

7 – CARTOGRAFIA

Sono state realizzate tre serie di mappe con lo scopo di evidenziare isobate, isopache e distribuzione dei livelli porosi e permeabili dei tre Gruppi Acquiferi.

7.1 – MAPPE DELLE ISOBATA

Le mappe delle isobate evidenziano l'andamento nel sottosuolo della base di ogni singolo Gruppo Acquifero. Tali mappe sono il risultato dell'integrazione di 30.000 km di linee sismiche interpretate e dei dati di pozzo. Per prima cosa sono state riconosciute in sottosuolo, sulle sezioni sismiche, le superfici che individuano i principali corpi geologici e gli acquiferi in essi ospitati: i limiti di sequenza così identificati sono stati riportati in profondità sui pozzi Eni Divisione Agip, utilizzando i dati di velocità registrati nei pozzi stessi, e sono quindi stati trasposti in pozzi perforati nelle aree di bacino profondo, dove la successione stratigrafica pliocenica e quaternaria è ragionevolmente più continua. Tali superfici sono infine state datate, utilizzando le zonazioni a foraminiferi e a nannofossili calcarei. L'operazione di taratura stratigrafica ha permesso di validare le fasi temporali dell'evoluzione del bacino.

L'interpretazione delle linee sismiche ha permesso di ricostruire l'andamento nel sottosuolo delle superfici identificate, dapprima rappresentato con *mappe in tempi doppi* (T.W.T.). Il passo successivo è stato la conversione in profondità, ovvero la trasformazione dei valori T.W.T in metri. La funzione base è data da: $spazio = velocità \times tempo$. L'incognita da determinare è la velocità delle onde sismiche, che è funzione del tipo di terreno attraversato e quindi varia nelle diverse situazioni geologiche presenti nel sottosuolo della pianura lombarda.

È stata realizzata una prima *mappa di velocità* utilizzando i dati registrati nei pozzi Eni Divisione Agip, al fine di confrontare e valutare la distribuzione delle velocità; si è quindi prodotta una serie di *mappe di profondità* speditive, utilizzando i dati di profondità degli orizzonti in tutti i pozzi disponibili (Eni Divisione Agip), pozzi per acqua e sondaggi geognostici). Il confronto tra *mappe in tempi doppi*, *mappa di velocità* e *mappe di profondità* ha permesso di evidenziare locali situazioni anomale, generalmente legate alla qualità dei dati utilizzati. Si è quindi provveduto a controllare e correggere le anomalie evidenziate, che sono risultate spesso causate da velocità anomale riferibili a situazioni litologiche locali e, talvolta, da problemi di posizionamento degli orizzonti nei pozzi. Infine sono state finalizzate le mappe della velocità media per ogni livello. In sostanza, il procedimento di conversione in profondità delle *mappe in tempi doppi*, prevede un controllo continuo dei dati ed opera per approssimazioni successive: una volta prodotte le mappe di velocità si torna ai dati e si controllano le situazioni anomale; si produce una nuova mappa, la si compara con l'interpretazione in tempi, la si valida con i dati e si procede così fintanto che il risultato non soddisfi i dati e si inserisca in un modello geologico che si è evoluto e modificato durante il procedimento stesso.

7.2 – MAPPE DELLE ISOPACHE

Le mappe delle isopache dei Gruppi Acquiferi B, C e D, sono state calcolate per differenza rispettivamente tra le mappe della base dei Gruppi Acquiferi A e B, dei Gruppi Acquiferi B e C. e dei Gruppi Acquiferi C e D. Queste mappe sono rappresentate come curve isopache sovrimposte alle mappe della base dei rispettivi Gruppi Acquiferi.

Le mappe di isobate e isopache possono essere utilizzate per il calcolo dei volumi degli acquiferi su base regionale o di bacino e per valutare la profondità alla quale indirizzare, nelle diverse aree, le perforazioni per ricerca d'acqua.

7.3 – MAPPE DELLA SABBIOSITA'

Le mappe della distribuzione dei depositi porosi e permeabili sono state realizzate utilizzando i valori di spessore cumulativo dei livelli acquiferi utili in ciascun Gruppo Acquifero. Tali valori rappresentano la somma dei livelli di ghiaia e sabbia per ciascun Gruppo Acquifero, misurati nei 250 pozzi per la ricerca e produzione degli idrocarburi (Eni Divisione Agip) e nei 596 pozzi per la produzione di acqua utilizzati nel presente studio. Sono stati esclusi dal computo i livelli di conglomerato e di sabbia argillosa, salvo che non siano interessati da filtri nei pozzi per acqua. La distribuzione areale dei depositi porosi e permeabili in ciascun Gruppo Acquifero è stata inoltre controllata analizzando le variazioni di facies sulle linee sismiche e valutando lo spazio di accomodamento dei sedimenti nelle mappe delle isopache.

Le mappe della sabbiosità possono essere utilizzate per calcolare il volume di acquifero utile nel caso di studi a scala regionale. In ambito locale, queste mappe permettono di calcolare lo spessore di acquifero utile che ci si può attendere nella zona di interesse. Consentono di individuare la presenza di aree impermeabili, ovvero ragionevolmente prive di depositi porosi e permeabili, che possono costituire un'efficace protezione per gli acquiferi sottostanti. In generale, le aree caratterizzate da spessore cumulativo di depositi porosi e permeabili nullo o scarso, sono localizzate negli interconoidi dei fiumi e torrenti alpini e appenninici, nel settore pavese, e a margine dei canali principali del fiume Po.

7.4 – SIMBOLOGIA PARTICOLARE

Sulle mappe è stata localmente utilizzata la seguente simbologia per rappresentare alcune situazioni peculiari.

7.4.1 - LIMITE DEI DATI CONSIDERATI

Lungo il margine settentrionale alpino e nell'Oltrepo pavese, è stata inserita in ciascuna mappa una linea tratteggiata definita *limite dei dati considerati*. Questa linea rappresenta il limite della rappresentazione cartografica dei dati. Lo strumento utilizzato per la cartografia dei limiti stratigrafici dei Gruppi Acquiferi è, come già detto, la sismica a riflessione acquisita dall'Eni Divisione Agip per la ricerca di idrocarburi. Tale sismica è stata acquisita ed elaborata avendo come obiettivo l'individuazione di strutture profonde e di conseguenza la definizione dei livelli superficiali può essere localmente piuttosto scarsa. Nelle aree poste al margine settentrionale della pianura, le superfici stratigrafiche considerate sono molto superficiali, rendendo il loro riconoscimento sulla sismica largamente interpretativo.

Le mappe sono state quindi limitate non già al margine attuale della pianura, ma laddove l'oggettività del dato sismico, ancorché confortato dai dati di pozzo, assume un carattere decisamente interpretativo. Le mappe relative ai Gruppi Acquiferi A e B, più superficiali, risultano pertanto meno estese delle mappe relative ai Gruppi Acquiferi C e D i quali, essendo più profondi, presentano un dato sismico maggiormente attendibile. Diretta conseguenza di tale circostanza è, ad esempio, il fatto che le isopache del Gruppo Acquifero C si interrompano prima del limite della mappa della sua base. Tavola 5.

Vi è infatti una fascia in cui, non essendo definita la superficie di tetto del Gruppo Acquifero C (rappresentata dalla base del soprastante Gruppo Acquifero B, la cui mappa è meno estesa della precedente), non è possibile calcolare lo spessore del Gruppo Acquifero stesso.

7.4.2 - AREA DI NON SOVRAPPOSIZIONE CON LA CARTOGRAFIA DEGLI ACQUIFERI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Le mappe della base dei Gruppi Acquiferi C e D (Tavole 5 e 7) e le rispettive mappe dello spessore dei depositi porosi e permeabili (Tavole 6 e 8), presentano nel settore meridionale della provincia di Lodi una limitata area di non continuità con l'analoga cartografia della Regione Emilia-Romagna (Regione Emilia-Romagna, ENI – AGIP, 1998. *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*). Il Gruppo Acquifero C, nello studio relativo alla Regione Emilia-Romagna, fu considerato come un unico Gruppo Acquifero, dall'acquicludo di tetto (base del Gruppo Acquifero B), fino all'interfaccia acqua dolce / acqua salmastra. Il riempimento del bacino Padano ed il conseguente flussaggio dell'acqua marina salata da parte dell'acqua dolce è avvenuto nel settore emiliano-romagnolo in tempi relativamente più recenti di quanto invece registrato nel settore lombardo della Pianura Padana. Il Gruppo Acquifero D in Emilia-Romagna è presente solo su un'esigua porzione del territorio e, di conseguenza, non era stata ritenuta necessaria una sua specifica rappresentazione cartografica.

Nel settore meridionale della provincia di Lodi, che rappresenta l'unica area di contatto del Gruppo Acquifero D tra cartografia della Lombardia e quella dell'Emilia-Romagna, si è ritenuto opportuno segnalare tale disomogeneità cartografica con un apposito simbolo.

7.4.3 - LIMITI INTERNI AI GRUPPI ACQUIFERI

I Gruppi Acquiferi, così come sono stati definiti, sono delimitati alla base da una superficie stratigrafica (limite di sequenza) che definisce l'inizio di un nuovo ciclo regressivo-trasgressivo. La trasgressione marina che termina il ciclo è rappresentata da un livello di argille marine e sedimenti continentali fini nelle aree marginali del bacino che coincide con un acquicludo regionale. Nelle mappe è tuttavia rappresentata unicamente la porzione di Gruppo Acquifero saturata in acqua dolce (acquifero utile) e pertanto i Gruppi Acquiferi cartografati sono localmente delimitati alla base anche dall'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra.

La superficie stratigrafica alla base di un Gruppo Acquifero rappresenta ad un dato tempo la paleo-fisiografia del bacino sedimentario, in cui è possibile individuare la pianura alluvionale, l'area costiera, la piattaforma, la scarpata e il bacino profondo. L'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra, nelle aree marginali e di piattaforma, si trova al di sotto della superficie stratigrafica di base per i Gruppi Acquiferi A, B e C. Nel settore centro orientale della pianura lombarda, la base del Gruppo Acquifero C (Tavola 5) passa dalla piattaforma alla scarpata e scende nel bacino profondo ben al di sotto dell'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra: la linea di intersezione tra le due superfici (stratigrafica ed interfaccia acqua dolce/acqua salmastra) è rappresentata in mappa da un apposito simbolo (*linea rossa con barbette*). La situazione è schematizzata in Fig. 7.1.

Un ulteriore simbolo riportato sulle mappe (*linea rossa tratteggiata*) indica invece l'intersezione dell'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra con il tetto del Gruppo Acquifero considerato. Oltre questo limite, il Gruppo Acquifero esiste ancora ma è saturato in acqua salata e pertanto non è più rappresentato nella cartografia.

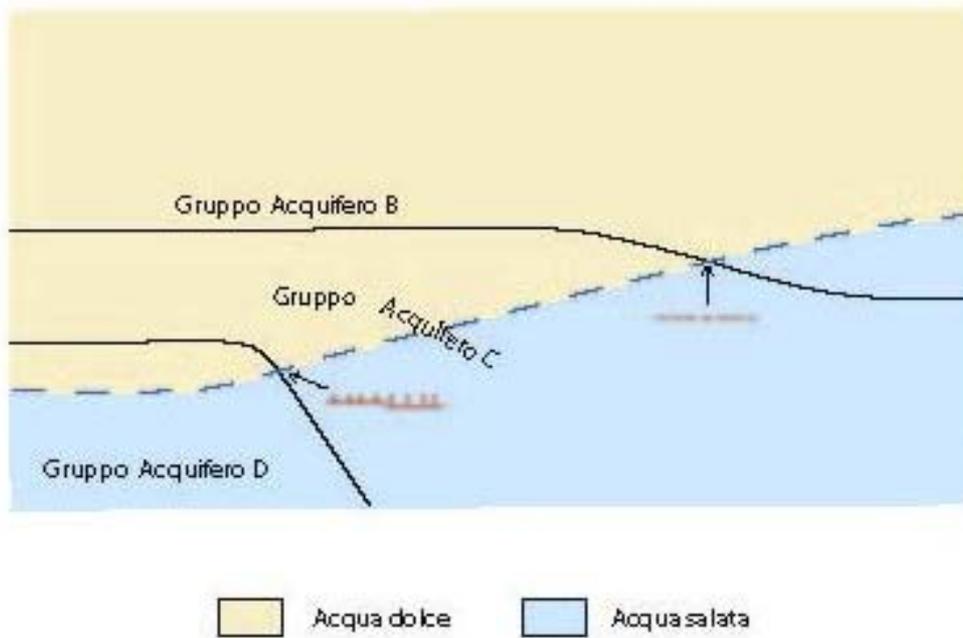


Figura 7.1 Schema esemplificativo dei rapporti tra superfici stratigrafiche ed interfaccia acqua dolce/acqua salmastra

8 – IL BACINO IDROGEOLOGICO DELLA PIANURA LOMBARDA

Le Unità Stratigrafiche del sottosuolo Padano descritte nel capitolo precedente possono essere saturate da acqua dolce, salmastra e salata. Nel loro insieme costituiscono il Bacino Idrogeologico (Castany, 1985, p. 8) della Pianura Padana

8.1 – BASE DEGLI ACQUIFERI UTILI

Sono definiti *acquiferi* i corpi geologici che, grazie alle loro proprietà geometriche e petrofisiche (porosità, permeabilità e compressibilità), svolgono efficientemente le funzioni di serbatoio e condotta per le acque sotterranee.

Nel sottosuolo il limite tra acqua dolce e acqua salmastra definisce la base degli acquiferi utili per uso idropotabile e agricolo-industriale. La profondità di tale limite è nota in corrispondenza di alcuni pozzi per acqua particolarmente profondi e dei pozzi pubblicati dall'AGIP sui volumi "Acque Dolci Sotterranee" (1972, 1994). Nei sondaggi per la ricerca di idrocarburi il limite tra acqua dolce e salmastra è posto convenzionalmente in corrispondenza del valore 10 ohm m, misurato dal log di resistività.

La concentrazione di ioni in soluzione nell'acqua è definita TDS (Total Dissolved Solids). I cationi più comunemente presenti sono calcio, magnesio, sodio e potassio, gli anioni prevalenti sono carbonato, bicarbonato, cloro, solfato e nitrato. La concentrazione di TDS influenza le caratteristiche dell'acqua. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (W.H.O.) stabilisce i criteri per la definizione della qualità dell'acqua potabile (Guidelines for Drinking Water quality, 1996); per quanto concerne la quantità di ioni in soluzione (TDS), tali criteri specificano i seguenti livelli di concentrazione e la relativa qualità dell'acqua:

meno di 300 mg/l	eccellente
300 – 600 mg/l	buona
600 – 900 mg/l	discreta
900 – 1200 mg/l	scadente
maggiore di 1200 mg/l	inaccettabile

La metodologia di laboratorio più comunemente utilizzata per determinare il TDS è la misura della conduttività specifica del fluido.

I log elettrici sono strumenti per la registrazione in continuo della resistività lungo la parete del pozzo. La resistività registrata è riferibile unicamente alle caratteristiche del fluido contenuto nella porosità del terreno. Per mezzo di opportuni algoritmi, dal valore di resistività è possibile ricavare la salinità del fluido.

Nei pozzi Tollara 1 (PC) e Medesano 6 (PR), sono state eseguite campionature delle acque degli strati superficiali. I risultati di queste prove permettono di calibrare i log elettrici.

Pozzo Tollara 1

Sono state eseguite due prove per campionare i fluidi di strato:

- prova n. 1, -1105 -1083 m, zona di transizione, recuperato fango di perforazione ed acqua di strato, NaCl = 3.5 g/l; corrispondente resistività da log = 6 ohm m

- prova n. 2, -711 -694 m, base acquifero dolce, recuperato acqua di strato e fango di perforazione, NaCl = 0.05 g/l; corrispondente resistività da log = 30 ohm m

Pozzo Medesano 6

È stato eseguito un campionamento di fluidi di strato: prova n. 1, -11 -13 m, zona di transizione, recuperato acqua salmastra NaCl = 3 g/l; corrispondente resistività da log = 9 ohm m.

Nonostante la mancanza di dati analitici locali, anche sui log dei pozzi petroliferi utilizzati in questo lavoro, il limite tra acqua dolce e acqua salmastra è stato posto in corrispondenza del valore 10 ohm m = 1000 microSiemens/cm. Il TDS corrisponde a 550 – 750 mg/l, con temperatura compresa tra i 10 e i 20 C°, e qualifica un'acqua tra buona e discreta. Va considerato che appena ci si discosta dall'interfaccia la resistività sale bruscamente e di conseguenza i TDS calano, migliorando la qualità dell'acqua.

Per mettere in evidenza questa scelta, nelle Sezioni Idrostratigrafiche delle Tavole 9 e 10 allegate, i pozzi Eni Divisione Agip sono stati rappresentati mediante log di resistività, riprodotti in modo tale che alla traccia verticale del pozzo corrisponda il valore 10 ohm m.

8.2 – DEFINIZIONE DELLE UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE

Riprendiamo qui quanto già definito nell'analogo studio degli acquiferi della Regione Emilia-Romagna, per ribadire il concetto di Unità Idrostratigrafica. Maxey (1964, p. 126) definisce *Unità Idrostratigrafica* un corpo geologico di notevole estensione areale (i.e. cartografabile a scale inferiori o pari a 1:250.000), che costituisce un dominio dello spazio fisico in cui ha sede un sistema idrologico ragionevolmente distinto. Secondo Domenico & Schwartz (1990, p. 28) *Unità Idrostratigrafica* è una formazione, parte di una formazione oppure un gruppo di formazioni con caratteristiche idrologiche omogenee, ovvero distribuite in modo da permettere una suddivisione interna in acquiferi e barriere di permeabilità associate. Il termine Formazione Idrogeologica (Castany, 1985) o Unità Idrogeologica, può essere considerato un sinonimo di *Unità Idrostratigrafica*, così come definito da Domenico & Schwartz (1990).

In questo lavoro, come già per la Regione Emilia-Romagna, si definisce *Unità Idrostratigrafica Sequenziale* (UIS) una particolare sottoclasse di Unità Idrostratigrafica (nell'accezione di Maxey, 1964), che presenta le seguenti caratteristiche:

1. - è costituita da una o più Sequenze Deposizionali
2. - è comprensiva di un livello geologico basale, scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquicludo), arealmente continuo (la continuità areale va intesa in senso geologico e non letterale).

Dalla prima caratteristica consegue che una UIS è un corpo geologico complesso, formato da gruppi di strati con geometrie e caratteri petrofisici variabili ma legati geneticamente, cioè depositi in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione. Questo comporta che le superfici di strato possano toccare ma non intersecare i limiti di una UIS. I flussi idrici, negli acquiferi regionali, si muovono con componente parallela alle superfici di strato largamente maggiore di quella ortogonale, se si escludono le aree di ricarica diretta. Di conseguenza tali flussi rimangono confinati all'interno della medesima UIS.

Dalla seconda caratteristica consegue che ogni UIS può essere considerata idraulicamente isolata da quelle adiacenti. Il livello potenziometrico misurato in un acquifero appartenente ad una determinata UIS è di norma indipendente dai livelli potenziometrici misurati, sulla stessa verticale, in acquiferi contenuti in altre UIS.

In sintesi l'individuazione di Unità Idrostratigrafiche, in particolare di Unità Idrostratigrafico-Sequenziali, comporta il notevole vantaggio pratico di poter studiare l'idrodinamica sotterranea locale (aree dell'ordine delle decine di km²) considerando ciascuna Unità idraulicamente isolata dalle

altre. Negli studi di carattere regionale (aree di centinaia o migliaia di km²), invece, ogni UIS può essere analizzata singolarmente soltanto dopo aver definito, quali condizioni al contorno, gli scambi idrici con le altre Unità, dal momento che questi ultimi non sono affatto trascurabili.

8.3 – SEQUENZE DEPOSIZIONALI E UNITA' IDROSTRATIGRAFICO-SEQUENZIALI

La definizione delle UIS permette di costruire il quadro idrostratigrafico del bacino idrogeologico della pianura lombarda applicando una logica stratigrafico-sequenziale.

I meccanismi naturali che controllano lo sviluppo sedimentario delle Sequenze Deposizionali di ogni rango gerarchico, all'interno dei bacini sedimentari, sono fondamentalmente due:

1. - alternanze di fasi di sollevamento tettonico e di fasi di subsidenza regionale
2. - oscillazioni climatico - eustatiche ad alta frequenza.

La loro azione si esplica nella variazione ciclica del tasso di subsidenza locale, cioè della velocità con cui si aggiunge o si sottrae spazio per la sedimentazione (o per l'erosione), e nella modulazione ciclica dell'energia morfogenetica a disposizione dei sistemi fluviali e deltizi.

La base regressiva di una Sequenza Deposizionale Principale (o Minore) risulta prevalentemente composta da depositi grossolani di origine alluvionale e marino-marginale, mentre la parte sommitale della Sequenza Deposizionale sottostante è caratterizzata da un ciclo trasgressivo che causa l'intrappolamento dei sedimenti grossolani in aree molto prossimali, mentre nelle zone distali si depositano in aggradazione sedimenti prevalentemente fini.

Allo stesso modo, l'intervallo terminale di una Sequenza Deposizionale Elementare sarà espresso da facies fini distribuite sull'intero bacino, attraverso sistemi deposizionali contigui, nel caso in cui la fase deposizionale di bassa energia e di massima trasgressione sia controllata da condizioni climatiche globali e dall'eustatismo. In questo caso sono simultaneamente coinvolti tutti i sistemi deposizionali su vaste aree della superficie terrestre.

In conclusione, l'idrodinamica sotterranea risulta strettamente condizionata dai rapporti geometrici intercorrenti tra le Sequenze Deposizionali di ogni rango gerarchico, e quindi tra le Unità Idrostratigrafiche che da esse discendono, a causa della presenza di barriere di permeabilità regionali al tetto di ciascuna di esse.

In questa sede non sono invece stati analizzati i complessi rapporti intercorrenti tra le Unità idrogeologiche affioranti ai margini Sudalpino e appenninico e le Unità idrostratigrafiche qui descritte: tali rapporti necessitano, per essere chiariti e definiti, di approfondimenti specifici e di una base dati che esulano dalle finalità del presente lavoro.

8.4 – AREE DI RICARICA DIRETTA DEI SERBATOI ACQUIFERI

8.4.1 - DEFINIZIONI

Si definisce *ricarica diretta* di una determinata Unità Idrostratigrafica il flusso idrico, a forte componente verticale, proveniente dalla superficie, che alimenta i serbatoi acquiferi dell'Unità considerata.

Le *aree di ricarica diretta* di una determinata Unità Idrostratigrafica sono le porzioni della superficie topografica ove si esplica la ricarica diretta. Rappresentano le zone esposte e vulnerabili agli inquinamenti dell'Unità Idrostratigrafica considerata.

Le modalità con cui si esplica la ricarica diretta sono due:

1. - flusso monofasico in falda subalvea
2. - flusso bifasico (acqua e aria) attraverso il suolo ed il terreno non saturo.

La prima modalità è tipica delle valli alluvionali intramontane, degli alvei fluviali di conoide e pianura alluvionale, ed in generale dei corpi idrici (laghi, canali) a fondo permeabile.

La seconda modalità è preponderante nelle restanti aree della superficie topografica ove si esplica la ricarica diretta ed è funzione sia del comportamento idrologico, sia dell'uso del suolo.

8.4.2 – AREE DI RICARICA DIRETTA POTENZIALE DEI GRUPPI ACQUIFERI

Le aree di ricarica diretta potenziale sono definite dal sub-affioramento dei Gruppi Acquiferi, ovvero quando vengono a mancare livelli acquitardi (i.e. impermeabili) di significativa continuità laterale che annullino o riducano decisamente la componente verticale del flusso idrico. Tale circostanza, relativamente al Gruppo Acquifero A, si verifica sostanzialmente su tutta la sua estensione, dato che il tetto di questo Gruppo Acquifero è definito dalla superficie topografica. I Gruppi Acquiferi sottostanti sono invece in generale isolati dalle barriere di permeabilità legate ai principali limiti di sequenza: tale isolamento diventa più labile, fino a scomparire del tutto, avvicinandosi ai margini del bacino, dove prevalgono sedimenti a granulometria prevalentemente grossolana (sabbia e soprattutto ghiaia) e la presenza di livelli argillosi assume carattere locale. In questo caso i Gruppi Acquiferi possono essere in comunicazione idraulica diretta gli uni con gli altri e con la superficie topografica. Queste aree rappresentano le aree di ricarica diretta potenziale di ciascun Gruppo Acquifero e la loro delimitazione è fondamentale per le problematiche di protezione delle risorse idriche.

Le aree di ricarica diretta potenziale sono state così definite:

1. - Gruppo Acquifero A: tutta l'estensione della mappa relativa al territorio regionale, a partire dal limite degli affioramenti (i.e. limite della pianura). Tavola 2
2. - Gruppo Acquifero B: dal limite degli affioramenti fino al limite dei dati considerati per i Gruppi Acquiferi A e B, dove la barriera di permeabilità posta al tetto del Gruppo Acquifero B diventa ragionevolmente continua. Tavola 4
3. - Gruppo Acquifero C: dal limite degli affioramenti fino al limite dei dati considerati per i Gruppi Acquiferi A e B, dove anche la barriera di permeabilità posta al tetto del Gruppo Acquifero C diventa ragionevolmente continua. Tavola 6
4. - Gruppo Acquifero D: dal limite degli affioramenti fino al limite dei dati considerati per il Gruppo Acquifero C, dove la barriera di permeabilità posta al tetto del Gruppo Acquifero D, diventa ragionevolmente continua. Tavola 8

Si ribadisce che in questa sede non è stata considerata la ricarica dei Gruppi Acquiferi da parte delle Unità idrogeologiche affioranti ai margini Sudalpino e appenninico, che a loro volta possiedono proprie aree di ricarica diretta caratterizzate tuttavia da problematiche idrogeologiche del tutto diverse.

Le aree di ricarica diretta potenziale dei Gruppi Acquiferi sono state inoltre suddivise in tre classi, in funzione della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee, sulla base delle elaborazioni fornite dall'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia (ERSAL), di seguito descritte.

8.4.3 – CAPACITA' PROTETTIVA DEI SUOLI NEI CONFRONTI DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La funzione protettiva dei suoli consiste nella capacità che essi hanno di agire da barriera e filtro nei confronti di potenziali inquinanti e, quindi, di proteggere il sistema delle acque sotterranee e superficiali e le catene alimentari.

Con "capacità protettiva nei confronti delle acque sotterranee" si intende, in particolare, la capacità dei suoli di controllare il trasporto di inquinanti idrosolubili in profondità con le acque di percolazione ed in direzione, quindi, delle risorse idriche sottosuperficiali. Più nello specifico, l'interpretazione proposta esprime la potenziale capacità dei suoli di trattenere gli inquinanti idrosolubili entro i limiti degli orizzonti esplorati dagli apparati radicali delle piante ed interessati dall'attività biologica e microbiologica per un tempo sufficiente a permetterne la degradazione. Essa corrisponde, pertanto, alla definizione di "capacità di attenuazione del suolo", che il D.Lvo n.152/99 ("Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento"), nell'Allegato VII dedicato alle modalità di individuazione delle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e da prodotti fitosanitari, indica come elemento rilevante di conoscenza per approfondire la valutazione della "vulnerabilità intrinseca degli acquiferi" effettuata considerando le caratteristiche litostrutturali ed idrogeologiche del sottosuolo.

Le proprietà pedologiche prese in considerazione nel modello interpretativo sono permeabilità, profondità della falda superficiale, granulometria ed alcune proprietà chimiche (pH, CSC) utilizzate come indicatori del potere tampone del suolo. Tabella 8.1

Il modello prevede, in sintonia anche con analoghi schemi interpretativi adottati negli Stati Uniti ed in altri paesi d'Europa, la ripartizione dei suoli in tre classi di capacità protettiva nei confronti delle acque sotterranee: elevata, moderata e bassa.

Nella pianura lombarda, i suoli a bassa capacità protettiva sono prevalentemente concentrati nell'alta pianura, soprattutto nella parte occidentale, nella Lomellina e nella pianura pavese e lodigiana, nella zona delle risorgive e nelle valli fluviali; in queste aree, infatti, i suoli hanno in genere una permeabilità elevata, essendo caratterizzati da una granulometria grossolana, sabbiosa o sabbioso-ghiaiosa, e/o sono interessati da falde e fenomeni di idromorfia in prossimità della superficie.

La capacità protettiva è invece elevata dove i suoli hanno una tessitura più fine, sono meno permeabili ed hanno una maggiore capacità di filtro, condizioni che si verificano prevalentemente sulle superfici moreniche e terrazzate antiche localizzate tra il Ticino e l'Adda e nella porzione Sud-orientale della pianura.

Nel considerare le relazioni tra suoli ed ambiente nel suo complesso e, quindi, anche nell'analisi della funzione protettiva dei suoli, non bisogna tuttavia dimenticare che, spesso, le caratteristiche, quali pendenza o bassa permeabilità, che rendono i suoli protettivi nei confronti delle acque sotterranee, favoriscono invece i movimenti laterali delle acque, determinando una minore capacità di protezione delle risorse idriche di superficie: per questa ragione le interpretazioni e le cartografie della

capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee tendono frequentemente ad assumere un aspetto che è complementare a quello delle interpretazioni e delle carte riferite alla capacità protettiva nei confronti delle acque superficiali.

La valutazione della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee assume conseguentemente un interesse particolare nelle aree pianeggianti, nelle zone ad alta piovosità e in quelle dove sono utilizzate tecniche irrigue a forte consumo di acqua.

Classi di capacità protettiva	Permeabilità	Profondità falda	classe granulometrica	modif. chimici pH in H ₂ O, CSC in meq/100 g (*)
ELEVATA	BASSA (Classi 4, 5, 6)	> 100 cm	Fine, Very Fine, Fine Silty, Fine Loamy, Coarse Silty, Loamy Clayey Skeletal, più tutte le classi fortemente contrastanti comprese quelle over Sandy, Sandy Skeletal e Fragmental in cui il primo termine sia Fine, Very Fine o Fine Silty.	pH > 5.5 CSC > 10
MODERATA	MODERATA (Classe 3)	50 - 100 cm (con perm. bassa)	Coarse Loamy, Loamy Skeletal, più le rimanenti classi over Sandy, Sandy Skeletal o Fragmental	pH 4.5 - 5.5 CSC tra 5-10
BASSA	ELEVATA (Classi 1, 2)	< 50 cm (con perm. bassa) < 100 cm (con perm. moderata)	Sandy, Sandy Skeletal, Fragmental, più le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine sia Sandy, Sandy Skeletal, Fragmental	pH < 4.5 CSC < 5

(1)*Considerare il valore più alto tra quello riscontrato entro, 100 cm

Tabella 8.1 Capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee. Modello interpretativo

8.5 – INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

Sono state riconosciute e cartografate quattro UIS fondamentali, informalmente definite Gruppo Acquifero A, B, C, e D. Fig. 5.1.

La caratterizzazione gerarchica si basa su:

1. - volume complessivo degli acquiferi utili in ciascuna Unità
2. - spessore, continuità ed estensione areale del livello acquifero o impermeabile posto alla base di ciascuna Unità.

Tali Gruppi Acquiferi sono a loro volta suddivisibili in Unità di rango inferiore (Complessi Acquiferi), anch'esse separate da barriere di permeabilità, caratterizzate tuttavia da una più limitata continuità laterale. I Complessi Acquiferi derivano direttamente dalle Sequenze Deposizionali Elementari e sono a loro volta costituiti da Sistemi Acquiferi (corpi geologici caratterizzati da prevalenti depositi porosi e permeabili), separati da barriere di permeabilità locali, e da Sistemi Acquiferi (corpi geologici caratterizzati da prevalenti depositi fini), che tuttavia possono contenere serbatoi acquiferi di limitata entità.

8.5.1 – GRUPPI ACQUIFERI A, B, C, D, (TAVOLE 1, 3, 5, 7)

Le isolinee (isobate) che racchiudono, sulle mappe, le aree campite in colore danno, in ogni punto, la profondità della superficie basale del Gruppo Acquifero, riferita al livello del mare. La linea rossa che interseca le isobate separa le aree ove tale superficie è costituita da un limite di Sequenza Deposizionale, dalle aree (lato barrette) ove tale superficie rappresenta l'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra, i.e. il limite degli acquiferi utili così come definito nel paragrafo 6.1.

Nelle Tavole 3, 5 e 7 ulteriori isolinee in colore rosso (isopache) rappresentano, in ogni punto, lo spessore complessivo saturato con acqua dolce, rispettivamente dei Gruppi Acquiferi B, C e D. Le isopache sono calcolate per differenza rispettivamente tra le basi mappate dei Gruppi Acquiferi A e B, dei Gruppi Acquiferi B e C e tra la base del Gruppo Acquifero C e l'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra. Si sottolinea che le Tavole rappresentano solo la parte di Gruppo Acquifero permeata o saturata con acqua dolce e non quella saturata con acqua salmastra o salata. La base dei Gruppi Acquiferi è pertanto definita dalla superficie stratigrafica e dall'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra, ove quest'ultima interseca la superficie stratigrafica stessa.

8.5.2 – ACQUIFERI UTILI E AREE DI RIACARICA DIRETTA (TAVOLE 2, 4, 6, 8)

Le Tavole 2, 4, 6 e 8 illustrano la distribuzione dello spessore cumulativo di acquiferi utili e definiscono le aree di ricarica diretta, dei Gruppi A, B, C e D rispettivamente.

Le isolinee (*isopay*, nel linguaggio dell'industria petrolifera) che racchiudono le aree campite in colore definiscono, in ogni punto, lo spessore cumulativo di sabbie e ghiaie acquifere appartenenti a ciascun Gruppo Acquifero, sfruttabili per scopi idropotabili, agricoli e industriali. Sono state realizzate sommando, per ognuno dei pozzi Eni Divisione Agip, dei sondaggi geognostici e dei pozzi per acqua, lo spessore dei livelli acquiferi utili in ciascun Gruppo. La distribuzione areale degli spessori è stata ricavata dall'analisi delle variazioni laterali di facies sismica e dalla correlazione delle stratigrafie dei pozzi.

Le aree di ricarica diretta di ciascun Gruppo Acquifero sono state classificate sulla base della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee. Le superfici retinate delimitano e descrivono le aree di ricarica diretta.

8.5.3 – SEZIONI IDROSTRATIGRAFICHE

Per una descrizione di dettaglio dei quattro Gruppi Acquiferi sono state realizzate cinque sezioni idrostratigrafiche, rappresentative della complessa struttura degli acquiferi nel sottosuolo della pianura lombarda (Tavole 9 e 10).

L'opportunità di collegarsi alle sezioni già realizzate dalla Regione Emilia-Romagna, ha comportato da un lato l'utilizzo di una metodologia di lavoro già collaudata, dall'altro la presenza di alcuni vincoli. Lo schema stratigrafico elaborato nell'ambito dello studio relativo alla Regione Emilia-Romagna riassume una storia geologica che ha luogo all'interno della catena appenninica in via di deformazione; la pianura lombarda, invece, si situa nell'avampaese comune dell'Appennino Settentrionale e delle Alpi Meridionali e risente, perciò, in misura minore degli eventi tettonici legati alla formazione delle superfici di inconformità principali evidenziate nel sopracitato studio.

A partire dalle mappe delle isobate sono stati ricavati gli andamenti nello spazio delle superfici stratigrafiche che delimitano i Gruppi Acquiferi e dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata lungo i tracciati prescelti. È stata così realizzata l'impalcatura entro cui sono stati inseriti gli altri dati, cioè i carotaggi elettrici dei pozzi Eni Divisione Agip, le stratigrafie dei quattro sondaggi effettuati dalla Regione Lombardia e le stratigrafie dei pozzi per acqua. Dall'esame integrato dei diversi tipi di dati, e guidati anche dalle geometrie visibili sulle linee sismiche, si è proceduto alla individuazione ed alla correlazione dei principali corpi sedimentari ritenuti sede di falde acquifere.

Complessivamente, nel Pleistocene sono state individuate quattro unità stratigrafiche di tipo UBSU (Unconformity Bounded Stratigraphic Units, NACSN, 1983), che vengono di seguito denominate come Unità A, Unità B, Unità C ed Unità D.

Tali unità sono delimitate da superfici di inconformità prodotte da fasi deformative di importanza regionale; al loro interno sono riconoscibili più unità di rango minore (sintemi), delimitate da superfici di inconformità di significato più locale o di brusco cambiamento di facies.

Le unità A, B, C e D, come già precedentemente esposto, possono essere equiparate ad unità idrostratigrafiche nell'accezione di Maxey (1964), ossia "corpi geologici di notevole estensione areale che costituiscono un dominio dello spazio fisico in cui ha sede un sistema idrogeologico ragionevolmente distinto".

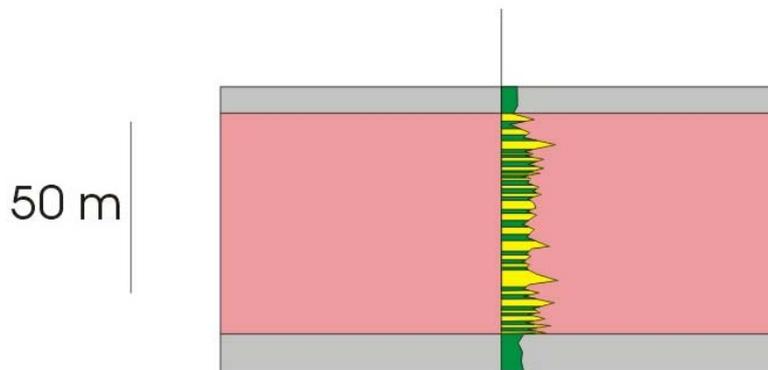


Figura 8.1 Definizione di un complesso acquifero. Nel log elettrico i picchi sporgenti verso destra rappresentano straterelli sabbiosi, e sono colorati di giallo; le rientranze verso sinistra, invece, rappresentano livelli argillosi, e sono colorate di verde. Si delinea, quindi, una successione prevalentemente sabbiosa, che è stata inclusa in un sistema acquifero (colorato in rosa). A tetto e a letto del sistema acquifero sono presenti due livelli prevalentemente argillosi, colorati in grigio, che costituiscono due sistemi acquitardi.

I sedimenti fini (argille o limi) che formano la parte superiore di ogni unità costituiscono una barriera impermeabile (acquicludo) o poco permeabile (acquitardo) che determina un relativo isolamento idraulico di una data unità rispetto alla soprastante. Nel complesso, quindi, l'insieme delle unità idrostratigrafiche principali costituisce una successione di corpi sedimentari acquiferi articolati (Gruppi Acquiferi), relativamente isolati gli uni dagli altri, costituiti al loro interno da corpi sedimentari acquiferi di rango e dimensioni minori (Complessi Acquiferi). Nelle sezioni idrostratigrafiche vengono correlate le unità componenti i Gruppi Acquiferi, ovvero i Complessi Acquiferi. Ogni Complesso Acquifero è costituito da un Sistema Acquifero (in colore) e da un Sistema Acquitardo (in grigio). Il primo è l'insieme dei serbatoi acquiferi e può essere definito come un'unità idrogeologicamente omogenea costituita da sedimenti relativamente grossolani che comprende anche barriere di permeabilità locali; il secondo è l'insieme dei corpi impermeabili o poco permeabili e può essere definito come un'unità idrogeologicamente omogenea costituita da sedimenti fini che possono contenere anche serbatoi acquiferi di minore entità.

Da questo discende logicamente che, così come sono rappresentati, i Sistemi Acquiferi sono, in molti casi, frutto di una semplificazione che porta a raggruppare in un singolo Sistema Acquifero una successione costituita, per esempio, da fitte alternanze di corpi sedimentari sabbiosi e argillosi (o limosi) nelle quali, complessivamente, prevalgono le sabbie. Fig. 8.1.

Un'analoga semplificazione è imposta dall'utilizzo dei pozzi scavati a scopi idrici, i cui dati sono caratterizzati da un livello qualitativo estremamente disomogeneo.

Un'ulteriore semplificazione, inoltre, è rappresentata dalla scelta di non rappresentare il passaggio laterale di facies tra sedimenti permeabili ed impermeabili, con la tradizionale simbologia a "dente di sega", utilizzata ad esempio nelle sezioni idrostratigrafiche dell'Emilia-Romagna. La granulometria del sedimento che costituisce un corpo sedimentario è funzione dell'energia della corrente che trasporta il sedimento; di conseguenza, la granulometria generalmente diminuisce lungo la direzione del trasporto, passando, per esempio, dalla conoide alluvionale, al fiume, al delta. In questo senso, il "dente di sega" rappresenta nient'altro che un artificio grafico per esprimere un fenomeno fisico, e potrebbe risultare fuorviante nell'ottica dell'utilizzatore non tecnico, tanto più che finisce inevitabilmente per rappresentare una superficie tempo-tragressiva. Si è preferito, invece, rappresentare la continuità del corpo sedimentario permeabile a prescindere dalla variazione di facies che, in molti casi, non è possibile quantificare.

In virtù di tutte queste semplificazioni il contenuto di sabbia dei corpi sedimentari rappresentati nelle sezioni e che costituiscono i Gruppi Acquiferi è sicuramente in eccesso rispetto a quanto riportato dalle mappe della sabbiosità (Tavole 2,4,6 e 8); tali mappe, infatti, sono state realizzate tenendo conto dei singoli strati porosi e permeabili presenti nelle stratigrafie analizzate.

I tracciati delle sezioni idrostratigrafiche sono stati scelti in modo da rappresentare nelle sezioni 1,2,3 e 4, orientate all'incirca N-S, le geometrie dei corpi sedimentari trasversali all'asse del bacino. La sezione 5, orientata all'incirca O-E, interseca le precedenti e visualizza l'andamento dei corpi sedimentari lungo l'asse del bacino.

Nel Pliocene e Pleistocene l'effetto della tettonica appenninica sul territorio lombardo si esplica sostanzialmente nella ri-deformazione di zone in precedenza strutturate dalla tettonica Sudalpina (che, in quest'area, si esaurisce alla fine del Miocene) e nell'inflessione e basculamento verso Sud delle zone antistanti i fronti deformativi appenninici (Gelati et al., 1987; Rossi e Rogledi, 1988; Roveri et al., 1998; Rossi et al., in stampa). Per ciò che riguarda i sedimenti superficiali, dei quali ci occupiamo, gli effetti dei fenomeni descritti si traducono nella geometria tendenzialmente a cuneo dei Gruppi Acquiferi e in rapide variazioni di spessore dei Gruppi e Complessi Acquiferi (vedi, per esempio, i Gruppi Acquiferi A, B e C nella sezione 3, nei dintorni del sondaggio *Pianengo RL 2*). E' da notare, tuttavia, che le faglie presumibilmente responsabili di tali variazioni di spessore non sono praticamente mai visibili sulle sezioni sismiche.

La cosa più evidente in tutte le sezioni idrostratigrafiche è una grande differenza nella geometria dei corpi sedimentari tra la parte superiore e quella inferiore delle sezioni stesse. Tale differenza è da ricondurre, in generale, alla tendenza regressiva che porta, nel corso del Pleistocene, al progressivo ritiro del mare dall'attuale Pianura Padana. Di conseguenza, nell'area lombarda, come nel resto dell'area padana, si passa da depositi torbiditici, ovviamente confinati nelle zone più profonde (assiali) del bacino, a sedimenti fluvio-deltizi progradanti che, a loro volta, sono sostituiti verticalmente e lateralmente da sedimenti continentali.

Più in particolare, questo fenomeno è bene espresso nelle sezioni 1 e 2, nelle quali, all'interno del Gruppo Acquifero D, si osserva il passaggio verticale da sedimenti torbiditici ad alimentazione assiale, a corpi fluvio-deltizi progradanti da Nord (delta-conoidi sud-alpini), per finire con unità a geometria tabulare che rappresentano la progradazione in senso assiale del sistema fluviale centro-padano.

Nella parte superiore delle sezioni, invece, non sono presenti depositi torbiditici, almeno nell'area lombarda. I Gruppi Acquiferi A e B, inoltre, sono costituiti solo da sedimenti continentali.

Nelle sezioni 3 e 4, poste più ad Est delle precedenti, il fenomeno appena descritto non è praticamente osservabile, per la presenza di alti strutturali che impediscono la progradazione in bacino dei delta-conoidi sud-alpini.

Per ciò che riguarda l'azione della tettonica, le sezioni 1 e 2 sono tracciate in zone in cui tale azione si limita a conferire una geometria cuneiforme alle unità sedimentarie. Solo la parte meridionale della sezione 2 appare interessata dalla presenza di deformazioni rilevanti, da ricondurre all'azione delle rampe laterali dei fronti appenninici più esterni.

La sezione 3, invece, appare più direttamente interessata dalla tettonica, come appare evidente dalle deformazioni presenti nella zona del sondaggio *Pianengo RL 2* (tettonica Sudalpina) ed in quella dei pozzi Cremona Nord 1 e Soresina 1 (tettonica appenninica), quest'ultima osservabile anche nella sezione 5.

La sezione 4 presenta importanti deformazioni nella zona del pozzo Castenedolo 1, dove risultano deformate praticamente tutte le unità, a testimonianza della continua attività di questa struttura Sudalpina.

Infine, la sezione 5 è tracciata per lo più in senso trasversale rispetto alla direzione di massima deformazione, per cui le deformazioni stesse risultano per lo più molto attenuate. Ciò che risalta maggiormente, in questa sezione, è la presenza, all'interno del Gruppo Acquifero C all'altezza del pozzo Ponteviso, della scarpata di raccordo tra il bacino relativamente poco profondo della Lombardia centro-occidentale ed il bacino profondo (torbiditico) presente nella Lombardia orientale (che è ben espresso anche in Veneto ed Emilia-Romagna).

Le scarpate relative ai Gruppi Acquiferi A e B, invece, sono localizzate molto più ad Est, fuori dalla Lombardia e, quindi, questi Gruppi Acquiferi nelle sezioni in esame sono interamente rappresentati da sedimenti continentali.

8.6 – EVOLUZIONE GEO-IDROLOGICA DEL BACINO

L'acqua dolce permea attualmente gran parte dei sedimenti fluviali, transizionali e litorali di piattaforma interna appartenenti ai Gruppi Acquiferi del bacino idrogeologico della pianura lombarda. Se questo è un fatto normale per i depositi alluvionali, certamente non lo è per i depositi deltizi e marini. I depositi di ambiente transizionale e marino erano infatti originariamente saturi di acqua salmastra o salata (acque connate), così come avviene nei depositi deltizi tardo-olocenici e attuali. La sostituzione dell'acqua salmastra e salata connata da parte dell'acqua dolce (fenomeno detto "flussaggio") è spiegata dall'evoluzione geo-idrologica del bacino.

Il sistema pedemontano Sudalpino è caratterizzato dalla presenza di prevalenti livelli porosi permeabili in prossimità del margine, dove prevalgono ghiaie e sabbie e mancano significative barriere di permeabilità. In questo contesto l'acqua dolce, grazie all'elevato gradiente idraulico legato alle caratteristiche morfologiche e idrogeologiche del margine Sudalpino, ha avuto la possibilità di infiltrarsi fino a notevole profondità e di spiazzare (termine dell'industria petrolifera, utilizzato per descrivere la dinamica della sostituzione di un fluido in un determinato volume poroso con un altro di caratteristiche diverse) l'acqua salmastra e salata connata con gli acquiferi.

I depositi prevalentemente grossolani dei fiumi Ticino, Adda e Lambro, Brembo, Serio, Oglio sono infatti flussati ad acqua dolce. Per quanto concerne il Ticino, nell'area di Turbigo, sono saturati in acqua dolce anche i sedimenti marini del Pliocene superiore, che all'atto della sedimentazione dovevano contenere acque salmastre e salate: in quest'area l'interfaccia acqua dolce/salmastra si trova oggi a -576 m sotto il livello del mare. Il settore Adda - Lambro è saturato in acqua dolce fino a -754 m (area di Milano-Lambrate), mentre nel settore Serio - Oglio l'interfaccia acqua dolce/salmastra si spinge sino a -739 m, per raggiungere infine i -773 m a Sud di Brescia. Questa situazione è tuttavia limitata ai depositi di conoide alluvionale e di delta conoide progradanti dal margine alpino: spostandosi più a Sud, laddove questi sistemi deposizionali da un lato diventano generalmente più fini e dall'altro si interdigitano con i depositi assiali, anch'essi prevalentemente fini, del Po, l'interfaccia acqua dolce/salmastra risale bruscamente verso la superficie, attestandosi intorno ai -300 / -400 m delle aree Cremonese e Mantovana (si veda in proposito la sezione sismica in Fig.5.6 e le sezioni idrostratigrafiche 1-4, Tavole 9 e 10). In particolare, nella sezione sismica, laddove l'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra è in rapida risalita, si può apprezzare una variazione della facies sismica da Nord verso Sud: si passa infatti da depositi praticamente massivi, interpretabili come ghiaie e sabbie prevalenti, mal stratificate, a depositi più organizzati, interpretabili come alternanze di corpi sabbiosi in rapida chiusura e di livelli limoso-argillosi a bassissima permeabilità. In questa fascia, il fenomeno del flussaggio dell'acqua salata da parte dell'acqua dolce ha subito un deciso rallentamento, legato alle condizioni di minore continuità dei corpi porosi permeabili, e l'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra risale a quote sensibilmente maggiori.

9 – APPLICAZIONI PRATICHE

Le principali applicazioni del quadro conoscitivo sin qui delineato sono certamente da ricercarsi nel campo idrogeologico e, più precisamente, nell'ambito della ricerca e della tutela delle riserve idriche sotterranee e della gestione delle relative risorse. Per maggiore chiarezza si ritiene opportuno richiamare qui i concetti di riserva e risorsa idrica.

Riserva idrica: volume di acqua gravifica contenuta ad una certa data, o immagazzinata nel corso di un periodo medio annuale, in un sistema idrologico (Castany, 1985, p.198).

Risorsa idrica: volume di acqua che può essere estratta dal sistema idrologico durante un dato periodo, tenuto conto dei vincoli fisico-tecnici, socio-economici, ambientali e politici esistenti.

La sempre maggiore richiesta di acqua di buona qualità fa sì che, anche in situazioni di relativa ricchezza idrica quali quelle della Pianura Padana lombarda, sia oggi necessario procedere all'individuazione di nuove riserve idriche strategiche, allo sviluppo di nuove e più mirate politiche di tutela delle risorse idriche utilizzate e delle riserve strategiche e a modalità di gestione delle risorse idriche basate su di una reale conoscenza dei sistemi idrogeologici su cui si interviene.

9.1 – INDIVIDUAZIONE DI NUOVE RISORSE IDRICHE

Il presente studio consente, sulla base delle geometrie dei corpi geologici mappati e di opportune analisi di facies, guidate anche dalle mappe della sabbiosità, di identificare serbatoi idrici profondi che ospitano riserve idriche non ancora utilizzate (in tal senso definite strategiche) e di definirne preliminarmente le caratteristiche fisiche, ponendo così le basi per un futuro utilizzo allorquando i sopracitati vincoli renderanno tali riserve suscettibili di divenire risorse.

In particolare, utilizzando le mappe delle isobate e delle isopache di ciascun Gruppo Acquifero (Tavole 1,3,5 e 7), è possibile calcolare il volume totale dei diversi Gruppi Acquiferi nel sottosuolo, stimare la profondità dell'interfaccia acqua dolce/salmastria nelle aree di interesse e valutare quindi la profondità a cui devono essere orientate le ricerche dirette (perforazioni) per lo sfruttamento dei serbatoi profondi. Dall'esame delle mappe della sabbiosità (Tavole 2,4,6 e 8) è possibile individuare le aree più promettenti per tali ricerche, ovvero quelle caratterizzate da significativi spessori cumulativi di depositi porosi permeabili per ciascun Gruppo Acquifero. Dall'incrocio delle due mappe, infine, per ciascun Gruppo Acquifero è possibile calcolare il volume degli acquiferi utili e quindi stimare le riserve idriche presenti.

Inoltre, utilizzando le tavole allegate, è possibile ricavare indicazioni preliminari per ubicare e progettare nuove opere di captazione. Dall'analisi delle mappe e delle sezioni idrostratigrafiche, sempre tenendo conto della scala regionale di tali elaborati, è possibile infatti:

1. - individuare le profondità da raggiungere, in funzione delle necessità di approvvigionamento e dello spessore cumulativo dei depositi porosi e permeabili per ciascun gruppo acquifero attraversato in una data area;
2. - definire lo schema preliminare di completamento, che tenga conto anche della necessità di preservare il naturale isolamento degli acquiferi profondi mediante l'installazione di colonne filtranti multiple, almeno una per ciascun Gruppo Acquifero sfruttato.

9.2 – PROTEZIONE DELLE RISORSE E DELLE RISERVE IDRICHE

La definizione di efficaci politiche di tutela delle risorse e delle riserve idriche non può prescindere dalla dettagliata conoscenza dei sistemi idrologici da proteggere e dall'individuazione delle aree critiche dal punto di vista dell'inquinamento. Già il D.P.R. 24 maggio 1988, n. 236 "Attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183", all'Art. 4, si occupava delle aree di salvaguardia delle risorse idriche, definendo negli articoli successivi le seguenti Zone:

Zona di tutela assoluta (R >10 m attorno all'opera di captazione, ove possibile): adibita esclusivamente a servizio dell'opera (art. 5);

Zona di rispetto (R >200 m attorno all'opera di captazione): prevede vincoli per le attività e le destinazioni d'uso (art. 6), ed è modificabile in relazione alla situazione locale;

Zona di protezione (area di ricarica delle falde): possibilità di limitare insediamenti e destinazioni d'uso (art. 6).

Successivamente la Regione Lombardia, con la D.G.R. 27 giugno 1996, n. VI/15137 "Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee (pozzi e sorgenti) destinate al consumo umano (art. 9, p.to 1, lett. f, D.P.R. 24 maggio 1988 n. 236)" definiva le modalità per individuare e delimitare la Zona di Rispetto delle captazioni idriche sotterranee, stabilendo i seguenti criteri:

criterio geometrico (R > 200 m): delimitazione preliminare per nuovi pozzi, possibile definitiva per pozzi esistenti;

criterio temporale (isocrona a 60 gg.): nel caso di acquiferi vulnerabili dalla superficie;

criterio idrogeologico (R > 10 m): nel caso di acquiferi protetti.

Tali zone di rispetto tuttavia, applicate caso per caso sulla scorta di una circostanziata relazione idrogeologica, sono relative alla protezione della risorsa idrica utilizzata dalla singola opera di captazione o, nel caso di campi pozzi, da un sistema di captazioni, ma non intervengono, o sono scarsamente efficaci, nella protezione dell'acquifero nel suo complesso. Il nodo cruciale per la tutela delle risorse idriche sotterranee è invece rappresentato in massima parte dalla vulnerabilità di ciascun acquifero in corrispondenza della rispettiva area di ricarica diretta, laddove flussi idrici a dominante componente verticale alimentano gli acquiferi dalla superficie topografica. A tali aree si riferiscono le zone di protezione di cui al sopracitato D.P.R. 236/88. Questo concetto è stato recentemente ribadito dal D. Lgs. n. 152/1999 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE ...", che all'Art.7 si occupa proprio delle "Zone di Protezione" e recita:

"Le zone di protezione devono essere delimitate secondo le indicazioni delle regioni per assicurare la protezione del patrimonio idrico. In esse si possono adottare misure relative alla destinazione del territorio interessato, limitazioni e prescrizioni per gli insediamenti civili, produttivi, turistici, agroforestali e zootecnici da inserirsi negli strumenti urbanistici comunali, provinciali, regionali, sia generali sia di settore."

"Le regioni, al fine della protezione delle acque sotterranee, anche di quelle non ancora utilizzate per l'uso umano, individuano e disciplinano, all'interno delle zone di protezione, le seguenti aree: aree di ricarica della falda (a); emergenze naturali ed artificiali della falda (b); zone di riserva (c)."

Le Zone di Protezione sono sino ad oggi rimaste sostanzialmente lettera morta, anche a causa dell'oggettiva difficoltà di delimitare le aree di ricarica della falda in mancanza di dati attendibili relativi alle geometrie degli acquiferi nel sottosuolo.

Le aree di ricarica diretta potenziale dei gruppi acquiferi, delimitate nelle mappe della sabbiosità (Tavole n. 2, 4, 6 e 8), con i limiti e gli accorgimenti già enunciati in un altro settore, possono essere utilizzate in via preliminare al fine di delimitare le Zone di Protezione di cui al D. Lgs. 152/1999 ed in particolare le aree di ricarica della falda (a).

La classificazione di tali aree sulla base della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee inoltre, se opportunamente incrociata con la cartografia dell'uso del suolo, può essere propedeutica alla definizione di prescrizioni da inserire negli strumenti di pianificazione alle scale provinciale e regionale.

9.3 – GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

Il moderno approccio alla gestione delle risorse idriche prevede la realizzazione di modelli matematici per la simulazione dei flussi idrici sotterranei e per la valutazione del bilancio idrico delle falde. Tali modelli, che possono essere più o meno sofisticati, implicano la definizione e quindi la conoscenza almeno dei seguenti aspetti:

1. - leggi fisico-matematiche che regolano i processi in atto nel bacino idrogeologico considerato
2. - caratteristiche geometriche dei corpi acquiferi e delle barriere di permeabilità (acquitardi e acquicludi) e distribuzione spaziale delle proprietà fisiche di tali corpi
3. - valori, e loro distribuzione nel tempo, delle variabili fisiche che intervengono nel processo ai limiti del bacino idrogeologico considerato (condizioni al contorno) e al suo interno, necessari per la calibrazione del modello.

Senza voler entrare nel dettaglio della realizzazione di tali modelli matematici, vale la pena di sottolineare come la definizione delle caratteristiche geometriche e fisiche del bacino idrogeologico in studio risulti essere un fattore determinante per l'attendibilità dei risultati del modello stesso.

L'analisi di sistemi naturali molto complessi richiede giocoforza di operare alcune semplificazioni della realtà, sia per sopperire a carenza di informazioni, sia per trattare i dati disponibili nei limiti dei modelli e degli algoritmi utilizzati. Tali schematizzazioni tuttavia non devono alterare in modo significativo la struttura reale del bacino idrogeologico, pena la ridotta valenza dei prodotti della modellizzazione.

Il contributo che può fornire il presente studio alle attività di gestione delle risorse idriche si ricollega quindi alla definizione a scala regionale delle geometrie dei Gruppi Acquiferi nel sottosuolo e della distribuzione spaziale delle loro proprietà fisiche.

Il valore aggiunto rispetto agli studi a carattere regionale realizzati in precedenza è rappresentato infatti dall'utilizzo dello strumento sismico, che consente di "vedere" le geometrie nel sottosuolo come effettivamente sono e di guidare le correlazioni tra corpi geologici geneticamente collegati.

L'utilizzo delle mappe delle isobate e delle isopache, della sabbiosità e dell'interfaccia acqua dolce/acqua salmastra, che localmente rappresenta la base dei Gruppi Acquiferi mappati, costituisce certamente uno strumento utile per affinare i modelli matematici a scala regionale e per rendere quindi più aderenti alla realtà le azioni di pianificazione e gestione sostenibile delle risorse idriche.

10 - BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1995, *Le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano*. Provincia di Milano
- AA.VV., 1999, *Le pianure. Conoscenza e salvaguardia, il contributo delle scienze della terra*. Atti del Convegno. Ferrara p.455
- AGIP, 1972. *Acque dolci sotterranee*. p. 914
- AGIP, 1985. *Acque dolci sotterranee*. p. 515
- Alger, R.P., Harrison, C.W., 1989. *Improved fresh water assessment in sand aquifers utilizing geophysical well logs*. The log analyst. p. 31-44
- AA.VV., 1995. *Le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano*. Provincia di Milano
- Arz H.W., Gerhardt S., Patzold J., Rohl U. 2001. *Millenial-scale changes of surface- and deep-water flow in the western tropical Atlantic linked to Northern Hemisphere high-latitude climate during the Holocene*. Geology vol 29, n.3 p. 239-242.
- Avanzini M., Beretta G.P., Francani V., Nespoli M., 1995. *Indagine preliminare sull'uso sostenibile delle falde profonde nella provincia di Milano*. CAP Milano Consorzio per l'acqua potabile. p.85
- Battagion G., 2000, *Petrografia delle sabbie trasportate dagli affluenti alpini del Po, dal Ticino all'Oglio*. Tesi di Laurea inedita, Università di Milano.
- Bianucci G., Ribaldone Bianucci E., 1985. *Le chimica delle acque sotterranee. Origine Composizione Inquinamento*. Hoepli. Torino. p. 267
- Bonomi T., Verro R., 1998. *Caratterizzazione idrogeologica della Pianura Bresciana mediante l'uso di banche dati e Sistemi Informativi Territoriali*. Acque Sotterranee, 60, 27-35.
- Bruce L.G., 1993. *Refined gasoline in the subsurface*. AAPG vol. 77/2, Bulletin. p.212-224
- Carcano C., Di Dio G., Piccin A., 2000. *Architettura del sottosuolo per l'utilizzo ottimale delle riserve idriche sotterranee*. Ricerca Petrolifera e Ambiente. Atti del Convegno. Roma. p.106-109
- Carcano C., Di Dio G., Piccin A., 2000. *Subsurface Depositional Model of the Padana Plan to optimize the aquifer production. Regione Lombardia and Emili-Romagna*. Third Congress on Regional Geological Cartography and Information Systems. Munich
- Carcano C., Piccin A., 1999. *Architettura deposizionale del Quaternario della Pianura Padana in Regione Lombardia: interpretazione integrata di dati sismici e stratigrafici*. Le pianure. Conoscenza e salvaguardia, il contributo delle scienze della terra. Atti del Convegno. Ferrara.

- Carcano C., Di Dio G., 1997. *A Map set for Groundwater Evaluation in the Regione Emilia-Romagna, Italy*. Second Congress on Regional Geologica Cartography and Information Systems. Barcellona.
- Casati P., Viganò P., 1974. *Le acque sulfuree dell'arena di Milano*. Atti Soc. Ital. Sci. Nat. Milano. p. 251-266
- Castagnolo L., Franchini D., Giusti F., 1980 - *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*. 10. Bivalvi. Consiglio Nazionale delle Ricerche AQ/1/49. Collana del Progetto Finalizzato: "Promozione della Qualità dell'Ambiente", p. 1-64
- Castany G., 1985. *Idrogeologia. Principi e metodi*. Dario Flaccovio Editore p. 243
- Cavallin A., Francani V., Mazzarella S., 1983. *Studio idrogeologico della Pianura compresa tra Adda e Ticino*. Costruzioni, 326, 327, p. 39
- Cavallin A., Mazzarella S., Orlando M., Spezzi Bottiani G., 1984. *Caratteri idrochimici delle acque sotterranee nella pianura milanese*. Acque Sotterranee, 2, p. 23-44.
- Chiesa G., 1988. *Inquinamento delle acque sotterranee. Metodi di indagine e di studio per la gestione delle acque inquinate*. Hoepli. Torino. p. 375
- C.N.R. – I.R.R.S.A., 1981. *Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana*. Quad. I.R.R.S.A., p. 51 (II)
- Coltorti M., Albianelli A., Bertini A., Ficarelli G., Laurenzi M.A., Napoleone G., Torre D., 1998. *The Colle Curti mammal site in the Colfiorito area (Umbria-Marchean Apennine, Italy): geomorphology, stratigraphy and palynology*. Quaternary International, 47/48, 107-116.
- Conti A., Sacchi E., Chiarle M., Martinelli G., Zuppi G.M., 2000. *Geochemistry of the formation waters in the Po plain (Northern Italy): an overview*. Applied Geochemistry. p. 51-65 Pergamon
- Corselli C., Gnaccolini M., Orombelli G., 1985. *Depositi deltizi pliocenici allo sbocco della val Brembana (Prealpi Bergamasche)* Riv. It. Pal. Strat. V. 91 n. 1 p. 117-132 Milano
- Decker J. e Helmold K.P., 1985. *The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method* - Discussion. Journ. Sedim. Petrol., 55: p. 618-621.
- Denti E., Lauzi S., Sala P., Scesi L., 1988. *Studio idrogeologico della Pianura Bresciana tra i fiumi Oglio e Chiese*. Studi Idrogeol. sulla Pianura Padana, p.36
- Dickinson W.R., 1970. *Interpreting detrital modes of graywacke and arkose*. Journ. Sedim. Petrol., 40: p. 695-707.
- Dickinson W.R., 1985. *Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones*. In: Zuffa G.G. (Ed.), Provenance of arenites, Reidel Publishing Company, Nato ASI Series, Dordrecht, 148: p. 333-361.

- Dickinson W.R. e Suczek C.A., 1979. *Plate tectonics and sandstone composition*. Am. Ass. Petrol. Geol. Bull., 63: p. 2164-2172.
- Domenico P.A., Schwatz F.W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley and Sons, New York, p. 824
- Dupont L.M., Donner B., Schneider R., Wefer G., 2001. *Mid-Pleistocene environmental change in tropical Africa began as early as 1.05 Ma*. Geology vol 29, n.3 p. 195-198.
- Esu D., Girotti O., 1974. *La malacofauna continentale del plio-pleistocene dell'Italia Centrale*. Geol. Rom., XIII: p. 203-293
- Fanetti D., 2000. *La Pianura Padana Sud di Brescia: interpretazione integrata di dati sismici e stratigrafici*. Tesi di Laurea inedita, Università di Milano.
- Ficcarelli G., Mazza P., 1990. *New fossil findings from the Colfiorito basin (Umbro-Marchean Apennine)*. Boll. Soc. Paleont. Ital., 29 (2), 245-247.
- Ficcarelli G., Abbazzi L., Albianelli A., Bertini A., Coltorti M., Magnatti M., Masini F., Mazza P., Mezzabotta C., Napoleone G., Rook L., Rustioni M., Torre D., 1997. *Cesi, an early Middle Pleistocene site in the Colfiorito Basin (Umbro-Marchean Apennine), central Italy*. Journal of Quaternary Science, 12 (6), 507-518.
- Francani V., Pozzi R., 1981. *Condizioni di alimentazione delle riserve idriche del territorio milanese*. La Rivista della Strada, L 303, Milano.
- Garzanti E., Gamba A., Malara F., Vidimari C., 1998. *Evoluzione della mineralogia del detrito in sistemi fluviali segmentati da sbarramenti naturali o artificiali e attraverso la pianura: il bacino idrografico dell'Adda (Lombardia)*. Geologia Insubrica, 3/1: p. 43-60.
- Garzanti E., Scutella' M., Vidimari C., 1999. *Le sabbie fluviali del bacino del Tanaro (Piemonte): una chiave per interpretare la storia erosiva delle Alpi Liguri*. In: Orombelli G. (Ed.), Studi geografici e geologici in onore di Severino Belloni: p. 367-390.
- Garzanti E., Andò S., Scutellà M., 2000. *Actualistic ophiolite provenance: the Cyprus Case*. Journal of Geology, 108: p. 199-218.
- Garzanti E., Vezzoli G., Andò S., Castiglioni G., 2001, *Petrology of rifted-margin sand (Red Sea and Gulf of Aden, Yemen)*. Journal of Geology, v.109, p. 277-297.
- Garzanti E., Canclini S., Moretti Foggia F., Petrella N., in stampa. *Unraveling magmatic and orogenic provenances in modern sands: the back-arc side of the Apennine thrust-belt (Italy)*. Journal of Sedimentary Research.
- Gazzi P., 1966. *Le arenarie del flysch sopracretaceo dell'Appennino modenese: correlazioni con il flysch di Monghidoro*. Miner. Petrogr. Acta, 12: p. 69-97.
- Gelati R., Rogledi S. and Rossi M., 1987. *Significance of the Messinian unconformity-bounded sequences in the Apenninic margin of the Padan foreland basin, Northern Italy (preliminary results)*. Mem. Soc. Geol. It., v. 39, p. 319-323
- Gliozzi E., Abbazzi L., Argenti P., Azzaroli A., Caloi L., Capasso Barbato L., di Stefano G., Esu D., Ficcarelli G., Girotti O., Kotsakis T., Masini

- F., Mazza P., Mezzabotta C., Palombo M. R., Petronio C., Rook L., Sala B., Sardella R., Zanalda E., Torre D., 1997. *Biochronology of selected Mammals, Molluscs and Ostracods from the Middle Pliocene to the late Pleistocene in Italy*. The state of the art. Riv. Ital. Paleont. Strat., 103 (3), 369-388.
- Ghielmi M., Rogledi S., Rossi M., 1998. *Studio stratigrafico sedimentologico dell'area Padana*. Eni -Agip Divisione Esplorazione e Produzione. Inedito
- Giusti F., Pezzoli E., 1984 - *Notulae Malacologicae XXIX. Gli Hydrobiidae delle acque costiere italiane: primi cenni sulla sistematica del gruppo e sui caratteri distintivi delle singole morfospesie*. Lavori S.M.I., 21: p. 117-148
- Ingersoll R.V., Bullard T.F., Ford R.L., Grimm J.P., Pickle J.D., Sares S.W., 1984. *The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazi-Dickinson point-counting method*. Journ. Sedim. Petrol., 54: p. 103-116.
- Ingersoll R.V., Kretchmer A.G., Valles P.K., 1993. *The effect of sampling scale on actualistic sandstone petrofacies*. Sedimentology, 40: p. 937-953.
- Martinis B., Mazzarella S., 1971. *Prima ricerca idrica profonda nella pianura lombarda*. Mem. Ist. Geol. E Min. Univ. Padova, XXVIII
- Martinis B. & Robba E., 1978. *Contributo alla stratigrafia dei depositi quaternari del sottosuolo di Milano*. Riv. It. Pal., 84
- Maxey G. B., 1964. *Hydrostratigraphic Units*. Journal of Hydrology, 2, p. 124-129.
- Minelli A., Ruffo S., La Posta S. (eds.), 1995. *Check-list delle specie della fauna italiana, 13*. Calderini, Bologna: p. 1-112
- Moscariello A., Ravazzi C., Brauer A., Chiesa S., Mangili C., De Beaulieu J.L., Reille M., Rossi S., 2000. *A long lacustrine record from the Pianico-Sellere Basin (Middle-Late Pleistocene, Northern Italy)*. Quaternary International, Special Issue 'Mediterranean Lacustrine Records', 73/74, 47-78.
- Müllenders W., Favero V., Coremans M., Dirickx M., 1996. *Analyses polliniques de sondages à Venise*. In: F. Gullentops (ed.), Pleistocene palynostratigraphy. Aardkundige Mededelingen, 7, 87-117.
- Mutti, E., et alii, 1996. *The importance of Ancient Fluvio-Deltaic Systems Dominated by Catastrophic Flooding in Tectonically Active Basins*. Memorie Scienze Geologiche, v. 48, p. 233-291.
- Mutti, E., 1990. *Relazioni tra stratigrafia sequenziale e tettonica*. Memorie Società Geologica Italiana, v. 45, p. 627-655.
- NACSN, North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983. *North American Stratigraphic Code*. AAPG Bull., v. 67, p. 841-875
- Orombelli G., 1979. *Il ceppo dell'Adda: revisione stratigrafica*. Riv. It. Pal. Strat. V. 85 n. 2 p. 573-652 Milano
- Orombelli G., Gnaccolini M., 1978. *Composizione petrografica e provenienza del "Ceppo" di Paderno d' Adda*. Gruppo di Studio del Quaternario Padano, n.4, p. 7-30.

- Parenzan P., 1974. *Carta d'identità delle conchiglie marine del Mediterraneo*. Ed. Bios Taras, Taranto, 3 Voll.
- Pérès J.M., Picard J., 1964. *Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée*. Rec. Trav. Stat. mar. Endoume, 31 (47): p. 5-137
- Pieri M., Groppi, G., 1981. *Subsurface Geological Structure of the Po Plain, Italy*. CNR Pubblicazione n. 414 del Progetto Finalizzato Geodinamica, p. 13.
- Pilla G., 1998. *Caratterizzazione idrochimica e geochimica isotopica delle falde idriche nel sottosuolo della città di Pavia*. Atti Tic. Sc. Terra 40 (1998), p. 185-201, 9 fig., 6 tab.
- Pilla G., Savarino R., 1998. *Le risorse idriche nel sottosuolo della città di Pavia*. Atti Tic. Sc. Terra 40 (1998), p. 121-137, 9 fig., 2 tab.
- Pinti D., Quidelleur X., Chiesa S., Ravazzi C., Gillot P.Y., 2001. *K-Ar dating of an early Middle Pleistocene distal tephra in the interglacial varved succession of Piànico-Sèllere (Southern Alps, Italy)*. Earth and Planetary Science Letters, 5819, 1-7.
- Piper D.J.W., Aksu A.E., 1992. *Architecture of staked Quaternary deltas correlated with global oxygen isotopic curve*. G.S.A. Geology v. 20, p. 415-418
- Poore R.Z., Dowsett H.J., 2001. *Pleistocene reduction of polar ice caps: Evidence from Cariaco Basin marine sediments*. G.S.A. Geology v. 29, n.3, p. 71-74
- Regione Emilia-Romagna, ENI – AGIP, 1998. *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA. (Firenze), p. 120
- Repsold H., 1991. *Pore water resistivities from SP logs and resistivity logs in unconsolidated sediments*. Geol. Jb. E 48 Hannover, p. 309-334
- Ravazzi C., 1993. *Variazioni ambientali e climatiche al margine meridionale delle Alpi nel Pleistocene inferiore. Stratigrafia e analisi pollinica della serie di Leffe*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra. Università di Milano. pp. 269.
- Ravazzi C., Rossignol Strick M., 1995. *Vegetation change in a climatic cycle of Early Pleistocene age in the Leffe basin (Northern Italy)*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 117, 105-122.
- Ravazzi C., Moscariello A., 1998. *Sedimentation, palaeoenvironmental evolution and time duration of earliest Pleistocene climatic cycles in the 24 - 56 m FM-core interval (Leffe Basin, northern Italy)*. In: Th. van Kolfschoten, P. Gibbard (eds.), Proceedings of the INQUA-SEQS Symposium 'The dawn of the Quaternary'. Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen, 60, 467-490.

- Ravazzi C., Pini R., Breda M., Martinetto E., Muttoni G., Chiesa S., Confortini F., Egli R. *The lacustrine deposits of Fornaci di Ranica (late Early Pleistocene, Italian Pre-Alps): stratigraphy, palaeoenvironment and geological evolution*. Sottoposto a: Quaternary International.
- Ravazzi C. & Rossi S. eds., 2000. *The lacustrine succession of the Piànico-Sellère Basin*. Terra Nostra, Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung, 2000 / 7, 145-157. Potsdam.
- Repsold, H., 1991. *Pore water resistivities from SP logs and resistivity logs in unconsolidated sediments*. Geol. Jb. E 48 Hannover, p. 309-334
- Ricchiuto T., Zuppi G.M., Bortolami G.C., Oliviero G.F., 1985. *Le acque salate della Pianura Padana. Parte I inquadramento geochimico*. In Francani V., Zuppi G.M. (Eds.), Studi idrogeologici sulla Pianura Padana. 1. Clup. Milano. p. 9-30
- Rio D., Raffi I., Villa G., 1990. *Pliocene-Pleistocene calcareous nannofossil distribution patterns in the western Mediterranean*. In Kastens K.A., Mascle J. Et al., Proceedins of the Ocean Drilling Program, Scientific Results. vol 107, p. 513-533
- Rossi M. and Rogledi S., 1988. *Relative sea-level changes, local tectonics and basin margin sedimentation in the interference zone between two orogenic belts: seismic stratigraphic examples from Padan foreland basin, Northern Italy*. In W. Nemeč and R.J. Steel (Eds.), "Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Setting", p. 368-384
- Rossi M., Rogledi S., Barbacini G., Casadei D., Iaccarino S. and Papani G., in press. *Tectono-stratigraphic architecture of Messinian piggy-back basins of Northern Apennines: the Emilia folds in the Reggio-Modena area and comparison with the Lombardia and Romagna sectors*.
- Rossi S., Reille M., Moscariello A., Ravazzi C., Beaulieu J.L. de, Brauer A., Chiesa S., Mangili C., 2000. *The annually laminated record of Pianico Sellere (Northern Italy): an overview*. 1st. ALDP/ELDP Joint Meeting "Environmental Change in Eurasia", Kyoto e Mikata, Japan, 20-25 marzo 2000. Volume degli abstract, 80-82.
- Roveri M., Manzi V., Bassetti M.A., Merini M. and Ricci Lucchi F., 1998. *Stratigraphy of the Messinian post-evaporitic stage in eastern Romagna (Northern Apennines, Italy)*. Giornale di Geologia, v. 60, p. 119-142
- Russo M., 2001. *Petrografia delle sabbie fluviali attuali derivate dalle Alpi Occidentali*. Tesi di Laurea inedita, Università di Milano.
- Scesi L., 1985. *Lineamenti geologici e idrogeologici della pianura pedemontana bresciana compresa tra i fiumi Mella e Chiese*. Studi Idrogeol. sulla Pianura Padana, 1, p. 57-82.
- Smith G.A., 1994. *Climatic influences on continental deposition during late-stage filling of an extensional basin, southern Arizona*. G.S.A. Bulletin v. 106, p. 1212-1228

- Suttner L.J., Basu A., 1985. *The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method - Discussion*. Journ. Sedim. Petrol., 55: p. 616-618.
- Tiedemann R., Sarnthein M., Shackleton N.J., 1994. *Astronomic timescale for the Pliocene Atlantic $\delta^{18}O$ and dust flux records of Ocean Drilling Program site 659*. Palaeoceanography, 9 (4), 619-638.
- Turner H., 1999. *Fauna Helvetica Mollusca Atlas*
- Van der Hammen, T., Wijmstra, T., Zagwijn, W., 1971. *The floral record of the late Cenozoic of Europe*. In: Turekian K.K. (Ed.): Late Cenozoic glacial ages, pp. 391-424. Yale Univ. Press, New Haven.
- Vittori E., Ventura G., 1995. *Grain size of fluvial deposits and late Quaternary climate: a case study in the Po River valley (Italy)*. G.S.A. Geology v. 23, n. 8, p. 735-738.
- Zavatti A., et alii, 1995. *La presenza di arsenico nelle acque sotterranee della pianura Padana: evidenze ambientali e ipotesi geochimiche*. Atti conv. naz. protezione e gestione acque sotterranee. p. 2.300-2.326
- Zucchi Stolfa M. L., Toppazzini C., 1976. *Dati paleoecologici preliminari dedotti dalle malacofaune del sondaggio S12 (Adriatico Settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 95: p. 981-990
- Zuffa G.G., 1985. *Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results*. In: Zuffa G.G. (Ed.), Provenance of arenites, Reidel Publishing Company, NATO-ASI Series, Dordrecht: p. 165-189.
- W.H.O., 1996. *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization. Geneva. vol. 1 – 2 – 3