 2*, profondità 128.0-128.1 m. Stratificazione da alternante a lenticolare, interpretabile come flaser o lenticular bedding.



Fotografia 6.4 Gruppo Acquifero D, sondaggio *Agrate RL 4*, profondità 182.0-182.3 m. Laminazioni oblique ad alto angolo in alternanze sabbia-limo. Si notino i frammenti vegetali ossidati a 182.1 m.

Il limite con il soprastante Gruppo Acquifero B è stato definito in tutti i sondaggi. Il limite con il sottostante Gruppo Acquifero C è stato osservato solo nel sondaggio di *Agrate RL 4*.

Sulla base delle correlazioni con dati di sottosuolo (linee sismiche, log elettrici e dati di pozzo), il Gruppo Acquifero C è stato attribuito alla parte bassa del Pleistocene medio.

Un importante evento trasgressivo ripartisce la successione sedimentaria del Gruppo Acquifero C in due distinti cicli regressivi.

Il ciclo regressivo inferiore è stato estesamente carotato solo dal sondaggio *Pianengo RL 2*, che lo ha attraversato per circa 50 m senza però raggiungerne la base. In tale sondaggio il ciclo è rappresentato alla base da sedimenti marini di piattaforma: argilla siltoso-sabbiosa, grigia, fossilifera. Si passa quindi ad ambienti transizionali, prima con un sistema litorale a prevalente sabbia grigia fine e finissima, bioturbata, laminata o massiva, fossilifera; quindi a un sistema deltizio a sabbia grigia, media, classata, laminata, a stratificazione media e spessa, con frustoli vegetali.

La parte alta del ciclo è rappresentata da sedimenti continentali di piana alluvionale con sabbia grigia da finissima a media, laminata, alternata ad argilla siltosa verde e argilla palustre bruno-nerastra ricca in materia organica. Si riconoscono due tipi di sequenze di facies positive (Fining Upward - FU). Una sequenza di canale fluviale (barra di meandro), spessore 2 – 5 m, con prevalente sabbia fine e media, classata, laminata o massiva, a stratificazione media e spessa; e una sequenza di rotta d'argine di canale fluviale, spessore 0.5 - 1.5 m, con alla base sabbia finissima e fine, laminata, a stratificazione da molto sottile a media, e a tetto, con passaggio transizionale, argilla siltosa verde e argilla nera palustre.

Una fase trasgressiva interrompe il ciclo regressivo inferiore, prima con le facies transizionali di un sistema litorale a prevalenti sabbie finissime e silt bioturbati, quindi con argilla marina, grigia, fossilifera, di piattaforma.

I sedimenti continentali di piana alluvionale del ciclo inferiore sono stati raggiunti probabilmente anche dal sondaggio *Cilavegna RL 3* (179.5? – 220 m). L'intero ciclo è invece assente nel sondaggio *Agrate RL 4*, in conseguenza di un progressivo onlap della sua successione contro i depositi del Gruppo Acquifero D; mentre tale ciclo non è stato raggiunto nel sondaggio *Ghedi RL 1* (dati da interpretazione sismica e correlazione pozzi).

Il ciclo regressivo superiore del Gruppo Acquifero C è invece stato attraversato da tutti i sondaggi. Nei sondaggi *Pianengo RL 2* e *Agrate RL 4* esso è costituito nella parte bassa da una sequenza di facies negativa (CU) di progradazione di sistemi deltizi (ambiente transizionale), con prevalente sabbia grigia fine e media, in strati gradati da medi a molto spessi, laminata, con abbondanti frammenti vegetali (frustoli, legno). Segue una sedimentazione in ambiente continentale di piana alluvionale con sabbia grigia da finissima a media alternata ad argilla siltosa verde e argilla palustre bruno-nerastra. Si riconoscono le due sequenze di facies FU di canale fluviale (barra di meandro) e di rotta d'argine di canale fluviale già descritte nella successione di piana alluvionale del ciclo inferiore.

Nel sondaggio più occidentale, *Ghedi RL 1*, prevalgono i sedimenti di ambiente transizionale (sistemi deltizi e litorali) e marini (sistemi di piattaforma). Gli ambienti continentali di piana alluvionale con alternanze di sabbia grigia e argilla verde si instaurano tardivamente e sono presenti solo nella parte alta dell'intervallo stratigrafico. Per contro il sondaggio *Cilavegna RL 3*, posto più ad occidente e non raggiunto dalla trasgressione marina, è interamente rappresentato da sedimenti continentali di piana alluvionale caratterizzati da una netta prevalenza delle sabbie sulle argille e delle sequenze di facies di canale fluviale su quelle di rotta d'argine. Le sequenze FU di rotta d'argine sono caratterizzate da argille verdi molto siltose fino a sabbiose, dalla scarsa presenza di argille bruno-nerastre palustri, e all'opposto dalla presenza abbondante di concrezioni carbonatiche nodulari. Questi caratteri

sedimentari delle associazioni di facies sono riconducibili ad una piana alluvionale più prossimale.

Nel suo complesso il Gruppo Acquifero C corrisponde ad una fase di rapida progradazione da Ovest verso Est dei sistemi deposizionali padani (sistemi di scarpata, di piattaforma, transizionali e quindi continentali), progradazione che determina il rapido colmamento dei bacini profondi a sedimentazione torbida ancora presenti nella parte orientale e Sud-orientale della Lombardia.

La generale evoluzione regressiva del gruppo è interrotta, con la deposizione di argille grigie marine di piattaforma, da almeno un'importante fase di rapida trasgressione.

Nei sondaggi il Gruppo Acquifero C presenta una notevole variabilità sedimentaria con l'alternanza di depositi marini di piattaforma silicoclastica, depositi di transizione deltizi e litorali, depositi continentali di piana alluvionale con sistemi fluviali a meandri.

I dati petrografici (vedi 7.2) e le variazioni laterali di facies osservate nei sondaggi accreditano l'esistenza di un'importante componente da occidente negli apporti fluviali, con probabile direzione degli apporti da Nord-Ovest verso Sud-Est (e forse da Ovest verso Est).

La notevole variabilità sedimentaria del Gruppo Acquifero C ha importanti conseguenze di natura idrogeologica.

Gli intervalli sabbiosi dei sistemi deltizi e litorali rappresentano dei serbatoi caratterizzati da significativo spessore (10 – 30 m), buona continuità laterale, e da buone caratteristiche idrogeologiche per quanto concerne porosità e permeabilità (sabbie fini e medie, classate, prive di intercalazioni argillose). Le alternanze continentali di sabbie grigie e argille verdi di piana alluvionale rappresentano un serbatoio dalle buone caratteristiche soprattutto negli intervalli in cui prevalgono le sequenze di canale; esse possono invece garantire un sufficiente confinamento e protezione delle falde sottostanti laddove prevalgono sequenze più argillose di rotta d'argine. Al contrario, il livello impermeabile di argille marine trasgressive, contraddistinto da significativo spessore stratigrafico e da notevole continuità laterale (verificati con i dati di sottosuolo), compartimenta il gruppo in due distinti acquiferi su un ampio settore della pianura lombarda.

### 6.1.2.3 - Gruppo Acquifero B

Il Gruppo Acquifero B è stato raggiunto e completamente attraversato da tutti i sondaggi. Gli spessori stratigrafici sono compresi tra 40 e 50 m.

Per le forti analogie litologiche e sedimentarie, il limite del Gruppo Acquifero B con il soprastante gruppo A non è stato definito in tutti i sondaggi. E' invece risultata più agevole la determinazione del limite con il sottostante Gruppo Acquifero C.

La successione sedimentaria del gruppo mostra in tutti i sondaggi un generale aumento verso l'alto della granulometria dei sedimenti.

Dall'analisi dei sondaggi si evidenzia anche una chiara variazione laterale di facies con litologie prevalentemente ghiaiose nelle aree settentrionali più prossime alle aree di alimentazione, che passano a prevalenti sabbie nei sondaggi più meridionali e più distanti dalle aree di alimentazione.

La successione del gruppo è suddivisibile in due distinti cicli positivi (FU) di pari spessore: circa 20 m.

Nel ciclo inferiore prevalgono le litologie sabbiose, con sabbia grigia o grigio-giallastra, da fine a grossolana (media prevalente), raramente ciottolosa, massiva o laminata, in strati gradati da sottili a molto spessi; presenti frustoli e tronchi. Nei sondaggi *Cilavegna RL 3* e *Agrate RL 4* sono presenti intercalazioni subordinate di argilla siltosa verde e silt. Intercalazioni di ghiaia poligenica sono presenti solo nel sondaggio di *Ghedi RL 1*.

Il ciclo superiore è caratterizzato da granulometrie più grossolane, con chiara prevalenza delle ghiaie nei sondaggi più settentrionali e prossimi

alle aree alpine di alimentazione, e delle sabbie in quelli più meridionali e distali.

Nei sondaggi di *Ghedi RL 1* e *Agrate RL 4* l'intervallo è rappresentato prevalentemente da ghiaia poligenica anche grossolana, da grigia a grigio-giallastra, a matrice sabbiosa medio-grossolana, a stratificazione da



Fotografia 6.5 Gruppo Acquifero B, sondaggio *Agrate RL 4*, profondità 52-56 m. Si noti il passaggio da prevalenti sabbie ossidate (giallo ocra) a limi torbosi (grigio) depositi invece in ambiente riducente.

media a molto spessa; con subordinate intercalazioni di sabbia e sabbia ciottolosa grigio-giallastra da media a grossolana. Nei sondaggi più meridionali (e distali) di *Pianengo RL 2* e *Cilavegna RL 3*, il ciclo superiore è invece rappresentato da sabbia grigia o grigio-verde, media e grossolana, laminata o massiva, a stratificazione da media a molto spessa, talvolta con livelli di sabbie ciottolosa a base strato.

Il limite di base del Gruppo Acquifero B coincide con una fase di fondamentale importanza nell'evoluzione sedimentaria della pianura lombarda per quanto attiene a litologie, facies sedimentarie, ambienti e sistemi deposizionali, direzioni degli apporti.

In tutto il settore di pianura lombarda interessata dai sondaggi, il Gruppo Acquifero B segna il passaggio alla deposizione generalizzata di sedimenti grossolani, rappresentati da sabbie medio-grossolane, sabbie ciottolose, ghiaie a matrice sabbiosa.

L'ambiente di sedimentazione è esclusivamente continentale, con sistemi deposizionali di piana alluvionale dominata da sistemi fluviali braided ad alta energia, caratterizzati da sedimenti sabbioso-ghiaiosi, classazione mediocre o bassa, stratificazione prevalentemente spessa e molto spessa con amalgamazione degli strati, ecc. Si osserva inoltre un importante cambio nella direzione degli apporti con generali provenienze da Nord verso Sud e rapide variazioni laterali di facies con il progressivo allontanarsi dalle aree di alimentazione rappresentate dai settori alpini in erosione.

Si ritiene, anche sulla base dei dati paleontologici, che il rapido passaggio a sistemi fluviali ad alta energia di tipo braided vada posto in relazione con un rapido deterioramento del clima connesso alle fasi glaciali pleistoceniche.

La successione del Gruppo Acquifero B è prevalentemente costituita da sedimenti, quali sabbie medio-grossolane e ghiaie a matrice sabbiosa, caratterizzati da porosità e permeabilità elevate.

I sedimenti fini, molto subordinati, sono limitati alla parte bassa della successione (ciclo positivo inferiore) con intercalazioni di argilla siltosa e silt di spessore decimetrico fino a metrico. In conseguenza degli accertati processi di variazione laterale di facies da Nord verso Sud, si può prevedere un aumento della frequenza e spessore dei livelli argillosi a bassa permeabilità nei settori meridionali della pianura lombarda con positive conseguenze sul confinamento e vulnerabilità delle falde.

#### 6.1.2.4 - Gruppo Acquifero A

Il Gruppo Acquifero A è stato completamente attraversato da tutti i sondaggi. Lo spessore, piuttosto ridotto, è di norma compreso tra 20 e 40 m, con l'eccezione del sondaggio *Cilavegna RL 3* dove supera i 70 m.

Il Gruppo Acquifero A presenta forti analogie con il sottostante Gruppo B per quanto attiene a litologie e facies sedimentarie, e alla loro interpretazione in termini di ambienti e sistemi deposizionali. Tali analogie non hanno permesso il riconoscimento del limite nel sondaggio *Ghedi RL 1*.

Nel gruppo A rientrano le litologie più grossolane incontrate dai singoli sondaggi. Il gruppo è prevalentemente rappresentato da ghiaie e ghiaie grossolane, poligeniche, da grigie a grigio-giallastre, a matrice sabbiosa da media a molto grossolana, a stratificazione da media a molto spessa. Molto subordinati gli intervalli sabbiosi, con sabbia giallastra, da media a molto grossolana, spesso ciottolosa.

L'ambiente di sedimentazione è continentale; dominano le piane alluvionali con sistemi fluviali di tipo braided. Gli apporti, molto grossolani, provengono dalle prospicienti aree alpine in erosione, con direzioni degli apporti da Nord a Sud.

I caratteri sedimentari della successione del gruppo (granulometria grossolana dei sedimenti, classazione scarsa o assente, caratteri della stratificazione, tipi di strutture sedimentarie, ecc.) sono compatibili con sistemi fluviali caratterizzati da un'elevata energia dei processi

sedimentari, energia determinata dalle fasi di deterioramento climatico dei cicli glaciali pleistocenici.



Fotografia 6.6 Gruppo Acquifero A, sondaggio *Cilavegna RL 3*, profondità 40-44 m. Ghiaie a matrice sabbiosa.

Allontanandosi dalle aree alpine di alimentazione, la successione sedimentaria del gruppo mostra una chiara variazione laterale di facies, con graduale aumento verso Sud delle litologie sabbiose a scapito di quelle ghiaiose.

Nei sondaggi *Ghedi RL 1* e *Agrate RL 4*, più prossimi alle aree di alimentazione alpine, le litologie grossolane rappresentano l'intera successione del gruppo. Nei sondaggi di *Pianengo RL 2* e *Cilavegna RL 3*, situati in posizioni più meridionali e più distali rispetto alle aree di alimentazione, risultano invece ben rappresentate anche le litologie sabbiose, con sabbia grigia o giallastra, da finissima a molto grossolana, massiva o laminata, talvolta ciottolosa, in strati gradati da medi a molto spessi.

La successione del Gruppo Acquifero A è costituita da facies sedimentarie a porosità e permeabilità elevate, quali ghiaie e ghiaie grossolane a matrice sabbiosa, e sabbie medio-grossolane.

Nella successione del gruppo sono presenti intercalazioni decimetriche di argilla e argilla siltosa. Dato il ridotto spessore e il basso potenziale di preservazione (determinato dall'elevata energia dei processi fluviali dominanti) si ritiene che nelle aree interessate dai sondaggi tali livelli argillosi non possano determinare, se non a scala locale, dei confinamenti della falda.

## 6.2 – PETROGRAFIA

Su campioni selezionati provenienti dai quattro sondaggi a carotaggio continuo, è stata svolta un'indagine petrografica quantitativa con lo scopo di ottenere nuove informazioni sulla evoluzione dei sistemi deposizionali durante la seconda metà del Quaternario.

Gli obiettivi principali della ricerca erano:

1. - definire per ciascun sondaggio gli intervalli petrologici incontrati, individuando cambiamenti di composizione che possano costituire dei marker stratigrafici e dunque fornire un elemento indipendente di correlazione tra i diversi sondaggi;
2. - controllare la corrispondenza o meno dei cambiamenti di composizione osservati in sondaggio con i limiti di sequenza tettono-eustatici riconosciuti dall'analisi dei profili sismici a riflessione;
3. - fornire informazioni complementari per chiarire il significato geologico di tali discordanze maggiori;
4. - dettagliare ulteriormente il numero di superfici tracciabili tra sondaggi e possibilmente alla scala del bacino, in modo da ricostruire caratteristiche e geometria dei corpi sepolti.

La conoscenza accurata dell'architettura del complesso cuneo sedimentario costituito dalla Pianura Padana costituisce un obiettivo di importanza fondamentale per la ricerca geologica. Le geometrie dei corpi sepolti, direttamente controllate dall'evoluzione dei sistemi di drenaggio, hanno implicazioni dirette nella ricerca di risorse idriche e nelle analisi che riguardano gli inquinamenti delle falde acquifere.

### 6.2.1 - METODOLOGIA

Sono stati scelti 76 campioni, così distribuiti sui quattro sondaggi:

<i>Ghedi RL 1:</i>	19 campioni su 201 m di sondaggio
<i>Pianengo RL 2:</i>	21 campioni su 200 m di sondaggio
<i>Cilavegna RL 3:</i>	17 campioni su 220 m di sondaggio
<i>Agrate RL 4:</i>	19 campioni su 185 m di sondaggio

I campioni sono stati identificati con una sigla indicante ciascun sondaggio (G = *Ghedi RL 1*; P = *Pianengo RL 2*; C = *Cilavegna RL 3*; A =

*Agrate RL 4*) e con la profondità progressiva in metri dove è stato prelevato il campione.

Il lavoro analitico è stato svolto completamente all'oscuro delle relazioni stratigrafiche precedentemente elaborate, in modo da garantire la massima oggettività possibile dei risultati.

Tutti i campioni sono stati trattati e setacciati, in modo da eliminare le frazioni siltoso-argillose e ghiaiose, inadatte alla analisi petrografica. La frazione sabbiosa è stata poi impregnata con resina (araldite) e consolidata, per ottenere sezioni sottili adatte allo studio al microscopio. Le sezioni sottili sono state quindi trattate con colorante organico (alizarina rossa) per aiutare la distinzione al microscopio tra calcite e dolomite.

Per ogni sezione sottile, al microscopio sono stati conteggiati 400 punti (tranne un paio di campioni a grana fine, per i quali sono stati contati 300 punti) secondo il metodo Gazzi-Dickinson (Gazzi, 1966; Dickinson, 1970; Ingersoll et al., 1984; Zuffa, 1985). Per ricavare dall'analisi petrografica tutte le informazioni possibili è stata utilizzata una scheda di conteggio molto dettagliata, che riconosce oltre un'ottantina tra categorie e sub-categorie di granuli e consente di registrare anche le singole specie mineralogiche che costituiscono i frammenti di roccia a grana grossolana, consentendo così di calcolare parametri petrografici confrontabili a quelli ottenuti sia con il metodo di conteggio tradizionale sia con il metodo Gazzi-Dickinson, conciliando in tal modo ogni tipo di esigenza (e.g., Decker e Helmold, 1985; Suttner e Basu, 1985).

Per non limitare l'analisi dei dati ai parametri canonici presi a tre a tre e plottati su diagrammi triangolari (e.g., Dickinson, 1985; Ingersoll et al. 1993), l'individuazione degli intervalli petrologici è stata effettuata in base all'intera gamma dei dati ottenuti. Per ottenere una sintesi efficace e completa, invece dei tre parametri classici Q (quarzo), F (feldspati) e L (litici) è stato utilizzato uno spettro di nove parametri chiave: Q= quarzo; F= feldspati; Lv= litici vulcanici; Li= litici intrusivi a grana fine (apfiliti, granofiri); Lc= litici carbonatici; Lt= litici terrigeni (argilliti, siltiti); Lch= selce; Lm= litici metamorfici (metapeliti, metafelsiti e metabasiti); Lu= litici ultramafici (serpentino). Tali indici sono indispensabili per discriminare tra i vari tipi di arenarie orogeniche, che contengono un'ampia gamma di frammenti litici (e.g., provenienze da "collision orogen", "foreland uplift" e "subduction complex" di Dickinson e Suczek, 1979). Oltre ai rapporti Qp/Q (quarzo policristallino/quarzo totale) e P/F (plagioclasio/totale feldspati), si è utilizzato il rapporto Cd/C (frammenti di dolomie/totale frammenti di rocce carbonatiche), utile a discriminare gli apporti da rocce dolomitiche (diffuse nel Dominio Sudalpino essenzialmente nel Triassico) e calcaree (predominanti nel Giurassico e nel Cretaceo), il rapporto Im/I (frammenti di rocce intrusive intermedie e mafiche/totale frammenti di rocce intrusive), il rapporto Vm/V (frammenti di rocce vulcaniche intermedie e mafiche/totale frammenti di rocce vulcaniche), e il rapporto Mb/M (frammenti di metabasiti/totale frammenti di rocce metamorfiche). Nel calcolare il rapporto P/F si è seguita la logica Gazzi-Dickinson, contando quindi anche i feldspati presenti nei frammenti di roccia a grana grossolana. Gli altri rapporti sono invece calcolati con logica tradizionale, in modo da poter prendere in considerazione il maggior numero di granuli possibile e dunque ottenere dei rapporti significativi.

I dati ottenuti sono stati poi elaborati mediante l'uso di fogli elettronici standard (Excel) per ricalcolare tutta la possibile gamma di parametri primari e secondari, opportuni per elaborare confronti con i dati modali dei sistemi fluviali attuali. Confrontando ciascun intervallo petrologico individuato con la composizione attuale dei sedimenti trasportati dagli affluenti alpini del Po è possibile verificare in chiave attualistica e indipendente le ipotesi formulate sulle modificazioni subite dalla rete idrografica nel tempo (e.g., migrazione dei paleoalvei; Garzanti et al., 1999) e sui rapporti tra idrografia ed evoluzione tettonica, climatica ed eustatica. Tali metodologie, messe a punto negli ultimi anni presso l'Università di Milano-Bicocca, consentono di ottenere una notevole risoluzione, soprattutto se integrate dallo studio dei minerali ad elevata

densità, nel discriminare tra le diverse provenienze del detrito orogenico (e.g., Garzanti et al., 2000; 2001; in stampa).

## 6.2.2 - RISULTATI DELLE ANALISI PETROGRAFICHE

### 6.2.2.1 - Sondaggio Ghedi RL 1

Il sondaggio è stato effettuato nella media pianura bresciana a circa uguale distanza dai corsi attuali del Chiese e del Mella, entrambi affluenti dell'Oglio. La composizione dei sedimenti attraversati dal sondaggio è stata confrontata coi sedimenti attuali trasportati da questi due fiumi, dal loro sbocco nell'alta pianura fino alla loro confluenza con l'Oglio. (Battagion, 2000).

#### **Sedimenti di 1° ciclo del paleo-Chiese.**

Dei 19 campioni analizzati, solo due mostrano composizione compatibile con i sedimenti di 1° ciclo trasportati oggi dal Chiese: il più superficiale tra quelli analizzati (progressiva – 26.3 m; “intervallo petrologico A1a”), e quello prelevato a – 71.8 m sotto il piano campagna (“intervallo petrologico B2”). Tutti i parametri principali e secondari mostrano che tali livelli corrispondono alla conoide attiva del fiume Chiese durante il Quaternario superiore (“*petrofacies Sudalpina*”).

#### **Sedimenti a provenienza mista.**

Per gli altri campioni, decisamente arricchiti in quarzo ( $Q \geq 37$ ) rispetto ai sedimenti di 1° ciclo ( $Q \leq 13$ ), la diagnosi di provenienza è meno semplice.

Si possono distinguere due gruppi di campioni:

Il primo gruppo è costituito da due campioni singoli, prelevati a –35.9 m (“intervallo petrologico A1b”) e a – 123.9 m (“intervallo petrologico C2”), che hanno contenuto in quarzo relativamente basso e composizione ( $Q\ 37 - 39$ ;  $Lv\ 8$ ,  $Vm/V\ 8 - 19$ ;  $Lc\ 26 - 32$ ,  $Cd/C\ 42 - 51$ ) simile ai sedimenti attuali del Mella nella bassa pianura. Si tratta dunque possibilmente di sedimenti della conoide del Mella, però già a una notevole distanza dal fronte attivo della catena, con rilevante mescolamento, così come avviene oggi, coi sedimenti della pianura (“*petrofacies Sudalpina mista*”).

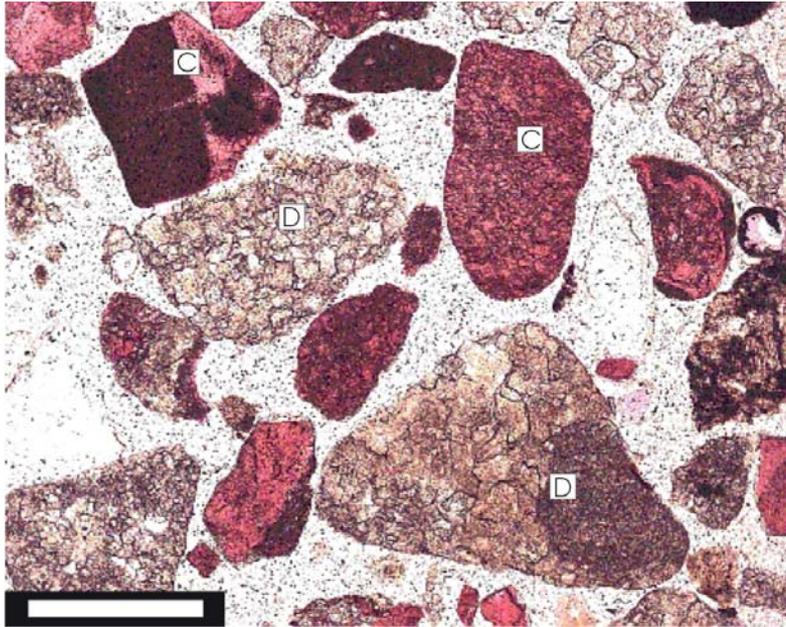
Il secondo gruppo è costituito da tre campioni (compresi tra – 49,6 m e – 59,6 m; “intervallo petrologico B1”) che hanno contenuto in quarzo relativamente elevato ( $Q\ 48 - 55$ ), e contengono litici vulcanici per lo più felsitici e litici calcarei o dolomitici ( $Lv\ 8 - 14$ ,  $Vm/V\ 9 - 17$ ;  $Lcm/s\ 6 - 18$ ,  $Cd/C\ 8 - 59$ ), ma anche litici metamorfici (prevalentemente metafelsitici;  $Lm\ 12 - 22$ ,  $Mb/M\ 5 - 9$ ). La composizione, seppur leggermente arricchita in quarzo e litici vulcanici, è confrontabile con quella dei sedimenti trasportati dal fiume Oglio nella media e bassa pianura (“*petrofacies mista*”).

#### **Sedimenti a provenienza alpina**

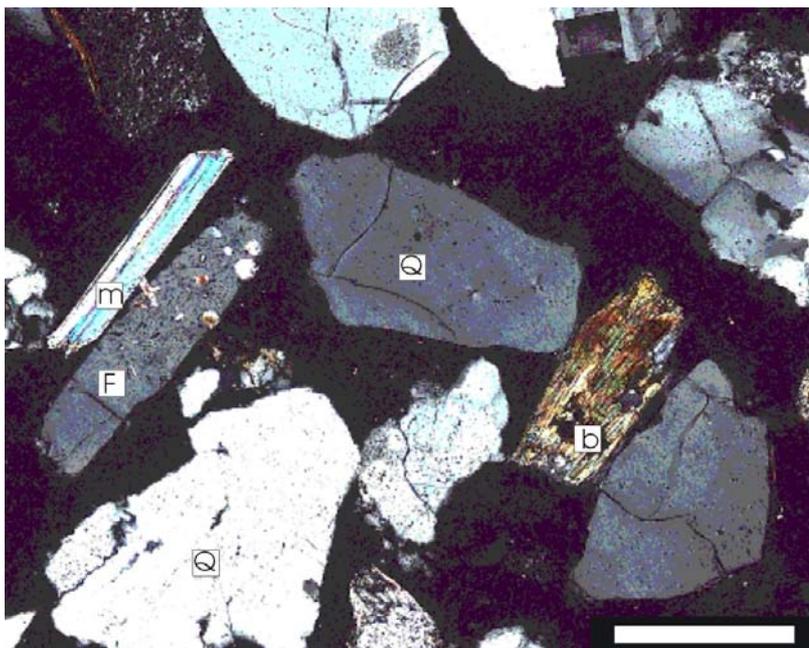
Il campione prelevato a – 47.9 m (“intervallo petrologico A2”), i 3 campioni prelevati tra – 90.5 m e – 108.6 m (“intervallo petrologico C1”), e tutti gli 8 campioni prelevati da – 141.0 m fino a fondo foro (“intervallo petrologico C3”) hanno elevato tenore in quarzo e feldspati, con subordinati litici metamorfici e rari litici sedimentari e vulcanici ( $Q\ 60 - 74$ ;  $F\ 13 - 19$ , tranne il campione più superficiale, dove  $F\ 7$ ;  $Lv \leq 2$ ;  $Lc \leq 12$ ;  $Lm\ 5 - 16$ ; “*petrofacies alpina*”). La composizione è incompatibile con quella dei sedimenti trasportati da tutti i fiumi lombardi attuali, eccettuato il Ticino. La scarsità di serpentino ( $Lu \leq 1$ ) permette di escludere un'influenza da parte del Po (nei cui sedimenti attuali  $Lu\ 3 - 11$ ).

### 6.2.2.2 - Sondaggio *Pianengo RL 2*.

Il sondaggio è stato effettuato nella media pianura cremonese, in riva destra dell'attuale corso del Serio, qualche chilometro a Nord di Crema. I campioni di sedimenti attuali di riferimento sono quelli prelevati lungo il corso del Serio, dallo sbocco in pianura fino alla sua confluenza con l'Adda (Garzanti et al., 1998).



Fotografia 6.7 *Ghedi RL 1 71 m* Petrofacies Sudalpina dominata da litici calcarei (C) e dolomitici (D), progressiva -71.8 m; 1 m sopra la superficie stratigrafica di 0.65 Ma, base del Gruppo Acquifero B. La composizione è analoga a quella delle sabbie attuali del Chiese allo sbocco in pianura. Scala = 250 micron.



Fotografia 6.8 *Pianengo RL 2* 38 m Petrofacies alpina a quarzo (Q), feldspati (F), e miche (m= muscovite; b= biotite) progressiva -38.3 m; 30 cm al di sotto della superficie stratigrafica di 0.45 Ma, base del Gruppo Acquifero A. La composizione è analoga a quella delle sabbie trasportate oggi dal Ticino. Nicol incrociati. Scala = 250 micron.

#### **Sedimenti di 1° ciclo del paleo-Serio.**

Solo il campione prelevato alla progressiva – 63,0 m (“intervallo petrologico B2”) ha composizione paragonabile a quella dei sedimenti attuali del Serio all’uscita della Val Seriana, derivati dall’erosione delle Prealpi Orobieche. Il campione in sondaggio è addirittura più ricco in litici carbonatici, sia calcarei che dolomitici, e più povero in litici metamorfici e in minor misura in quarzo e feldspati, rivelando una chiara provenienza di 1° ciclo (“*petrofacies Sudalpina*”).

#### **Sedimenti affini a quelli del Serio nella media pianura.**

I due campioni tra le progressive – 39,9 m e 44,0 m (“intervallo petrologico B1”), e il campione alla progressiva –80,6 m (“intervallo petrologico B3”), hanno composizioni (Q 39 – 48, F 5 – 15, Lv 5 – 8, Lc 14 – 26 Lm 10 – 18) confrontabili a quella dei sedimenti trasportati dal Serio oggi nella zona di *Pianengo RL 2* (“*petrofacies Sudalpina mista*” e “*mista*”). Si tratta dunque probabilmente di sedimenti della conoide del Serio però già a una notevole distanza dal fronte attivo della catena, con rilevante mescolamento, così come avviene oggi, coi sedimenti della pianura.

Il campione alla progressiva –121,0 m (“intervallo petrologico C2”) ha composizione abbastanza simile ma quasi priva di litici carbonatici e con serpentino significativo (Lc 2, Lu 3), più simile a quella dell’Adda attuale (“*petrofacies alpina mista*”).

### **Sedimenti a provenienza alpina.**

Tutti gli altri campioni, inclusi i sette campioni più superficiali, dalla progressiva – 5,9 m a – 38,3 m (“intervallo petrologico A”), i due campioni tra le progressive – 83,8 m e – 103,0 m (“intervallo petrologico C1”), e i cinque campioni dalla progressiva – 131,8 m fino a –173,5 m (“intervallo petrologico C3”), hanno elevato tenore in quarzo e feldspati, con subordinati litici metamorfici e rari litici sedimentari e vulcanici (Q 59 – 75; F 13 – 20;  $Lv \leq 4$ ;  $Lc \leq 13$ ; Lm 4 – 20; “*petrofacies alpina*”). La composizione, del tutto paragonabile a quella riscontrata anche in diversi campioni nel sondaggio di *Ghedi RL 1*, è incompatibile con quella dei sedimenti dei fiumi attuali lombardi (incluso il Po), se si eccettua il Ticino. I tre campioni più superficiali (tra –5,9 e -11,5 m) includono anche qualche frammento di serpentino e di metabasiti (Mb/M 17 – 19;  $Lu \leq 2$ ), suggerendo un contributo minore da ofioliti alpine, presenti nel bacino dell’Adda.

I due campioni più profondi (tra –189,3 m e -195,7 m; “intervallo petrologico D1”) hanno composizione simile, ma con meno feldspati, e litici calcarei e dolomitici più abbondanti (F 9 – 10; Lc 9 – 18, Cd/C 50 – 55; “*petrofacies alpina mista*”).

### **6.2.2.3 - Sondaggio *Cilavegna RL 3***

Il sondaggio è stato effettuato in Lomellina, tra gli attuali corsi d’acqua del Terdoppio e dell’Agogna. I campioni di sedimenti attuali di riferimento sono quelli prelevati lungo questi due corsi d’acqua minori, che hanno però un bacino idrografico fondamentalmente limitato ad aree di pianura, e più in generale quelli prelevati nei bacini del Ticino e del Sesia (Battagion, 2000; Russo, 2001).

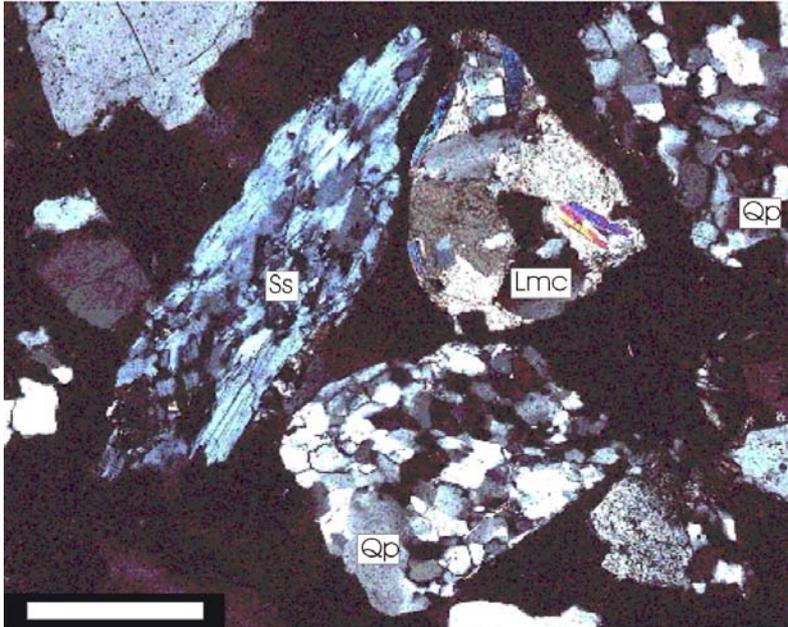
Il sondaggio *Cilavegna RL 4* mostra una sola variazione di composizione significativa, tra la progressiva –97 m e –114,4 m. Tutti i campioni prelevati in sondaggio mostrano un netto predominio di quarzo, feldspati e litici metamorfici (“*petrofacies alpina*”).

### **Campioni tra il piano campagna e la progressiva –97 m.**

I campioni fino alla progressiva –97,0 m mostrano composizione omogenea (Q 52 – 60, tranne un campione; F 28 – 40; Lm 8 – 11 e Mb/M  $\leq 7$  “*petrofacies alpina pura*”). Il contributo delle coperture è sempre trascurabile, ma leggermente più abbondante nei campioni stratigraficamente più alti ( $Lv \leq 1$ ;  $Lc \leq 4$ ;  $Lp < 1$ ;  $Lch \leq 3$ ), mentre serpentinoscisti sono un po’ più frequenti nei campioni stratigraficamente più bassi ( $Lu 2$ ). Tale composizione, non molto diversa da quella dei sedimenti trasportati oggi dall’Agogna, dal Terdoppio o dal Ticino, è però più ricca in feldspati, rendendola più paragonabile alle sabbie del Sesia.

### **Campioni tra le progressive –114 m e –214 m.**

I campioni al di sotto della progressiva –114 m mostrano minore abbondanza in quarzo e feldspati, leggermente più diffusi litici metamorfici, e significativo contenuto in calcescisti, metabasiti e serpentino (Q 44 – 50; F 23 – 30; Lc 4 – 15, Cd/C 20 – 50; Lm 12 – 16, Mb/M 7 - 13, tranne un campione;  $Lu 1 - 4$ ; “*petrofacies alpina*”). Tale composizione ricorda quella dei sedimenti dei grandi fiumi alpini che drenano in parte rocce ofiolitiche, come la Dora Baltea.



Fotografia 6.9 *Cilavegna RL 3* 124 m Petrofacies alpina a quarzo policristallino (Qp), calcescisti (Lmc) e serpentinoscisti (Ss), progressiva - 124.5 m; 8 m al di sotto della superficie stratigrafica di 0.65 Ma, tetto del Gruppo Acquifero C. La composizione è confrontabile con quella delle sabbie dei fiumi che drenano le falde di rocce metamorfiche e ofiolitiche delle Alpi Occidentali, come la Dora Baltea. Nicol incrociati. Scala = 250 micron.

#### 6.2.2.4 - Sondaggio Agrate RL 4

Il sondaggio è stato effettuato nella media pianura, tra gli attuali corsi d'acqua del Lambro e della Molgora, pochi chilometri a Nord - Est di Milano. I campioni di sedimenti attuali di riferimento sono quelli prelevati lungo questi due corsi d'acqua minori, che hanno però un bacino idrografico essenzialmente limitato ad aree di pianura, e più in generale tutti quelli prelevati nel bacino dell'Adda (Garzanti et al., 1998).

##### **Sedimenti a provenienza Sudalpina.**

I campioni di tre distinti intervalli petrologici indicano provenienze sudalpine, sempre però con diffusi quarzo, feldspati e litici metamorfici ("*petrofacies sudalpina mista*").

Il campione prelevato alla progressiva -95,2 m ("intervallo petrologico C2a") ha composizione molto simile a quella dei sedimenti del Lambro nell'alta Brianza (Lc 38, Cd/C 33; Lch 4).

Molto caratteristica è la composizione dei campioni tra le progressive -36,7 m e -39,8 m ("intervallo petrologico B"), in cui la notevole abbondanza di selce e il predominio dei litici calcarei su quelli dolomitici indicano un notevole contributo dalle successioni giurassiche, simili a quelle affioranti nel Triangolo Lariano (Lc 21 - 22, Cd/C 0 - 2; Lch 10 - 12).

I campioni che mostrano però maggiore contributo dalle coperture sedimentarie mesozoiche sudalpine sono quelli più profondi (tra le progressive -175,4 m e -184,5 m; "intervallo petrologico D2"), dove sono particolarmente abbondanti i litici carbonatici in generale e dolomitici in particolare, suggerendo un importante contributo da piattaforme carbonatiche triassiche (Lc 41 - 46, Cd/C 44 - 66). Tale composizione somiglia a quella dell'Adda poco più a valle della confluenza con il Brembo, però con più scarsi litici vulcanici, o a quella del Ceppo di Paderno (Orombelli e Gnaccolini, 1978).

##### **Sedimenti a provenienza mista.**

Questo gruppo di campioni, arricchiti in quarzo, feldspati o litici metamorfici, ha composizione del tutto paragonabile a quella delle sabbie attuali del Lambro nella bassa pianura, o della Molgora ("*petrofacies mista*").

Questo vale in particolare per i due campioni prelevati alle progressive -106,2 m e -107,5 m ("intervallo petrologico C2b") e per il campione prelevato alla progressiva -136,4 m ("intervallo petrologico D1a"), che indicano significativi contributi dalle successioni Permo-Mesozoiche (Lv 5 - 9, Vm/V  $\leq$  7; Lc 14 - 19, Cd/C 28 - 34; Lch 2 - 6). L'influenza sudalpina tende poi a calare progressivamente verso il basso stratigrafico (progressive -153,3 m e -155,7 m), dove diminuiscono litici vulcanici e selce (Lv  $\leq$  2; Lch  $\leq$  3) ma non i litici dolomitici (Lc 14 - 26, Cd/C 66 - 70; "intervallo petrologico D1b"). Questi ultimi restano quasi i soli clasti che sono derivati dalle coperture sedimentarie alla progressiva -162,4 m ("intervallo petrologico D1c"; "*petrofacies alpina mista*").

Composizione peculiare mostra il campione più superficiale (-10,8 m), che è molto ricco in feldspati e relativamente povero in quarzo (Q 31; F 28; "intervallo petrologico A1"), a suggerire un contributo diretto o indiretto da rocce granitoidi, oltre che dalle coperture sudalpine.



Fotografia 6.10 *Agrate RL 4* 175 m Petrofacies sudalpina mista con abbondanti litici sia carbonatici (C= calcarei; D= dolomitici) che metamorfici (Lmp= metapeliti; Lmf= metafelsiti), progressiva -175.4 m; 43 m al di sotto della superficie stratigrafica di 0.8 Ma, tetto del Gruppo Acquifero D. La composizione non è perfettamente confrontabile con nessuno dei sedimenti attuali dei fiumi lombardi. Nicol incrociati. Scala = 250 micron.

### **Sedimenti a provenienza alpina.**

Gli altri campioni sono costituiti quasi esclusivamente da quarzo, feldspati e litici metamorfici (“*petrofacies alpina pura*”). Composizione molto simile tra loro, con abbondanti feldspati e piccole quantità di serpentinoscisti, localmente associati a frammenti di metabasiti (F 22 – 34; Lm 12 – 22, Mb/M 6 – 18; Lu 1 - 4) hanno i due campioni alle progressive –22.7 m e –29.2 m (“intervallo petrologico A2”) e i tre campioni prelevati tra –42.5 m e –82.6 m (“intervallo petrologico C1”). Tale composizione è simile a quella dei sedimenti trasportati oggi dall’Adda.

Poco più ricchi in quarzo, e più poveri in feldspati e serpentinoscisti, sono i campioni prelevati tra le progressive –120.8 m e –126.7 m (Q 57 – 62; F 21 – 24; Lm 14 – 15, Mb/M 12 – 16; Lu 1; “intervallo petrologico C3”), più simili alle sabbie del Ticino attuale.

### 6.2.2.5 - Parametri petrografici utilizzati

#### 1. Parametri petrografici principali (metodo Gazzi-Dickinson)

Q	quarzo
F	feldspati
Li	litici intrusivi a grana fine (apliti, granofiri)
Lv	litici vulcanici e subvulcanici
Lc	litici carbonatici
Lp	litici terrigeni a grana fine (peliti)
Lch	selce
Lm	litici metamorfici a grana fine
Lu	litici ultramafici (serpentino)

#### 2. Parametri secondari (metodo Gazzi-Dickinson)

P/F	plagioclasio / totale feldspati
-----	---------------------------------

#### 3. Parametri secondari (metodo tradizionale)

Qp/Q	quarzo policristallino / quarzo totale
Im/I	frammenti olocristallini intermedi e mafici / totale frammenti di rocce intrusive
Vm/V	frammenti vetrosi microlitici e feltrati / totale frammenti di rocce vulcaniche
Cd/C	frammenti di dolomie / totale frammenti di rocce carbonatiche
Mb/M	frammenti di metabasiti / totale frammenti di rocce metamorfiche

n	m	PF	Q	F	Li	Lv	Lc	Lt	Lch	Lm	Lu	Qp/Q	P/F	Im/I	Vm/V	Cd/CMb/M	mi%			
<b>Ghedi RL 1</b>																				
<b>A1a</b>	1	26.3	<b>S</b>	13	4	0	9	625	5	2	0	100	26	90	35	59	n.d.	0%		
<b>A1b</b>	1	35.9	<b>SM</b>	37	19	0	8	264	1	5	0	100	13	70	19	51	36	2%		
<b>A2</b>	1	47.9	<b>A</b>	66	7	0	2	6	2	16	0	100	66	65		0	10	2%		
<b>B1</b>	3	49.6	<b>M</b>	<b>52</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>111</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>51</b>	<b>79</b>	<b>12</b>	<b>27</b>	<b>7</b>	<b>2%</b>		
		59.6		4	2	1	4	6	0	5	1	18	3	4	28	2		1%		
<b>B2</b>	1	71.8	<b>S</b>	5	2	0	3	881	1	0	0	100	33			53		1%		
<b>C1</b>	3	90.5	<b>A</b>	<b>65</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>26</b>	<b>72</b>		<b>50</b>	<b>9</b>	<b>14%</b>		
		108.6		4	2	0	1	4	1	1	1	8	4			2		4%		
<b>C2</b>	1	123.9	<b>SM</b>	39	9	0	8	324	0	8	0	100	25	55	8	42	8	5%		
<b>C3</b>	8	141.0	<b>A</b>	<b>66</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>19</b>	<b>69</b>	<b>4</b>	<b>84</b>	<b>9</b>	<b>16%</b>		
		195.4		5	2	1	1	3	0	3	0	7	10	6	9	8		4%		
<b>Pianengo RL 2</b>																				
<b>A</b>	7	5.9	<b>A</b>	<b>63</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>43</b>	<b>67</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>43</b>	<b>10</b>	<b>3%</b>
		38.3		4	2	1	1	5	2	4	1	14	9	7		48	8		3%	
<b>B1</b>	2	39.9	<b>M</b>	<b>44</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>202</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>32</b>	<b>77</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>41</b>	<b>8</b>	<b>3%</b>
		44.0		5	2	1	1	8	2	6	0	22	6	0		30	0		0%	
<b>B2</b>	1	63.0	<b>S</b>	14	1	0	5	733	1	2	0	100	44		30	48	0		0%	
<b>B3</b>	1	80.6	<b>SM</b>	39	5	0	8	263	2	16	1	100	66	79	0	43	2		0%	
<b>C1</b>	2	83.8	<b>AP</b>	<b>73</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>11</b>	<b>77</b>			<b>6</b>	<b>14%</b>		
		103.0		3	0	0	0	0	0	4	1	1	9			9			2%	
<b>C2</b>	1	121.0	<b>AM</b>	48	15	2	5	2	1	21	3	100	65	64	4	13		9	3%	
<b>C3a</b>	2	131.8	<b>A</b>	<b>66</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>13</b>	<b>63</b>			<b>68</b>	<b>7</b>	<b>14%</b>	
		152.0		5	0	0	0	3	0	3	0	13	8			1			6%	
<b>C3b</b>	3	169.8	<b>AP</b>	<b>63</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>48</b>	<b>66</b>	<b>6</b>		<b>11</b>	<b>4%</b>	
		173.5		4	2	1	2	0	0	1	0	4	10			6			3%	
<b>D1</b>	2	189.3	<b>AM</b>	<b>70</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>141</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>63</b>			<b>52</b>	<b>10</b>	<b>15%</b>	
		195.7		8	0	0	1	6	1	1	0	2	1			3	14		2%	
<b>Cilavegna RL 3</b>																				
<b>AB</b>	9	4.4	<b>AP</b>	<b>56</b>	<b>33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>68</b>	<b>0</b>		<b>5</b>	<b>13%</b>	
		97		4	3	1	0	1	0	1	2	1	5	6	0				5%	
<b>C</b>	8	114.4	<b>A</b>	<b>48</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>100</b>	<b>14</b>	<b>71</b>	<b>0</b>		<b>26</b>	<b>10</b>	<b>15%</b>
		213.5		2	2	0	0	4	0	1	1	3	6	0		15	4		3%	
<b>Agrate RL 4</b>																				
<b>A1</b>	1	10.8	<b>M</b>	31	28	0	3	241	4	10	0	100	37	49	30	33	14		6%	
<b>A2</b>	2	22.7	<b>AP</b>	<b>54</b>	<b>28</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>100</b>	<b>47</b>	<b>41</b>	<b>15</b>		<b>7</b>	<b>7%</b>	
		29.2		6	9	0	0	1	0	2	0	6	15	8		1			6%	
<b>B</b>	2	36.7	<b>SM</b>	<b>47</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>213</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>29</b>	<b>51</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>1%</b>	
		39.8		4	0	0	3	1	1	2	0	10	2	0		1	3		0%	
<b>C1</b>	3	42.5	<b>AP</b>	<b>52</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>23</b>			<b>14</b>	<b>8%</b>	
		82.6		2	2	0	0	0	0	3	1	3	6	8		4			1%	
<b>C2</b>	1	95.2	<b>SM</b>	39	9	0	1	382	4	6	0	100	23	43		33	10		4%	
<b>C3a</b>	2	106.2	<b>M</b>	<b>44</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>172</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>22</b>	<b>49</b>	<b>25</b>	<b>0</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>8%</b>	
		107.5		1	2	0	3	3	0	3	2	1	0	4	0		1	5	4%	
<b>C3b</b>	2	120.8	<b>AP</b>	<b>60</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>27</b>	<b>36</b>	<b>14</b>			<b>14</b>	<b>8%</b>	
		126.7		4	3	0	1	1	0	1	0	2	2	2		3			3%	
<b>D1a</b>	1	136.4	<b>M</b>	44	10	0	7	140	6	18	0	100	36	44	n.d.	7	28	5	5%	
<b>D1b</b>	2	153.3	<b>M</b>	<b>47</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>201</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>28</b>		<b>68</b>	<b>11</b>	<b>7%</b>	
		155.7		4	3	0	1	9	0	1	0	3	6	7		2	5		7%	
<b>D1c</b>	1	162.4	<b>AM</b>	54	19	0	0	110	1	13	1	100	25	46	25	n.d.	83	7	7%	
<b>D2</b>	2	175.4	<b>SM</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>433</b>	<b>1</b>	<b>21</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>20</b>	<b>47</b>			<b>55</b>	<b>10</b>	<b>2%</b>	
		184.5		1	1	0	0	3	1	5	0	9	0			15	6		0%	

Tabella 6.1 Composizione petrografica degli intervalli identificati nel sottosuolo della pianura lombarda: sondaggi *Ghedi RL 1* e *Pianengo RL 2*. PF= petrofacies (S= Sudalpina; SM= Sudalpina mista; M= mista; A= alpina; AP= alpina pura); n= numero di campioni; m= progressiva in metri dal piano campagna; mi%= miche; altri parametri petrografici

### 6.2.3 - DISCUSSIONE DEI DATI

Il più evidente e sorprendente risultato delle analisi petrografiche è la nettissima diversità di composizione che caratterizza la maggior parte dei campioni dei due sondaggi, *Ghedi RL 1* e *Pianengo RL 2*, rispetto al detrito trasportato dai fiumi che oggi drenano la catena Sudalpina e attraversano l'alta pianura bergamasca e bresciana. Solo in alcuni campioni si è riscontrata una composizione sedimentoclastica ("*petrofacies Sudalpina*"), e solo per questi è possibile diagnosticare una provenienza diretta, di primo ciclo, dalle Alpi Meridionali. Altri campioni mostrano composizioni simili a quelle dei sedimenti attuali della media pianura, indicando il mescolamento tra detrito di primo ciclo e detrito riciclato dai sedimenti quaternari della pianura, così come avviene oggi ("*petrofacies Sudalpina mista*"). La maggioranza dei campioni mostra però composizioni del tutto differenti, per quanto tra loro assai omogenee, che definiscono dunque la segnatura petrografica tipica dei sedimenti di sottosuolo anche della pianura lombarda orientale. Tale composizione ("*petrofacies alpina*") è paragonabile solo ai sedimenti attuali trasportati dal Ticino, indicando una provenienza dalle falde di basamento di grado elevato, simili a quelle che affiorano nel cuore lepontino delle Alpi. Un'influenza da parte del Po è esclusa da una significativa diversità di composizione.

Il sondaggio *Agrate RL 4* è quello che mostra le variazioni di composizione più frequenti e nette. Non essendoci però campioni di riferimento diretti (i sedimenti del Lambro e del Molgora derivano a loro volta in larga parte dal riciclo delle coperture moreniche e dei sedimenti della pianura), l'interpretazione non è semplice.

Al contrario, il sondaggio di *Cilavegna RL 3* mostra un solo, netto cambiamento di composizione, che separa due intervalli petrologici a composizione ben definita. Anche in questo caso, tuttavia, a dimostrazione della complessa dinamica del bacino di avampaese Padano, con continui spostamenti degli alvei principali e delle loro influenze nel tempo, le composizioni riscontrate non sono perfettamente confrontabili con nessuno dei principali fiumi alpini attuali.

### 6.2.4. - RAPPORTO TRA VARIAZIONI DI PETROFACIES E DISCORDANZE

Un altro risultato assai interessante è la buona corrispondenza riscontrata tra i grandi cambiamenti di composizione e le discordanze principali riconosciute sulle linee sismiche e tracciate per gran parte del sottosuolo Padano.

#### 6.2.4.1 - Gruppo Acquifero A

Nel sondaggio *Ghedi RL 1*, dove la base del Gruppo Acquifero A non è stata definita con sicurezza né dai dati sismici né da quelli sedimentologici, tra le progressive -37 e -48,8 metri si assiste a un doppio cambiamento compositivo: la "*petrofacies mista*" (-49,6 metri) è dapprima sostituita dalla "*petrofacies alpina*" (-47,9 metri), la quale passa a sua volta alla "*petrofacies Sudalpina mista*" (-35,9 metri).

Il sondaggio *Pianengo RL 2* incontra invece la base del Gruppo Acquifero A alla progressiva -38,6 m (45 m s.l.m.), che corrisponde a un brusco cambiamento di composizione tra la "*petrofacies mista*" (-39,9 m) e la "*petrofacies alpina*" (-38,8 m).

Se nel sondaggio *Ghedi RL 1*, consideriamo come base del Gruppo Acquifero A la progressiva -48,8 metri (60 m s.l.m.), in entrambi i sondaggi tale superficie verrebbe a corrispondere con il passaggio da un detrito derivato in parte dalla retrocatena Sudalpina e in parte alpino, riciclato da sedimenti della pianura, a un detrito esclusivamente alpino.

Il sondaggio *Agrate RL 4* incontra la base del Gruppo Acquifero A a 134 m s.l.m. . I dati petrografici indicano una discordanza, corrispondente al passaggio tra la “*petrofacies Sudalpina mista*” e la “*petrofacies alpina pura*”, tra 118.3 m s.l.m. e 125.8 m s.l.m. .

#### 6.2.4.2 - Gruppo Acquifero B

Il sondaggio *Ghedi RL 1* incontra la base del Gruppo Acquifero B alla progressiva -73.4 (36 m s.l.m.) dove avviene il passaggio dalla “*petrofacies alpina*” (-90,5 metri) alla “*petrofacies Sudalpina*” (-71,8 metri).

Il sondaggio *Pianengo RL 2* incontra la base del Gruppo Acquifero B alla progressiva -80,9 (2 m s.l.m.) e corrisponde al passaggio tra la “*petrofacies alpina*” (-83,8 metri) e la “*petrofacies Sudalpina mista*” (-80,6 metri).

Il cambiamento petrografico è assai netto e analogo nei due sondaggi, dove viene però ad assumere significato opposto rispetto al passaggio attraverso la Superficie Stratigrafica di circa 0.45 Ma: signature alpine sono sostituite da detrito di provenienza locale Sudalpina, e non viceversa.

Il sondaggio *Cilavegna RL 3* incontra la base del Gruppo Acquifero B alla progressiva -116 ( -1 m s.l.m.). L'unico netto cambiamento di composizione documentato, presente tra le progressive -114,4 e -97, con il passaggio dalla “*petrofacies alpina*” alla “*petrofacies alpina pura*”, può essere tentativamente correlato con questa superficie stratigrafica.

Il sondaggio *Agrate RL 4* incontra la base del Gruppo Acquifero B alla progressiva -58 (97 m s.l.m.). I dati petrografici indicano un netto cambiamento di composizione tra la “*petrofacies alpina pura*” e la “*petrofacies Sudalpina mista*” tra le progressive -42,5 e -39,8; anche in questo caso il cambiamento compositazionale seguirebbe con un leggero ritardo il limite di sequenza.

Altre discontinuità composizionali sono state riscontrate all'interno del Gruppo Acquifero B: nel sondaggio *Pianengo RL 2* è infatti presente una discontinuità significativa alla progressiva -58,5 (25 m s.l.m.), con passaggio dalla “*petrofacies Sudalpina*” (-63,0) alla “*petrofacies mista*” (-44,0); nel sondaggio *Ghedi RL 1* un analogo cambiamento compositazionale avviene tra le progressive -71,8 (37 m s.l.m.) e -59,6 (49 m s.l.m.).

#### 6.2.4.3 - Gruppo Acquifero C

Il sondaggio *Agrate RL 4*, che come già visto è l'unico che abbia intercettato la superficie 0.8 Ma, incontra la base del Gruppo Acquifero C alla progressiva -178 (23 m s.l.m.). I dati petrografici indicano una discontinuità molto netta tra le progressive -175,4 e -162,4, che corrisponde al passaggio tra la “*petrofacies Sudalpina mista*”, e la “*petrofacies alpina mista*”. Un ulteriore cambiamento petrografico importante avviene tra le progressive -136,4 (18.6 m s.l.m.) e -126,7 (28.3 m s.l.m.), tra la “*petrofacies mista*” e la “*petrofacies alpina*” sovrastante.

Più in generale, all'interno del Gruppo Acquifero C la composizione rimane abbastanza omogenea, soprattutto nei sondaggi *Ghedi RL 1* e *Pianengo RL 2* (“*petrofacies alpina*”). Notevole è però l'eccezione di un orizzonte, carotato alla progressiva -123.9 (-15 m s.l.m.) nel sondaggio *Ghedi RL 1*, alla progressiva -121 (-38 m s.l.m.) nel sondaggio *Pianengo RL 2*, e alla progressiva -95,2 (59.8 m s.l.m.) nel sondaggio *Agrate RL 4*, caratterizzato da “*petrofacies Sudalpina mista*” o “*alpina mista*”.

Tali cambiamenti di composizione suggeriscono la presenza di almeno una, e più probabilmente di due, superfici di discontinuità interne al Gruppo Acquifero C, forse correlabili tra tutti e tre i sondaggi. La discontinuità inferiore ha carattere regressivo nel sondaggio di *Pianengo RL 2*, dove corrisponde al passaggio da facies transizionali deltizie (con influenza marina documentata dalla presenza di fossili sia stenoalini sia eurialini), a facies alluvionali distali. Nel sondaggio di *Ghedi RL 1* essa invece cade all'interno di cicli deltizi e lagunari, mentre il passaggio regressivo a facies alluvionali, che non corrisponde a cambiamenti petrografici significativi, è registrato successivamente (17.5 m s.l.m.).

Nei sondaggi *Pianengo RL 2* (-86.8 m s.l.m. -69 m s.l.m.) e *Agrate RL 4* (34.2 m s.l.m. 47.5 m s.l.m.) si riscontra più in profondità un altro stacco di composizione significativo, tra la "petrofacies alpina pura" sottostante e le "petrofacies alpina" e "mista", rispettivamente.

#### 6.2.4.4 - Gruppo Acquifero D

Il Gruppo Acquifero D è stato carotato solo nel sondaggio *Agrate RL 4*, per uno spessore di 52 m. In questo intervallo stratigrafico si osserva una discontinuità molto netta, localizzata tra le progressive -175,4 (-20.40 m s.l.m.) e -162,4 (-7.4 m s.l.m.), che corrisponde al passaggio dalla "petrofacies Sudalpina mista" alla "petrofacies alpina mista". Gli intervalli soprastanti segnano poi il passaggio alla "petrofacies mista", con aumento progressivo verso l'alto dei litici carbonatici prima, e poi silicei e vulcanici, derivati dalla successione Permo-Mesozoica delle Alpi Meridionali.

#### 6.2.5. - CONCLUSIONI

La composizione petrografica dei sedimenti del sottosuolo della media pianura lombarda mostra una serie di brusche transizioni tra sistemi di drenaggio trasversali, con alimentazione locale dalla retrocatena delle Alpi Meridionali ("petrofacies Sudalpina" e "petrofacies miste"), a sistemi di drenaggio invece essenzialmente longitudinali, con trasporto di sedimento da Ovest a Est da parte di fiumi alimentati dalle falde metamorfiche alpine ("petrofacies alpina"). La grande frequenza con cui si riscontrano intervalli dominati da detrito proveniente da falde di rocce metamorfiche a grado elevato è una naturale conseguenza del rilievo morfologico e della rapida esumazione di livelli strutturali profondi della catena soprattutto nel duomo lepontino, dove hanno origine quasi tutti i maggiori fiumi alpini. La provenienza diretta da sorgenti prossimali sudalpine rappresenta invece l'eccezione nel record stratigrafico.

I fattori che devono essere considerati per l'interpretazione dei dati petrografici sopraesposti includono: 1) attività tettonica alpina e appenninica; 2) oscillazioni climatiche quaternarie; 3) successive fasi di avanzata e di ritiro delle lingue glaciali; 4) fluttuazioni eustatiche; 5) alterazione chimica e disgregazione meccanica del detrito; 6) riciclo dei sedimenti depositi in precedenza; 7) variazioni nei percorsi di dispersione del detrito, incluse le modificazioni del drenaggio legate a catture fluviali, ma anche a trasfluenze glaciali; 8) processi sedimentari durante il trasporto e la deposizione, incluso l'eventuale mescolamento di sedimenti per effetto di correnti costiere; 9) presenza dei grandi laghi sudalpini e loro evoluzione sedimentaria.

La maggior parte dei campioni esaminati nell'area bresciana e cremonese (sondaggi *Ghedi RL 1*, *Pianengo RL 2*) mostra composizione omogenea, con carattere nettamente alpino, nettamente diversa dal detrito trasportato dai fiumi locali che drenano la catena Sudalpina.

Più variata è la composizione dei sedimenti del sottosuolo ad Est di Milano (sondaggio *Agrate RL 4*), dove intervalli con abbondante detrito dalle coperture Permo-Mesozoiche sudalpine si alternano a provenienze alpine, con una componente ofioliticlastica che ricorda le sabbie attuali dell'Adda.

Provenienze alpine diventano esclusive nel sottosuolo della Lomellina (sondaggio *Cilavegna RL 3*) dove è registrato un solo cambiamento petrografico significativo, tra sedimenti con litici carbonatici e un poco di serpentino che ricordano quelli attuali della Dora Baltea, e i depositi soprastanti, più ricchi in feldspati e più simili alle sabbie del Sesia.

I cambiamenti di composizione sono sempre molto netti, e coincidono sistematicamente con i limiti di sequenza riconosciuti sulle linee sismiche e tracciati attraverso il sottosuolo lombardo. I cambiamenti di composizione associati alle diverse discordanze non sono però sempre di segno concordante, mostrando in taluni casi il passaggio a detrito di 1° ciclo di provenienza sedimentoclastica locale (es. Superficie Stratigrafica di circa 0.65 Ma), ma in altri segnando invece il ritorno a signature metamorfoclastiche (es. Superficie Stratigrafica di circa 0.45 Ma).

L'analisi della composizione dei sedimenti, integrata con l'analisi sedimentologica e con altre metodologie, può fornire informazioni di grande dettaglio, utili per definire le geometrie dei corpi sedimentari e per analizzare le complesse dinamiche sedimentarie che si instaurano durante il colmamento dei bacini di avampaese.

## **6.3 – MALACOFAUNE**

### **6.3.1 – MATERIALE E METODI**

Alcuni dei sondaggi perforati nell'ambito di questo progetto hanno evidenziato delle ricche tanatocenosi a molluschi in corrispondenza di alcuni livelli in facies marina, continentale e di transizione. Si è proceduto pertanto ad un'analisi dettagliata al microscopio binoculare di un campione standard per ciascun intervallo, del peso compreso fra 150 e 500 g circa, secondo la disponibilità; le associazioni riconosciute sono estesamente riportate nelle *range chart* delle tabelle 2, 3 e 4.

Per alcune specie di più complessa identificazione è stato effettuato uno studio al microscopio a scansione elettronica (SEM) mediante il quale è stato possibile esaminare con maggiore dettaglio particolari delle ornamentazioni, delle dentizioni e delle cerniere nei bivalvi. Nelle fotografie 6.11 e 6.12 sono raffigurate alcune specie, con relativi ingrandimenti di alcuni dettagli tassonomici, caratterizzanti associazioni di tipo continentale (fotografia 6.11), marino franco e marino transizionale (fotografia 6.12).

Come riferimento sistematico sono stati utilizzati i fascicoli relativi ai molluschi della check-list delle specie della fauna italiana (Minelli et al. eds., 1995).

Nelle *range chart* per ogni singola specie è associata una sigla identificativa dell'ambiente deposizionale ed una relativa alla caratterizzazione bionomica del fondale in accordo con la classificazione di Péres & Picard (1964) modificata per gli ambienti continentali. Questo inquadramento ecologico e sedimentario consente un'agevole ricostruzione del paleoambiente la cui attuale espressione è registrata in termini di litofacies.

### 6.3.2 - ANALISI DEI DATI

Lo studio delle malacofaune campionate nei sondaggi *Ghedi RL 1*, *Pianengo RL 2* ed *Agrate RL 4* ha consentito di individuare tanatocenosi ricche e diversificate la cui caratterizzazione è servita per ricavare utili indicazioni paleoecologiche oltreché evidenziare fenomeni di riorganizzazione trattiva nel contesto dei sistemi deposizionali.

#### 6.3.2.1 - Sondaggio Ghedi RL 1

Il sondaggio *Ghedi RL 1* è quello che ha fornito le più ricche tanatocenosi distribuite in numerosi livelli fossiliferi, risultando quindi particolarmente utile alla ricostruzione dei paleoambienti e del loro avvicendamento temporale, suggerendo indicazioni nelle attribuzioni delle facies sedimentarie.

Nella *range chart* di tabella 6.2 è possibile notare un rapido alternarsi delle biocenosi, riflettenti altrettante repentine fluttuazioni delle facies deposizionali inquadrabili in contesti di piana alluvionale e di piattaforma silicoclastica neritica.

Nell'intervallo 76,10 - 85,90 m, caratterizzato da un sedimento siltoso-argilloso, particolarmente ricco in materia organica con abbondante detrito vegetale, sono state riconosciute malacocenosi dulciacquicole accompagnate da una componente terrestre di tipo igrofilo.

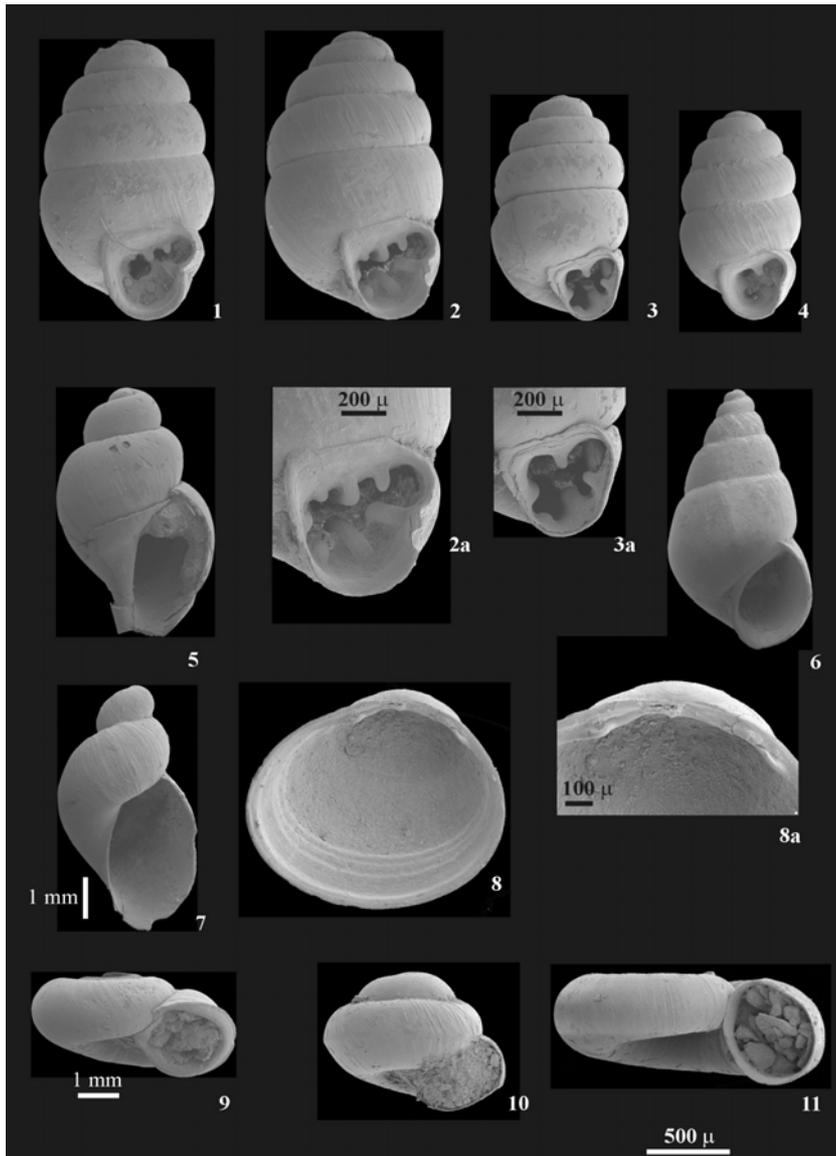
*Lymnaea sp. indet.*, *Bithynia tentaculata*, *Valvata (s.s.) cristata* caratterizzano fondali fangosi con correnti modeste, dove generalmente vivono attaccate alle pietre o sugli steli della vegetazione acquatica; *?Anodonta anatina* vive invece abitualmente infossata nel sedimento molle. Costituiscono tipici esponenti bentonici delle comunità attualmente residenti nei canali deltizi del fiume Po.

*Succinea (Succinella) oblonga*, *S. (s.s.) putris*, *Pupilla cf. muscorum* e *Vertigo (s.s.) antivertigo* sono specie terrestri che usualmente vivono sugli steli delle piante ai margini dei canali, i cui gusci sono frequentemente rinvenuti in associazione nelle tanatocenosi dulcicole.

Associazioni del tutto simili a questa sono state rinvenute in alcuni sondaggi geotecnici perforati per alcune decine di metri in corrispondenza di piattaforme petrolifere in alto adriatico, mostrando forti analogie anche nel generale trend di avvicendamento verticale delle associazioni malacologiche (Veggiani & De Francesco, 1972).

Nell'intervallo 91,70 - 93,60 m si riconosce una tipica associazione di acqua salmastra caratterizzata da *Cyclope (s.s.) neritea*, *Cerastoderma glaucum*, *Hydrobia acuta* e *Lentidium mediterraneum*. Caratteristico esponente delle biocenosi delle lagune eurialine ed euriterme (LEE), *H. acuta* colonizza con comunità particolarmente numerose ambienti di tipo salmastro protetti dal mare aperto da barre litoranee, risultando particolarmente sensibile a variazioni repentine di salinità (Giusti & Pezzoli, 1984; Benvenuti & Dominici, 1992). *L. mediterraneum* predilige invece aree prospicienti le foci dei canali deltizi caratterizzate da salinità dell'ordine del 15-20‰ dove in genere è presente con colonie consistenti.

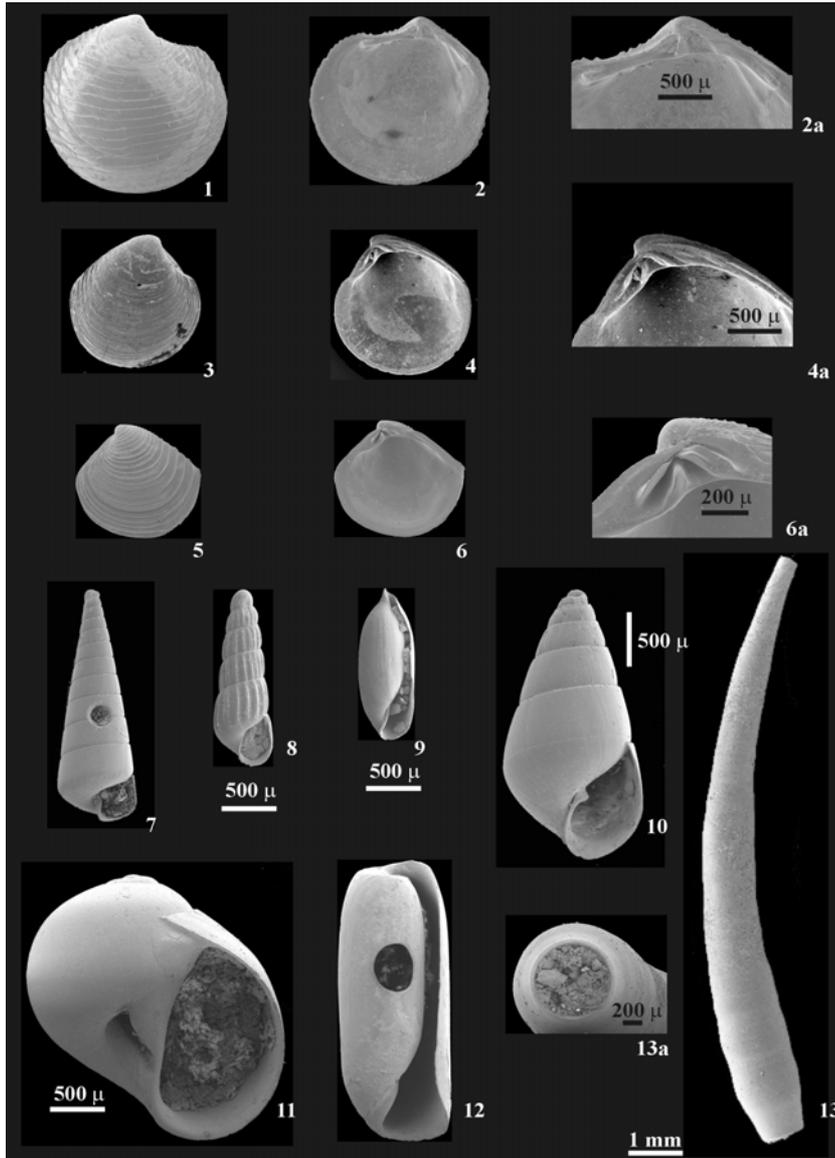
L'intervallo 94,95 - 98,20 m caratterizzato nel complesso da alternanze di sedimenti sabbioso-siltosi, attesta l'instaurazione di un ambiente francamente marino subtidale di modesta profondità, testimoniato dalla ricca presenza di bivalvi litorali fossatori (*Chlamys glabra*, *Paphia aurea*, etc.). Fra i bivalvi risultano inoltre presenti alcuni esponenti delle biocenosi del pre-coralligeno (PC): *Barbatia barbata*, *Ostrea cf. edulis*, *Pseudochama gryphina*, necessitanti per l'attecchimento di substrati rigidi. In alto Adriatico non sono infrequenti colonie isolate di *Ostrea edulis* originatesi da gusci di molluschi abbandonati o locali porzioni di fondo indurite.



Fotografia 6.11. Figg. 1-2 *Vertigo* (s.s.) *antiverigo* (Draparnaud, 1801): fig. 1 *Pianengo RL 2 70,45 m*, fig. 2 *Ghedi RL 1 79,60 m*, fig. 2a dettaglio dell'apertura dell'esemplare di fig. 2; fig. 3-4 *Vertigo* (s.s.) *pygmaea* (Draparnaud, 1801): fig. 3 *Pianengo RL 2 70,45 m*, fig. 4 *Ghedi RL 1 79,60*, fig. 3a dettaglio dell'apertura dell'esemplare di fig. 3; fig. 5 *Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774), *Pianengo RL 2 70,45 m*; fig. 6 *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805), *Ghedi RL 1 100,70 m*; fig. 7 *Succinea* (*Succinella*) *oblonga* Draparnaud, 1801, *Ghedi RL 1 76,10 m*; fig. 8 *Pisidium obtusale* D. Pfeiffer, 1821, *Pianengo RL 2 70,45 m*: valva destra; fig. 8a dettaglio della cerniera dell'esemplare di fig. 8; fig. 9 *Vallonia pulchella* (O.F.Müller, 1774), *Pianengo RL 2 70,45 m*; fig. 10 *Pyramidula rupestris* yuv. (Draparnaud, 1801), *Pianengo RL 2 70,45 m*; fig. 11 *Valvata cristata* O.F.Müller, 1774, *Pianengo RL 2 70,45 m*  
 Scala di riferimento in basso a destra tranne dove diversamente specificato.

CAMPIONI		AMBIENTE		BIOCENOSI (Pérès & Picard, 1964 modificato)	
76.10	D	SFPA			+ <i>Lymnaea</i> sp. indet.
79.60	D	SFPA			+ <i>Pupilla cf. muscorum</i> (Linnaeus, 1758)
80.70	D	SFPA			+ <i>Vertigo (s.s.) pygmaea</i> (Draparnaud, 1801)
83.10	D	SFPA			+ <i>Succinea (Succinella) oblonga</i> Draparnaud, 1801
83.90	D	SFPA			+ + <i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)
91.70	T	LEE			+ <i>Valvata cristata</i> O.F. Müller, 1774
92.80	T	LEE			+ <i>Succinea (s.s.) putris</i> (Linnaeus, 1758)
93.60	T	LEE			+ Pulmonata yuv. indet.
94.95	M	SFBC			+ ? <i>Anodonta anatina</i> Linnaeus, 1758
95.60	M	SFBC			+ <i>Cyclope (s.s.) neritea</i> (Linnaeus, 1758)
96.30	M	SFBC			+ <i>Bathyrca philippiana</i> (Nyst, 1848)
96.50	M	SFBC			+ <i>Anadara diluvii</i> (Lamarck, 1805)
97.80	M	SFBC			+ <i>Chlamys glabra</i> (Linnaeus, 1758)
98.20	M	SFBC			+ <i>Nassarius (Hinia) reticulatus</i> (Linnaeus, 1758)
100.70	T	LEE			+ <i>Cerastoderma glaucum</i> (Poiret, 1789)
112.25	M	LEE			+ <i>Gastrana fragilis</i> (Linnaeus, 1758)
112.35	D	SFPA			+ <i>Paphia aurea</i> (Gmelin, 1791)
115.10	D	SFPA			+ <i>Cerithium vulgatum</i> Bruguière, 1792
115.80	M	LEE			+ <i>Corbula gibba</i> (Oliv, 1792)
130.30	M	SFBC			+ <i>Lentidium mediterraneum</i> (O. G. Costa, 1839)
133.25	M	SFBC			+ <i>Anomia ephippium</i> Linnaeus, 1758
133.50	M	SFHN			+ <i>Tellina pulchella</i> Lamarck, 1818
133.90	M	SFHN			+ <i>Turbonilla attenuata</i> (Jeffreys, 1884)
136.25	M	SFHN			+ <i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805)
138.10	M	SFHN			+ <i>Ostrea cf. edulis</i> Linnaeus, 1758
140.60	M	SFHN			+ Bivalvia
142.00	M	SFBC			+ <i>Calyptrea chinensis</i> (Linnaeus, 1758)
148.80	M	SFBC			+ <i>Pseudochama gryphina</i> (Lamarck, 1819)
					+ <i>Chlamys varia</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Nassarius (Hima) incrassatus</i> (Stroem, 1768)
					+ <i>Acanthocardia paucicostata</i> (G.B. Sowerby II, 1841)
					+ <i>Barbatia barbata</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Aporthais pespelecani</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Hexaplex trunculus</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Acanthocardia cf. echinata</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Spisula subtruncata</i> (Da Costa, 1778)
					+ <i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1791)
					+ <i>Tellina</i> sp.
					+ Pulmonata indet.
					+ <i>Bithynia (s.s.) cf. tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Stagnicola cf. palustris</i> (O. F. Müller, 1774)
					+ <i>Turritella communis</i> (Risso, 1826)
					+ <i>Solen marginatus</i> Pulteney, 1799
					+ <i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Diplodonta rotundata</i> (Montagu, 1803)
					+ <i>Tellina cf. fabula</i> Gmelin, 1791
					+ <i>Ostrea edulis</i> Linnaeus, 1758
					+ <i>Turritella cf. communis</i> (Risso, 1826)
					+ <i>Ditrupe comea</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Dentalium (Antalis) inaequicostatum</i> Dautzenberg, 1891
					+ <i>Pododesmus patelliformis</i> (Linnaeus, 1761)
					+ <i>Venus nux</i> Gmelin, 1791
					+ <i>Plagiocardium papillosum</i> (Poli, 1795)
					+ <i>Parvicardium roseum</i> (Lamarck, 1819)
					+ <i>Cylichna cylindracea</i> (Pennant, 1777)
					+ <i>Loripes lacteus</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Polinices macilenta</i> (Philippi, 1844)
					+ <i>Anodontia fragilis</i> (Philippi, 1836)
					+ <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819
					+ <i>Arca tetragona</i> Poli, 1795
					+ <i>Nucula sulcata</i> Bronn, 1831
					+ <i>Acanthocardia tuberculata</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Venus cf. verrucosa</i> Linnaeus, 1758
					+ <i>Phaxas adriaticus</i> (Coen, 1933)
					+ <i>Venus verrucosa</i> yuv. Linnaeus, 1758
					+ <i>Lucinella divaricata</i> (Linnaeus, 1758)
					+ <i>Petalococconchus (Macrophragma) cf. glomeratus</i> (Linnaeus, 1758)

Tabella 6.2 Range chart sondaggio Ghedi RL 1: D = dulciacquicolo, T = marino transizionale, SFPA = sabbie fini di piana alluvionale, LEE = lagune eurialine ed euriterme, SFBC = sabbie fini ben classate, SFHN = sabbie fini degli alti livelli



Fotografia 6.12. Figg. 1-2 *Lucinella divaricata* (Linnaeus, 1758), *Agrate RL 4* 115,80-116,00 m: valva destra; fig. 2a dettaglio della cerniera dell'esemplare di fig. 2; figg. 3-4 *Dosinia lupinus yuv.* (Linnaeus, 1758), *Agrate RL 4* 115,80 m: valva destra; fig. 4a dettaglio della cerniera dell'esemplare di fig. 4; figg. 5-6 *Venus nux yuv.* Gmelin, 1791, *Agrate RL 4* 115,80-116,00 m: fig. 5 valva sinistra, fig. 6 valva destra; fig. 6a dettaglio della cerniera dell'esemplare di fig. 6; fig. 7 *Eulimella scillae* (Scacchi, 1835), *Pianengo RL 2* 186,50 m; fig. 8 *Turbonilla attenuata* (Jeffreys, 1884), *Agrate RL 4* 115,80-116,00 m; fig. 9 *Volvulella acuminata* (Bruguière, 1792), *Agrate RL4* 115,80-116,00 m; fig.10 *Odostomia unidentata* (Montagu, 1803), *Pianengo RL 2* 187,10 m; fig. 11 *Polinices guillemini* (Payraudeau, 1826), *Pianengo RL 2*, 186,50 m; fig. 12 *Cylichna cylindracea* (Pennant, 1777), *Ghedi RL 1* 140,60 m; fig. 13 *Ditrupa cornea* (Linnaeus, 1758), *Agrate RL 4* 166,50 m; fig. 13a particolare dell'apertura dell'esemplare di fig. 13.

Scala di riferimento in basso a destra tranne dove diversamente specificato.

Questo tipo di costruzione biohèrmale offre riparo a numerosi esponenti bentici del PC che possono così espandersi verso ambienti meno favorevoli al loro sviluppo.

In corrispondenza del livello 100,70 m fanno la loro ricomparsa biocenosi LEE caratterizzate da *C. glaucum* e *H. acuta*, documentando l'attestazione di un dominio paralico dominato da apporti di acqua dolce.

Nell'intervallo 112,35 - 115,10 m caratterizzato da depositi argilloso-siltosi grigio-nerastri molto ricchi in materia organica con livelli centimetrici costituiti interamente da detrito, si nota una ricomparsa seppure modesta di faune dulciacquicole, testimoniate da *Bithynia cf. tentaculata* e *Stagnicola cf. palustris*.

Dal livello 115,10 m si nota la comparsa di *Turritella communis* associata a faune dulcicole, evidenza che testimonia la ricomparsa di faune di tipo marino, documentabile estesamente a partire dal livello 130,30 m dove è presente un lag conchigliare centimetrico costituito interamente da frammenti di guscio embricati di *Ostrea edulis*.

In corrispondenza dei livelli 133,50 m e 140,60 m, caratterizzati da sedimento più fine di taglia siltoso-sabbiosa, è presente una caratteristica biocenosi mista a scafopodi ed anellidi policheti rappresentata da *Dentalium (Antalis) inaequicostatum* per i primi e *Ditrupa cornea* per i secondi, evidenziante un ambiente probabilmente più profondo di quello precedentemente descritto, sicuramente meno interessato da moto ondoso e/o da correnti trattive. *Ditrupa cornea* in particolare è una specie tendenzialmente euribata anche se generalmente confinata alla piattaforma continentale. Caratterizza ambienti di prodelta stressati da consistenti input di materiali terrigeni, dove può costituire popolazioni con alte densità individuali.

Per quanto concerne i bivalvi particolarmente frequenti nell'intervallo 136,25 - 148,80 m, questi risultano prevalentemente caratterizzati dai fossatori *Loripes lacteus*, *Phaxas adriaticus*, *Lucinella divaricata*, tipici abitanti delle piattaforme silicoclastiche neritiche a substrato molle.

La presenza sporadica di frammenti di *Mytilus galloprovincialis* ed *Ostrea cf. edulis* in corrispondenza del livello 140,60 m, caratterizzato da una ricca quanto diversificata tanatocenosi, permette di ipotizzare un'alloctonia di questi ultimi elementi, deposti da correnti gravitative e/o da moti di base d'onda.

### 6.3.2.2 - Sondaggio Pianengo RL 2

Il sondaggio *Pianengo RL 2* ha fornito in corrispondenza dell'intervallo 70.30 - 70.45 m un'interessante quanto diversificata malacofauna di tipo acquadulcicolo e terrestre, analoga a quella riscontrata in *Ghedi RL 1* nell'intervallo 76,10 - 85,90 m. In questa tanatocenosi, a differenza che in *Ghedi RL 1*, compaiono esponenti crenofili (*Galba truncatula*, *Physa fontinalis*) che suggeriscono una più bassa temperatura delle acque. Ciò consentirebbe un'attribuzione dubitativa di questa litofacies ad un settore idrografico più prossimo alla catena ma potrebbe anche risultare inquadrabile ad ambienti sorgivi di subalveo, comunque frequenti nei settori fluviali di pianura.

Un'associazione simile è stata descritta nella successione plio-pleistocenica fluvio-lacustre del bacino del Mugello (Toscana) da Benvenuti et al. (1998), inquadrata in un contesto di fan delta progradante dalla catena verso la piana alluvionale dominata da episodi di tipo palustre.

Il livello di *Pianengo RL 2* risulta comunque attribuibile ad un contesto di lama di acqua a scorrimento lento come suggerito dalla presenza di elementi che prediligono questo tipo di condizioni quali *Valvata cristata* e *Gyraulus albus* (Esu & Girotti, 1974), lo stesso dicasi per i bivalvi appartenenti alla famiglia Sphaeridae: *Musculium lacustre*, *Pisidium casertanum* e *P. obtusale*, quest'ultimo particolarmente raro nelle acque correnti (Castagnolo et al., 1980).

Per quanto attiene agli intervalli fossiliferi compresi fra 122.20 m e 149.00 m, questi hanno fornito faune marine analoghe a quelle rinvenute in in *Ghedi RL 1*, caratterizzando un subtidale a fondale sabbioso. Presenti anche elementi provenienti dal PC quali *Neopycnodonte cochlear* e *Mytilus galloprovincialis*.

70,30	CAMPIONI			
70,45	D	M	SFPA	AMBIENTE
122,20	M	M	SFBC	
132,00	M	M	SFBC	
136,00	M	M	SFBC	
141,05	M	M	SFBC	
144,00	M	M	SFBC	
146,00	M	M	SFBC	
149,00	M	M	SFBC	
186,50	M	SFHN		
187,10	M	SFBC		
188,80	M	SFHN		
190,60	M	SFBC		
				<b>BIOCENOSI (Péres &amp; Picard, 1964 modificato)</b>
				+ <i>Dentalium (Antalis) inaequicostatum</i> Dautzenberg, 1891
				+ <i>Succinea</i> sp.
				+ <i>Pupilla</i> cf. <i>muscorum</i> (Linnaeus, 1758)
				+ + <i>Vallonia pulchella</i> (O. F. Müller, 1774)
				+ + <i>Discus</i> (s.s.) <i>rotundatus</i> (O. F. Müller, 1774)
				+ + <i>Vertigo</i> (s.s.) <i>antivertigo</i> (Draparnaud, 1801)
				+ + <i>Radix peregra</i> (O. F. Müller, 1774)
				+ + <i>Musculium lacustre</i> (O. F. Müller, 1774)
				+ + <i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)
				+ + <i>Valvata cristata</i> O.F. Müller, 1774
				+ <i>Succinea</i> (s.s.) <i>putris</i> (Linnaeus, 1758)
				+ <i>Succinea</i> ( <i>Succinella</i> ) cf. <i>oblonga</i> Draparnaud, 1801
				+ <i>Oxyloma</i> cf. <i>elegans</i> (Risso, 1826)
				+ <i>Carychium</i> sp.
				+ <i>Cochlicella</i> sp.
				+ <i>Mastus</i> sp.
				+ <i>Pupilla</i> sp.
				+ <i>Vertigo</i> (s.s.) <i>pygmaea</i> (Draparnaud, 1801)
				+ <i>Vertigo</i> (s.s.) <i>pusilla</i> (O. F. Müller, 1774)
				+ <i>Pyramidula rupestris</i> yuv. (Draparnaud, 1801)
				+ <i>Galba truncatula</i> (O. F. Müller, 1774)
				+ <i>Physa fontinalis</i> (Linnaeus, 1758)
				+ <i>Gyraulus</i> (s.s.) <i>albus</i> (O. F. Müller, 1774)
				+ <i>Pisidium casertanum</i> (Poli, 1791)
				+ <i>Pisidium obtusale</i> D. Pfeiffer, 1821
				+ Pianorbidae
				+ <i>Turritella communis</i> (Risso, 1826)
				+ <i>Pecten jacobaeus</i> (Linnaeus, 1758)
				+ <i>Paphia aurea</i> (Gmelin, 1791)
				+ <i>Corbula gibba</i> (Olivi, 1792)
				+ Pectinidae
				+ ? <i>Pusillina</i> sp.
				+ <i>Tellina</i> sp.
				+ <i>Aporthais pespelecani</i> (Linnaeus, 1758)
				+ <i>Chlamys glabra</i> (Linnaeus, 1758)
				+ <i>Venus nux</i> Gmelin, 1791
				+ <i>Neopycnodonte cochlear</i> (Poli, 1795)
				+ <i>Mytilus</i> cf. <i>galloprovincialis</i> Lamarck, 1819
				+ <i>Turbonilla</i> sp.
				+ <i>Ditrupea cornea</i> (Linnaeus, 1758)
				+ <i>Eulimella scillae</i> (Scacchi, 1835)
				+ <i>Tellina incarnata</i> Linnaeus, 1758
				+ <i>Polinices guillemini</i> (Payraudeau, 1826)
				+ <i>Nassarius</i> sp.
				+ <i>Odostomia unidentata</i> (Montagu, 1803)
				+ <i>Tellina pulchella</i> Lamarck, 1818
				+ <i>Dosinia lupinus</i> (Linnaeus, 1758)
				+ <i>Clausinella brongniartii</i> (Payraudeau, 1826)
				+ <i>Chlamys varia</i> (Linnaeus, 1758)

Tabella 6.3 Range Chart sondaggio *Pianengo RL 2*: D = dulciacquicolo, M = marino franco, SFPA = sabbie fini di piana alluvionale, SFBC = sabbie fini ben classate, SFHN = sabbie fini degli alti livelli

Il livello 187,10 m ha fornito un'interessante tanatocenosi costituita in netta prevalenza da *Turritella communis*, i cui gusci, integri e completi delle protoconche, sono risultati concentrati ed isorientati in un lag. Da un punto di vista tafonomico questo fenomeno può essere posto in relazione alla presenza di deboli correnti trattive in grado di orientare i nicchi a spira alta concentrandoli in livelli, non tanto per episodi di trasporto (che avrebbero frantumato le fragili porzioni apicali), quanto per riduzione del tasso di sedimentazione a fronte di by-pass deposizionale.

A partire dal livello 186,50 m, una tanatocenosi a scafopodi ed anellidi simile a quella di *Ghedi RL 1* (133,50 - 140,60 m), suggerisce l'instaurarsi di un dominio subtidale più profondo con facies sedimentarie più fini, dove l'influenza delle correnti trattive nella sfera dei processi deposizionali risulta in secondo ordine. Il rinvenimento inoltre di *Eulimella scillae* in corrispondenza del livello 186,50 m, confermerebbe un approfondimento della colonna d'acqua in quanto segnalata nel Mediterraneo a profondità superiori ai 40 m (Parenzan, 1974).

In corrispondenza del livello 190,60 m si trova un ricchissimo lag conchigliare dello spessore di una decina di cm quasi interamente costituito da valve di *Chlamys varia*, molte delle quali ancora in connessione articolare, con le orecchiette perfettamente conservate. Questo accumulo potrebbe risultare derivato dalla presenza di correnti al fondo responsabili dell'asportazione del sedimento più fine e del trasporto su breve distanza dei gusci dei bivalvi morti, giungendo a depositarsi in zone lambite dai moti idrodinamici.

#### 6.3.2.3 - Sondaggio Agrate RL 4

Il sondaggio *Agrate RL 4* è quello che contiene il minor numero di livelli fossiliferi, tutti di dominio salmastro e marino franco. L'associazione più ricca è stata rinvenuta in corrispondenza del livello 115,80 - 116,00 m, caratterizzando un ambiente subtidale a fondo sabbioso di limitata profondità, pertinente ad una piattaforma silicoclastica neritica.

Nell'intervallo 118,50 - 131,25 m si riscontrano associazioni monospecifiche di *Cerastoderma glaucum* concentrate in livelli di accumulo, fenomeno che induce a ritenere un ambiente di tipo transizionale. La specie, tendenzialmente eurialina dotata di buone capacità di adattamento, predilige infatti le acque salmastre dove sviluppa comunità con gusci differenziati secondo la salinità delle acque. Il morfotipo del sondaggio *Agrate RL 4* caratterizzato da dimensioni ridotte, con ornamentazioni delle valve non molto robuste, risulta indicativo di una salinità delle acque non troppo bassa mentre esemplari più grossi e robusti si sviluppano tendenzialmente in corrispondenza di apporti di acque dolci. In corrispondenza del livello 131,25 m si reinstaura un ambiente a salinità normale, caratterizzato da un ambiente con energia più bassa come attestato dal rinvenimento di un esemplare completo di *Pododesmus patelliformis*, delicato

bivalve dalle valve squamose e piuttosto fragili. La presenza di *Abra longicallus* in corrispondenza del livello 161,00 m, suggerisce invece un incremento batimetrico del fondale, risultando segnalata nel Mare del Nord in sedimenti con un battente d'acqua di oltre 40 m (Parenzan, 1974).

Biocenosi a *Ditrupea cornea* analoghe a quelle rinvenute in *Ghedi RL 1* (133,50 - 140,60 m) e *Pianengo RL 2* (186,50 - 188,60 m) caratterizzano anche il sondaggio *Agrate RL 4* in corrispondenza dei livelli 165,40 m e 166,50 m, suggerendo un analogo contesto ambientale relativo ad un subtidale di piattaforma neritica posto al di sotto dell'azione dei moti di base d'onda e sotto il costante flusso di apporti terrigeni fini.

115,80-116,00		CAMPIONI
118,50	T	LEE
128,30	T	LEE
131,00	T	LEE
131,25	T	LEE
161,00	M	SFBC
165,40	M	SFHN
166,50	M	SFHN
		<b>AMBIENTE</b>
		<b>BIOCENOSI (Pérès &amp; Picard, 1964 modificato)</b>
		+ <i>Nassarius (Hima) pygmaeus</i> (Lamarck, 1822)
		+ <i>Turbonilla attenuata</i> (Jeffreys, 1884)
		+ <i>Volvulella acuminata</i> (Bruguière, 1792)
		+ <i>Lucinella divaricata</i> (Linnaeus, 1758)
		+ <i>Clausinella brongniartii</i> (Payraudeau, 1826)
		+ <i>Solen cf. marginatus</i> Pulteney, 1799
		+ <i>Corbula gibba</i> (Olivi, 1792)
		+ <i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)
		+ <i>Phaxas adriaticus</i> (Coen, 1933)
		+ <i>Glycymeris glycymeris</i> (Linnaeus, 1758)
		+ <i>Dosinia lupinus</i> (Linnaeus, 1758)
		+ <i>Venus verrucosa</i> Linnaeus, 1758
		+ <i>Donax semistriatus</i> Poli, 1795
		+ <i>Plagiocardium papillosum</i> (Poli, 1795)
		+ <i>Scrobicularia cottardi</i> (Payraudeau, 1826)
		+ <i>Tellina fabula</i> Gmelin, 1791
		+ <i>Tellina (Oudardia) compressa</i> Brocchi, 1814
		+ <i>Tellina pulchella</i> Lamarck, 1818
		+ <i>Cerastoderma glaucum</i> (Poiret, 1789)
		+ <i>Pododesmus patelliformis</i> (Linnaeus, 1761)
		+ <i>Abra longicallus</i> (Scacchi, 1834)
		+ <i>Ditrupea cornea</i> (Linnaeus, 1758)

Tabella 6.4 Range Chart sondaggio Agrate RL 4: D = dulciacquicolo, M = marino transizionale, SFBC = sabbie fini ben classate, LEE = lagune eurialine ed euriterme, SFHN = sabbie fini degli alti livelli

## 6.4 – MICROFOSSILI

Lo studio micropaleontologico, svolto in relazione al sondaggio *Pianengo RL 2*, ha riguardato i campioni prelevati a 43.55, 115, 119, 145.50, 147.10, 188, 200 m. Sono state effettuate analisi per determinare la presenza di foraminiferi e nannoplancton.

### 6.4.1 - ANALISI BIOSTRATIGRAFICA A FORAMINIFERI

Un'associazione a Foraminiferi relativamente abbondante, dominata da forme bentoniche è presente nei campioni prelevati a 145.5, 147.10, 188, 200 m; gli altri campioni, 43.55, 115, 119 m, sono risultati sterili.

Sotto il profilo crono-biostratigrafico, tale associazione è costituita da specie ad ampia distribuzione stratigrafica nel Neogene/Quaternario. La presenza di *Bulimina marginata* consente di limitare l'età dei campioni fra Pliocene medio e Quaternario.

Ai fini di una caratterizzazione paleoambientale sono state conteggiate le abbondanze relative delle specie osservate in un campione di circa. 250 esemplari.

Nei campioni a 145.5 e 147.1 m i principali costituenti dell'associazione faunistica osservata, con dominanze maggiori del 4%, sono: *Ammonia gr. beccarii*, *Elphidium crispum*, *Elphidium macellum*, *Protelphidium granosum*, *Cribroelphidium crispum*, *Florilus boueanus*, *Fursenkoina schreibersiana*.

	n. esemplari	%	n. esemplari	%
A. gr. beccarii	136	57.5	96	39.5
E. crispum	12	5.1	20	8.2
E. macellum	28	11.9	33	13.6
P. granosum	18	7.6	37	15.2
C. decipiens	17	7.2	18	7.4
F. boueanus			16	6.6
F. schreibersiana	13	5.51	19	7.8
Totale esemplari	241	94.8	243	98.3

Tabella 6.5 Foraminiferi: associazioni alla base del Gruppo Acquifero B. Intervallo 145.5 – 147.1 m

Nei campioni di 188 e 200 m, la struttura dell'associazione non mostra differenze molto spiccate, rispetto ai precedenti, con alcune variazioni per diversità e abbondanza che suggeriscono paleobatimetrie lievemente maggiori.

	n. esemplari	%	n. esemplari	%
A. gr. Beccarii	45	19.3	100	38.2
E. advenum			21	8.0
E. crispum	18	7.8		
E. macellum			15	5.7
P. granosum	21	9.1	12	4.6
C. decipiens	20	8.6	14	5.3
F. boueanus	9	3.9	45	17.2
F. schreibersiana	10	4.3	16	6.1
Q. seminulum	47	20.2		
C. auriculatus	10	4.3		
B. frigida	12	5.2	13.	6.1
V. bradyana	11	4.7		
Totale esemplari	232	87.4	262	90.1

Tabella 6.6 Foraminiferi: associazioni nella parte superiore del Gruppo Acquifero C intervallo 188 – 200 m

Fra le specie a bassa dominanza (1-3%) presenti in tutti i campioni meritano di essere citate *Bulimina marginata* e *Textularia sagittula*. I Foraminiferi planctonici, infine, che non sono mai stati osservati nella frazione su cui sono stati eseguiti i conteggi, sono rappresentati da 1-2 piccoli esemplari di *Globigerina sp.* rilevati sulla totalità del campione.

Le specie osservate, tutte attualmente viventi, permettono di inquadrare l'ambiente di vita in ambito infralitorale. L'abbondanza complessiva di esemplari di *A. gr. beccarii* e le variazioni all'interno di tale gruppo dell'abbondanza di *A. beccarii tepida*, suggeriscono condizioni di variabilità della salinità legate alla vicinanza di apporti terrigeni.

I dati quantitativi sono stati elaborati mediante una procedura messa a punto dal dr. U. Rossi (Eni Divisione Agip) al fine di ottenere una valutazione paleobatimetrica. I valori ottenuti, rappresentati nelle tabelle 6.5 e 6.6, confermano l'interpretazione qualitativa sopra esposta.

#### 6.4.2 - ANALISI BIOSTRATIGRAFICA A NANNOPLANCTON

Campione 43.55 m - E' caratterizzato dalla presenza di abbondanti forme rimaneggiate di età terziaria, prevalentemente paleogeniche, e da meno frequenti forme rimaneggiate mesozoiche; non si riconoscono elementi pleistocenici.

Campione 145.50 m - Simile al precedente.

Campione 147.10 m - Prevalgono nettamente le forme rimaneggiate terziarie e mesozoiche. Si riconoscono "normal size" *Gephyrocapsa* ("occurrence").

Campione 188 m - Il contenuto in nannoplancton è scarso. Il rimaneggiamento terziario e paleogenico rappresenta quasi il 100% del contenuto fossilifero. Sono state osservate "normal size" *Gephyrocapsa* e "small" *Gephyrocapsa*, entrambe "occurrence".

Campione 200 m - Nannoflora abbastanza scarsa; sono presenti abbondanti forme rimaneggiate terziarie e mesozoiche. Si segnala la presenza di "normal size" *Gephyrocapsa* ("occurrence").

La presenza di "normal size" *Gephyrocapsa* indica che i campioni hanno sicuramente un'età pleistocenica.

Gli altri campioni prelevati a 115 e 119 m sono risultati sterili.

#### 6.5 -PALINOLOGIA

La Palinologia è una branca della Botanica e della Paleontologia che studia il polline e le spore. Le applicazioni dell'analisi pollinica riguardano settori molto diversi, dalla medicina (allergologia) alla produzione del miele (melissopalinoologia) all'archeologia, fino alle indagini della Sacra Sindone.

In particolare, la Paleopalinoologia è la scienza che studia i microfossili organici (Palinomorfi): dotati di parete particolarmente resistente (costituita da sporopollenina e chitina) e inerte alla maggior parte delle reazioni chimiche, possono conservarsi all'interno dei sedimenti anche per milioni di anni. Polline e spore possono poi essere estratti attraverso opportuni trattamenti di laboratorio e studiati al microscopio ottico.

I palinomorfi comprendono, tra gli altri, i seguenti microfossili organici:

- i pollini, gametofiti delle piante superiori (Angiosperme e Gimnosperme)
- le spore, strutture unicellulari riproduttive delle Pteridofite
- le cisti di Dinoflagellate, alghe unicellulari, planctoniche, per la maggior parte marine. Le Dinoflagellate fanno parte del fitoplancton, base della catena alimentare acquatica.

Sono stati studiati 23 campioni provenienti dal carotaggio continuo del sondaggio *Pianengo RL 2* per verificare se il contenuto palinologico potesse fornire indicazioni sulle variazioni sia ambientali sia paleoclimatiche.

- 10 campioni provenienti dall'intervallo 145,5-170,5 m sono stati studiati presso i laboratori Eni Divisione Agip.

- 13 campioni provenienti dall'intervallo 73.2 - 107.9 m sono stati studiati presso il Laboratorio di Palinologia del C.N.R. di Milano

*Pianengo RL 2*: intervallo 145,5-170,5 m

I campioni provengono da livelli argillosi o siltitici, grigio bruni; sono stati preparati secondo la metodologia standard in uso nei laboratori Eni Divisione Agip e sono risultati abbastanza ricchi di palinomorfi.

Descrizione delle associazioni provenienti dai diversi campioni, dal basso verso l'alto:

- Campione 170,5 m - ricco di spore, soprattutto *Osmundaceae* (*Baculatisporites primarius*); i pollini sono rappresentati da rari *Alnus* (*Betulaceae* = ontano) e Conifere, soprattutto pollini monosaccati di *Tsuga*.
- Campione 165 m - molto ricco, sempre dominato dalle spore delle *Osmundaceae*, fra i pollini sono rappresentate anche le *Graminaceae* e rare *Compositae*; oltre *Alnus* ritroviamo anche rarissimi pollini di quercia.
- Campione 159.4 m - l'associazione non è ricchissima, ma il contenuto è più differenziato, poiché compaiono anche le classiche *Juglandaceae* più *Tiliapollenites*; molto importante è segnalare la presenza di rari gusci di foraminiferi e almeno uno *Spiniferites* sp., cioè una ciste di Dinoflagellato, che ci indica una possibile occasionale influenza marina. Le spore sono in maggioranza *Polypodiaceae*.
- Campione 156.5 m - è caratterizzato da una buona percentuale di pollini forestali (*Betulaceae* e *Juglandaceae*, *Quercus*); le conifere sono sempre dominate da *Tsuga*.
- Campione 153.4 m - l'associazione torna ad essere dominata dalle spore sia *Osmundaceae* che *Polypodiaceae* (>80%); c'è sempre una buona percentuale di pollini forestali e compaiono le *Chenopodiaceae*, a indicare un suolo "salato", cioè un'influenza più marcata delle condizioni marine nelle vicinanze.
- Campione 153.2 m - le spore di *Osmundaceae* rappresentano la quasi totalità dell'associazione e mascherano la presenza di rari pollini "forestali"; la palynofacies è molto più "classata", indicando un'azione ossidante maggiore; in pratica sono sovrarappresentate quelle spore, sia per l'ambiente originario sia perché molto più resistenti a un'eventuale ossidazione, date le loro caratteristiche morfologiche.
- Campione 151.6 m - non è particolarmente ricco, ma importante è la presenza in buona percentuale di gusci di foraminiferi, che segnalano l'arrivo delle condizioni marine.
- Campione 149.7 m - la palinoflora è molto abbondante e diversificata; la presenza di cisti di dinoflagellati e gusci di foraminiferi testimonia le condizioni marine marginali di questo campione; le spore si riducono molto mentre i pollini sono ancora dominanti, soprattutto *Tsuga*. Da segnalare la presenza, per la prima volta, di un chiaro rimaneggiamento sia mesozoico (Cretaceo inferiore) che paleogenico, a testimoniare un'attività erosiva, magari dovuta a una variazione del livello di base e la vicinanza di un corso d'acqua.
- Campione 147.5 m - le condizioni marine si accentuano; i gusci di foraminiferi sono dominanti e i dinoflagellati diventano consistenti, anche se rappresentati principalmente da piccoli *Spiniferites* gr. *ramosus*; le spore sono praticamente scomparse e i pollini sono

dominati dalle Conifere più rari forestali; il rimaneggiamento è sempre presente.

- Campione 145.5 m - molto simile al precedente, con i dinoflagellati che tendono a differenziarsi maggiormente, sottolineando così l'instaurarsi di condizioni marine stabili.

Non è possibile dare alcuna indicazione di età sulla base del contenuto palinologico, poiché tutti i palinomorfi presenti sono attualmente esistenti. Per quanto riguarda un'eventuale valutazione paleoclimatica è difficile essere particolarmente precisi. Tuttavia in corrispondenza del passaggio ambientale a 153 m non si nota una variazione significativa del contenuto pollinico, al di là della ovvia diminuzione in quantità legata al diverso ambiente di deposizione; si ritiene perciò che non ci siano evidenti variazioni climatiche, e la successione si mantiene in condizioni temperate.

Da un punto di vista paleoambientale le associazioni sono molto più significative, possiamo infatti distinguere tre intervalli ben caratterizzati:

Campioni da 170 m a 153 m: l'analisi sedimentologica definisce questo intervallo come piana alluvionale; le associazioni palinologiche confermano questa interpretazione, suggerendo che gli intervalli argillosi campionati corrispondano a depositi palustri, dominati da spore caratteristiche di ambiente umido; le conifere, non abbondanti, sono probabilmente situate sulle montagne, non particolarmente vicine alla piana alluvionale, mentre le foreste a latifoglie erano più vicine alla linea di costa. Fig. 6.13 e 6.14

Il campione a 151.6 m è probabilmente situato "dietro la spiaggia", ma in posizione tale da essere influenzato dalle condizioni marine.

L'intervallo fra 150 m e 145 m, è decisamente marino, probabilmente marino marginale, ma influenzato da un corso d'acqua molto vicino come è dimostrato sia dalla presenza di associazioni rimaneggiate, mesozoiche e paleogeniche, che dall'abbondanza di conifere, soprattutto *Tsuga*, sicuramente trasportate dalle montagne.

#### *Pianengo RL 2: intervallo 73.2 - 107.9 m*

I campioni sono stati sottoposti ai trattamenti di preparazione in uso presso il Laboratorio di Palinologia del C.N.R. di Milano.

I campioni provengono da livelli limosi, limoso-argillosi e argilloso-torbosi: quattro sono risultati sterili.

Lo studio pollinico ha permesso di riconoscere 72 diversi tipi pollinici e spore (la cui nomenclatura è conforme a quella proposta da ALPADABA – Alpine Palynological Database, Università di Berna), alcuni identificati a livello di specie o di gruppi di specie, altri a livello di genere o famiglia. Sono stati rinvenuti anche alcuni palinomorfi rimaneggiati, riconosciuti in base al diverso stato di conservazione. Tabella 6.7

Il diagramma pollinico è dominato dal polline di piante arboree, i cui valori sommano tra 50-90%. La percentuale pollinica degli arbusti è ovunque compresa tra 1-10%: i valori delle piante erbacee di ambienti terrestri e di quelle acquatiche e di ambienti umidi raggiungono i massimi valori percentuali nei campioni sommitali. Tra i *taxa* arborei/arbustivi sono ben rappresentati *Pinus sylvestris/mugo*, *Tsuga*, *Abies*, *Carya*, *Pterocarya*, *Alnus t. glutinosa* (tipo pollinico che comprende *Alnus incana* e *A. glutinosa*). Tra i *taxa* erbacei compaiono sia indicatori di ambienti steppici, sia piante acquatiche e di ambienti umidi (*Nuphar*, *Nymphaea*, *Myriophyllum verticillatum*, *Trapa*, *Cyperaceae*, *Typha latifolia*, etc.). Si registra inoltre la presenza di alghe di acque dolci come *Spirogyra*, *Zygnemataceae* e *Botryococcus*.

La frammentarietà dei dati disponibili (9 campioni distribuiti in maniera disomogenea su quasi 35 m di sedimenti) non consente ricostruzioni paleoambientali dettagliate. L'osservazione del diagramma pollinico consente comunque di riconoscere alcuni lineamenti paleoambientali caratteristici. Lungo tutta la successione pollinica l'ambiente appare dominato da vegetazione forestale, ma con periodiche variazioni della composizione specifica dei boschi. A fasi caratterizzate da una relativa abbondanza degli elementi del querceto planiziale (*Quercus* tipi caducifogli, *Tilia*, *Ulmus*, *Corylus*, *Carpinus betulus*, etc.), tipici di clima temperato caldo e relativamente secco, seguono fasi in cui la foresta è dominata da *Juglandaceae* (*Carya* e *Pterocarya*), caratteristiche invece di clima temperato caldo ad elevata umidità. Seguono fasi che documentano lo sviluppo di foreste di conifere non boreali, indicative di clima temperato fresco, nelle quali *Tsuga* era largamente rappresentata.

Le curve di *Tsuga*, *Carya* e *Pterocarya* sono considerate dei buoni indicatori per stabilire la posizione cronostratigrafica di sequenze polliniche. Queste piante, contemporaneamente presenti in Europa Sud-occidentale e meridionale fino al tardo Pleistocene inferiore (van der Hammen et al., 1971; Ravazzi et al., sottoposto), mostrano oggi areali di distribuzione extraeuropei. *Tsuga* è oggi presente lungo la costa pacifica del Nord America in un'ampia fascia lungo la costa atlantica ed in Estremo Oriente. *Carya* e *Pterocarya* vegetano invece nelle zone temperato calde o tropicali dell'Est asiatico e del Nord America.

*Tsuga*, *Carya* e *Pterocarya* sono presenti con elevati valori in percentuale nel diagramma pollinico di *Pianengo RL 2* per la successione 84,35 - 107,9 m

Il confronto con i diagrammi pollinici relativi a siti continentali recentemente studiati al margine alpino (Ravazzi, 1993; Ravazzi e Rossignol Strick, 1995; Ravazzi e Moscariello, 1998; Moscariello et al., 2000; Ravazzi & Rossi, 2000; Rossi et al., 2000; Pinti et al., 2001; Ravazzi et al., sottoposto) porta ad ipotizzare, per la successione 84,35 - 107,9 m, un'età pleistocenica inferiore che mal si accorda con i dati biostratigrafici esposti nei capitoli precedenti.