

## Ricostruzione idrostratigrafica profonda delle successioni caratterizzanti i bacini sedimentari del Piemonte: possibili risvolti applicativi.

Paolo Clemente\*<sup>1</sup>, Domenico Antonio De Luca<sup>1</sup>, Andrea Irace<sup>2</sup>, Alan Menegon<sup>1</sup>,  
Marcello Natalicchio<sup>1</sup>, Luca Ossella<sup>2</sup>, Stefania Trenkwalder<sup>2</sup>

\*Autore corrispondente. <sup>1</sup>Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra. <sup>2</sup>C.N.R., Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Torino. E-mail: paolo.clemente@unito.it, domenico.deluca@unito.it, a.irace@csg.to.cnr.it, alan.menegon@unito.it, marcello.natalicchio@unito.it, l.ossella@csg.to.cnr.it, s.trenkwalder@csg.to.cnr.it

*Deep hydrostratigraphic reconstruction of the Piemonte's sedimentary basins: possible applications.*

**ABSTRACT:** A working group of CNR-IGG and Earth Sciences Department of the University of Turin carried out a tridimensional model of the geologic structure and the geometry of deep aquifers contained in miocenic-holocene successions buried under the Piemonte Plain (NW Italy). After a preliminary stratigraphic analysis of the sedimentary structure, hydrostratigraphic studies allowed to define the hydrogeologic set-up of investigated successions. In particular, the most important aquifers and aquitards have been identified and analyzed at regional scale, and the surface separating fresh and brackish-salt waters has been supposed. This results allowed to make preliminary hypothesis about the volume and the quantity of potentially exploitable deep aquifers permeated by fresh waters and about the possible use of deep successions permeated by brackish or salt waters.

**Key terms:** Stratigraphy of sedimentary basins, Deep aquifers, Salt waters, CO<sub>2</sub> geological storage

**Termini chiave:** Stratigrafia di bacini sedimentari, Acquiferi profondi, Acque salate, Confinamento geologico della CO<sub>2</sub>

### Riassunto

La Pianura piemontese (Italia NW) rappresenta un bacino idrogeologico di notevole potenzialità i cui acquiferi sono intensamente sfruttati fino ad una profondità massima di 250 m. Al di sotto tale profondità le conoscenze sono state finora scarse e lacunose.

L'attività di ricerca intrapresa da un gruppo di lavoro afferente al CNR-IGG e al Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino ha permesso di ricostruire, per la prima volta, un modello geologico tridimensionale della struttura e della geometria degli acquiferi profondi permeati da acque dolci, presenti al di sotto di quelli attualmente captati e contenuti nelle successioni messiniano-quadernarie sepolte al di sotto della pianura piemontese.

I principali risultati raggiunti sono stati:

- l'individuazione, nelle successioni sedimentarie profonde, della distribuzione delle principali formazioni acquifere e di quelle a bassa permeabilità (aquitards);
- il riconoscimento della posizione e della geometria a scala regionale della superficie di separazione tra acque dolci e acque salmastre/salate profonde.

Questi risultati hanno permesso da un lato di stimare il volume degli acquiferi profondi permeati da acque dolci potenzialmente sfruttabili per uso civile, industriale ed idropotabile e dall'altro di valutare in maniera preliminare i possibili utilizzi delle successioni profonde permeate da

acque salate/salmastre.

### Introduzione e inquadramento geologico

La conoscenza dell'assetto geologico-stratigrafico di un bacino sedimentario rappresenta l'elemento indispensabile per ricostruire un modello idrostratigrafico affidabile, finalizzato alla valutazione dei volumi di acqua dolce potenzialmente sfruttabili e dei possibili utilizzi degli acquiferi come mezzi di confinamento profondo di fluidi inquinanti.

E' stato recentemente portato a termine un progetto mirato alla ricostruzione idrostratigrafica del sottosuolo della Pianura Padana occidentale frutto della collaborazione fra la Regione Piemonte (Direzione Pianificazione Ricerche Idriche), il CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse, Unità Organizzativa di Torino ed il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino.

Lo scopo di questo lavoro è stato lo studio degli acquiferi profondi permeati da acque dolci, posti a profondità maggiori rispetto a quelli attualmente captati, che costituiscono solamente i primi 200-300 m delle successioni plio-quadernarie. Questo progetto è stato svolto per ricostruire l'assetto idrostratigrafico al di sotto di tali profondità, al fine di stimare lo spessore complessivo di successione sedimentaria potenzialmente utile per scopi idropotabili e per implementare le

conoscenze relative agli acquiferi “superficiali” già in corso di utilizzo.

Gli acquiferi profondi della Regione Piemonte sono ospitati nelle successioni messiniano-quadernarie (considerate come riserva idrica di importanza strategica), che costituiscono il riempimento di tre principali bacini: il Bacino di Savigliano e il Bacino di Alessandria a sud e la terminazione occidentale del Bacino Padano, a nord (Figura 1). Questi depositi definiscono, nei Bacini di Savigliano ed Alessandria, sinclinali regionali con massimi spessori di 2000-2500 m nei depocentri sepolti, che tendono a diminuire progressivamente verso gli attuali margini. Nel Bacino Padano i depositi plio-quadernari costituiscono una monoclinale regionale immergente mediamente verso sud, con spessori massimi di 2500 m, in prossimità dei *thrust* padani.



Figura 1 – Ubicazione geografica e geologica dei tre bacini sedimentari presenti nella pianura piemontese (LVV: Linea Villalvernia Varzi; ZSV: Zona Sestri Voltaggio; CT: Collina di Torino; M.to: Monferrato; AM: Alto Monferrato; BG: Borbera Grue; BTP: Bacino Terziario Piemontese).

Figure 1 – Geological (and geographical) setting of the Piemonte plain' sedimentary basins (LVV: Villalvernia Varzi Line; ZSV: Sestri Voltaggio Zone; CT: Turin Hill; M.to: Monferrato; AM: High Monferrato; BG: Borbera Grue; BTP: Tertiary Piemonte Basin).

La realizzazione del progetto è avvenuta tramite l'integrazione di diverse competenze relative alla geologia stratigrafica, alla geologia strutturale, alla micropaleontologia ed all'idrogeologia.

L'integrazione delle conoscenze geologiche e micropaleontologiche ha consentito di fornire un modello stratigrafico a grande scala del sottosuolo, indispensabile per la definizione, da parte degli idrogeologi, della geometria e della struttura interna degli acquiferi profondi.

In questo contributo verranno illustrati alcuni risultati della ricerca e le considerazioni preliminari sulle possibili applicazioni delle conoscenze acquisite.

### Modello stratigrafico

Come accennato in precedenza, l'integrazione delle diverse competenze ha permesso di fornire, per la prima volta, un modello geologico tridimensionale dell'intera successione messiniano-quadernaria piemontese, consentendo di migliorare notevolmente l'affidabilità della ricostruzione idrostratigrafica.

In particolare, l'integrazione di dati di sottosuolo, consistenti in linee sismiche a riflessione (Pieri & Groppi, 1981; Mosca, 2006) e pozzi per la ricerca di idrocarburi (AGIP, 1972-1974), con dati di superficie, comprendenti analisi stratigrafiche di sezioni affioranti e datazioni e analisi micropaleontologiche, ha permesso di elaborare un quadro deposizionale più organico ed aggiornato dei bacini piemontesi e di ricostruire tridimensionalmente le geometrie dei corpi sedimentari, le tipologie e la distribuzione delle litofacies e dei principali ambienti sedimentari (continentale, transizionale, marino), nonché la localizzazione delle principali strutture tettoniche. Tali informazioni, indispensabili per l'analisi idrogeologica, hanno fornito la base dati per l'individuazione delle diverse tipologie di acquiferi, per l'attribuzione del grado di permeabilità, per il calcolo dei volumi d'acqua disponibili e per definire la geometria e la posizione della superficie di interfaccia acqua dolce-acqua salmastra/salata (vedi cap. successivo).

La correlazione delle superfici di discontinuità regionali ha consentito di distinguere e tracciare nelle tre dimensioni unità stratigrafiche a limiti inconformi, corrispondenti a sintemi (Chang, 1975). Un sintema rappresenta un corpo sedimentario complesso delimitato da superfici di discontinuità stratigrafica, costituito da gruppi di strati con geometria e litologia variabili ma legati geneticamente, ossia depositi in contesti deposizionali diversi e contigui ed in continuità di sedimentazione. Le superfici di strato possono toccare ma non intersecare le superfici di discontinuità stratigrafica a base ed a letto dei sintemi. La ricostruzione nelle tre dimensioni della geometria e dell'architettura interna dei sintemi presenta il vantaggio di disporre di pacchi rocciosi costituiti al loro interno da gruppi di strati con peculiari giacitura ed organizzazione, che contraddistinguono ogni sistema in termini di risposta al flusso idrico regionale (vedi cap. successivo).

La successione messiniano-quadernaria profonda dei tre bacini studiati è stata suddivisa in 6 sintemi principali, delimitati da superfici di discontinuità regionali: sintemi M1 e M2 (Messiniano superiore), sintema P1 (Pliocene inferiore), sintema P2 (Pliocene inferiore-medio), sintema P3 (Pliocene medio-superiore), sintema Q1 (Pleistocene inferiore) e sintema Q2 (Pleistocene medio-Olocene). Un

ulteriore sintema, il sintema Q2, è stato inserito nel quadro stratigrafico, anche se è stato trattato con minor dettaglio, poiché esso comprende le successioni pleistocenico-oloceniche in cui sono contenuti gli acquiferi “superficiali”, già in corso di sfruttamento.

Pur non potendo descrivere per motivi di spazio l’architettura e le facies che costituiscono ogni singolo sintema riconosciuto, cosa che non ricade tra gli scopi principali di questo lavoro, è importante sottolineare che a grande scala, la sovrapposizione verticale di questi sistemi riflette un *trend* trasgressivo-regressivo, comune ai tre bacini. La fase trasgressiva è materializzata dal sintema M2. A partire dalla base del Pliocene incomincia la fase regressiva controllata, a grande scala, dal sollevamento dei margini dei bacini e da una contemporanea subsidenza nei settori depocentrali. In particolare, tale *trend*, che risulta responsabile del tipo e dell’architettura attuale della maggior parte degli acquiferi profondi permeati da acque dolci e della distribuzione della superficie di interfaccia acqua dolce-salmastra/salata, inizia con la deposizione dei sedimenti marini del Pliocene basale (P1). Essi sono seguiti da un prisma sedimentario progradante, costituito da depositi marino marginali e profondi e subordinatamente continentali, sviluppatosi nell’intervallo Pliocene inferiore-medio. Seguono infine successioni a carattere da aggradante a progradante, depostesi nell’intervallo Pliocene medio-Olocene, che materializzano il definitivo colmamento e la definitiva “continentalizzazione” dei bacini.

### Modello idrogeologico: individuazione dei gruppi acquiferi

L’analisi idrogeologica, realizzata sulla base dei risultati derivanti dal modello geologico, ha permesso di individuare, all’interno delle successioni indagate, la distribuzione dei principali acquiferi, aquitards ed aquicludes a scala regionale.

Il modello idrogeologico risultante si basa sull’identificazione all’interno delle successioni indagate di Gruppi Acquiferi (A, B, C, D, E, F, G) (Figure 2 e 3). Con il termine è stato definito ogni sintema caratterizzato da elementi giacitureali e/o tessitureali dei sedimenti (nonché grado di cementazione/compattazione) distinti e con caratteristiche omogenee nella risposta al flusso idrico nel modello idrogeologico generale.

In particolar modo, è stato possibile osservare come i Gruppi Acquiferi inferiori (E, F, G), legati a deposizione in ambiente in prevalenza marino, rappresentino sistemi acquiferi multifalda con setti a ridotta permeabilità di continuità plurichilometrica. I Gruppi Acquiferi sovrastanti (B, C, D), sviluppatisi contestualmente a un *trend* regressivo, con passaggio da ambienti marini a continentali, presentano sistemi acquiferi multifalda caratterizzati da un’alternanza di acquiferi a granulometria relativamente più grossolana (sabbie e ghiaie) e aquitards limoso-argillosi di ridotta continuità laterale (inferiore ai 2 km).

Scala cronostatigrafica		UNITA' AFFIORANTI	UNITA' SEPOLTE	SINTEMI	GRUPPI ACQUIFERI	ACQUIFERI
OLOCENE	0.01 Ma	DEPOSITI FLUVIALI E FLUVIO-GLACIALI		<b>Q2</b>	<b>A</b>	libero
	superiore					
PLEISTOCENE	medio					
	inferiore 1.8 Ma	"VILLAFRANCHIANO SUPERIORE"		<b>Q1</b>	<b>B</b>	multifalda discontinui
PLIOCENE	superiore 2.6 Ma	"VILLAFRANCHIANO INFERIORE"		<b>P3</b>	<b>C</b>	multifalda discontinui
	medio	← ASTIANO				
	inferiore	"VILLAFR." "ASTIANO" "PIAC."		<b>P2</b>	<b>D</b>	multifalda discontinui
	5.3 Ma	"PIACENZIANO"	<b>M/P</b>	<b>P1</b>	<b>E</b>	multifalda continui
MIOCENE	Messiniiano superiore	CASSANO SPINOLA CAOTTICO VALLE VERSA		<b>M2</b>	<b>F</b>	multifalda continui
				<b>M1</b>	<b>G</b>	multifalda continui

Figura 2 – Schema riassuntivo dei Sintemi e dei Gruppi Acquiferi riconosciuti all’interno delle sequenze sedimentarie analizzate.  
Figure 2 – Table of Sintems and Aquifer Groups recognised inside the analysed sedimentary sequences.

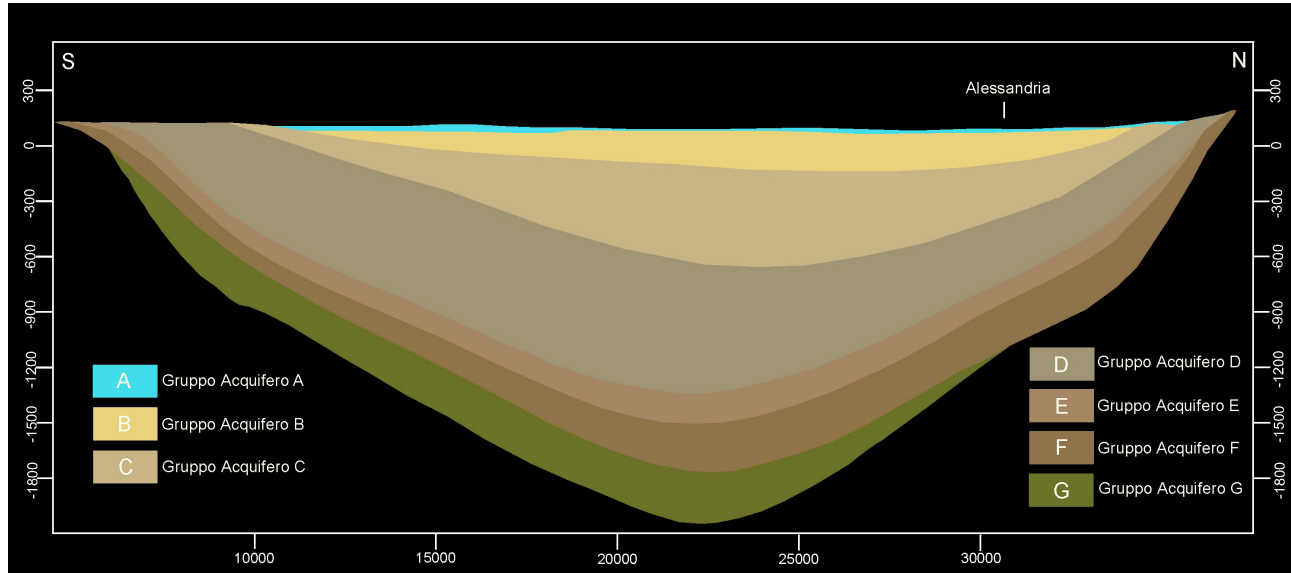


Figura 3 – Sezione verticale ad andamento N-S rappresentativa della distribuzione dei Gruppi Acquiferi nel Bacino di Alessandria.  
 Figure 3 – Vertical N-S cross-section representing Alessandria Basin's Aquifer Groups.

Al top della successione è individuabile un acquifero superficiale monostrato in facies per lo più ghiaioso-sabbiosa, caratterizzato da una falda a superficie libera (Gruppo Acquifero A).

### Interfaccia acqua dolce – acqua salmastra/salata

I grandi bacini sedimentari risultano caratterizzati, alla base delle loro successioni stratigrafiche, dalla presenza di acque ad elevata salinità di diversa origine, tra cui quella marina e quella continentale con arricchimento in sali durante il percorso. La Pianura Padana stessa presenta acque di fondo salate (Bellardone *et al.*, 1987) a profondità variabili tra i 700 ed i 6000 m (Coggiola *et al.*, 1986) che si possono riscontrare anche nei suoi settori più occidentali.

Studi precedenti sulla distribuzione delle acque salate nel sottosuolo piemontese (Bortolami *et al.*, 1982; Abatucci *et al.*, 2005) hanno realizzato una prima ricostruzione dell'andamento della superficie di delimitazione tra queste e le acque dolci sovrastanti attraverso l'analisi di dati puntuali forniti da perforazioni a scopo petrolifero risalenti agli anni '70-'90 (AGIP, 1972; AGIP, 1994). In questo lavoro oltre ad utilizzare gli stessi dati puntuali dei precedenti lavori è stata realizzata un'analisi della distribuzione di acque salate mediante l'utilizzo di nuove informazioni derivanti dalla ricostruzione stratigrafica. In particolar modo è stato ricostruito l'andamento della superficie di separazione tra acque dolci e le sottostanti acque a tenore salino superiore a 1 g/l (secondo l'approccio AGIP, 1972); queste ultime rappresentano sia le acque salate sia quelle salmastre che normalmente rappresentano una fascia di transizione tra acqua dolce e acqua salata s.s.

L'individuazione della superficie suddetta, denomi-

nata interfaccia acqua dolce-acqua salmastra/salata, è avvenuta mediante la sua estrapolazione laterale a partire dai dati puntuali dei pozzi AGIP lungo le sezioni stratigrafiche, realizzate secondo criteri geometrici e litologici relativi a casistiche tipiche di distribuzione dell'interfaccia in Piemonte (Figura 4).

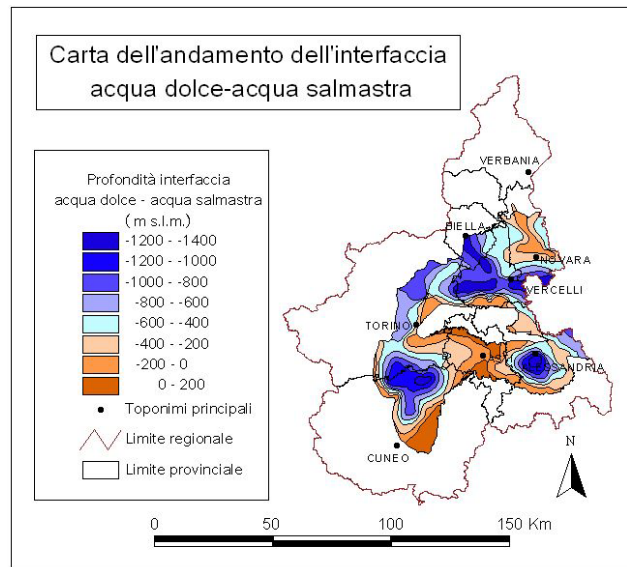


Figura 4 – Distribuzione spaziale dell'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra/salata all'interno dei tre bacini sedimentari presenti nella pianura piemontese.

Figure 4 – Spatial distribution of the fresh-brackish/salt water interface inside the sedimentary basins of the Piemonte plain.

Nella pianura piemontese l'interfaccia acqua dolce – acqua salmastra/salata si colloca prevalentemente all'interno di depositi fini di ambiente marino profondo,



come osservato anche in tutto il resto della Pianura Padana (Coggiola *et al.*, 1986) e la sua geometria, dipendendo da fattori litologici e strutturali, risulta trasversale rispetto alle superfici di separazione tra i Gruppi Acquiferi (Clemente *et al.*, 2007a). L'attuale geometria dell'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra/salata rappresenta il risultato di una serie di processi intervenuti al momento della deposizione dei sintemi, quali la migrazione regressiva della linea di costa, il "flussaggio" ai margini dei bacini (in risposta al sollevamento e alla deformazione dei Gruppi Acquiferi) e la deformazione tettonica eterogenea.

Nel Bacino di Savigliano l'interfaccia acqua dolce – acqua salmastra/salata (Figura 4) presenta una profondità dal piano campagna variabile tra un massimo di 1400 m in aree depocentrali e un minimo di 70 m nei settori marginali; nel Bacino di Alessandria essa si rinviene a profondità variabili tra i 100 e i 1200 m e nel Bacino Padano raggiunge profondità massime di 1400 m nelle porzioni centrali, mentre a sud appare molto superficiale (circa 50 m).

### Utilizzi degli acquiferi profondi

La conoscenza della distribuzione degli acquiferi profondi e dell'andamento dell'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra riveste una notevole importanza; la corretta comprensione dei volumi utili e delle loro caratteristiche, infatti può consentire un'utilizzazione ragionata dell'acqua in essi contenuta. Appare chiaro dalla ricostruzione eseguita che gli acquiferi profondi potrebbero rivestire un ruolo chiave come futura risorsa idrica, date le contaminazioni di vario tipo provenienti dalla superficie che hanno interessato e interessano l'acquifero più superficiale e, talora, anche quelli profondi finora captati.

I cambiamenti climatici che impongono la necessità di individuare tecnologie in grado di ridurre le emissioni di gas inquinanti in atmosfera e la inutilizzabilità di sedimenti permeabili al di sotto dell'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra/salata hanno consentito in questo lavoro di effettuare una verifica preliminare del confinamento profondo di CO<sub>2</sub> antropica in Piemonte. Questa tecnologia prevede la cattura della CO<sub>2</sub> e la sua immissione a profondità superiori agli 800 m sotto forma liquida (a 80 bar di pressione) (CO2STORE, 2006). In condizioni supercritiche questo fluido si comporta come un reagente acido che interagisce con la roccia, con i fluidi del sottosuolo e con le caratteristiche tecniche della roccia ospitante, come la resistenza al taglio, la viscosità e la permeabilità (Quattrocchi, 2006). Il confinamento può avvenire in campi petroliferi in via di esaurimento, in campi a gas naturale, in letti a carbone non sfruttabili minerariamente e, appunto, in acquiferi permeati da acque salate (Figura 5) in cui l'iniezione di CO<sub>2</sub> avviene preferenzialmente in rocce sedimentarie silicoclastiche (prevalentemente arenarie) (IEA, 2003; IPCC, 2005).

Questa pratica, in opera già da anni al fine di incrementare la produzione di idrocarburi o per ricaricare formazioni deplesse (Wilson *et al.*, 2003; Stevens *et al.*, 2001; Moberg *et al.*, 2003; Moritis, 2003; Riddiford *et al.*, 2003; Torp and Gale, 2003), ha visto negli ultimi anni una notevole crescita di interesse non solo in ambito della letteratura scientifica, ma anche in ambito di politica energetica e ambientale soprattutto per il suo straordinario potenziale di abbattimento delle emissioni di gas serra.

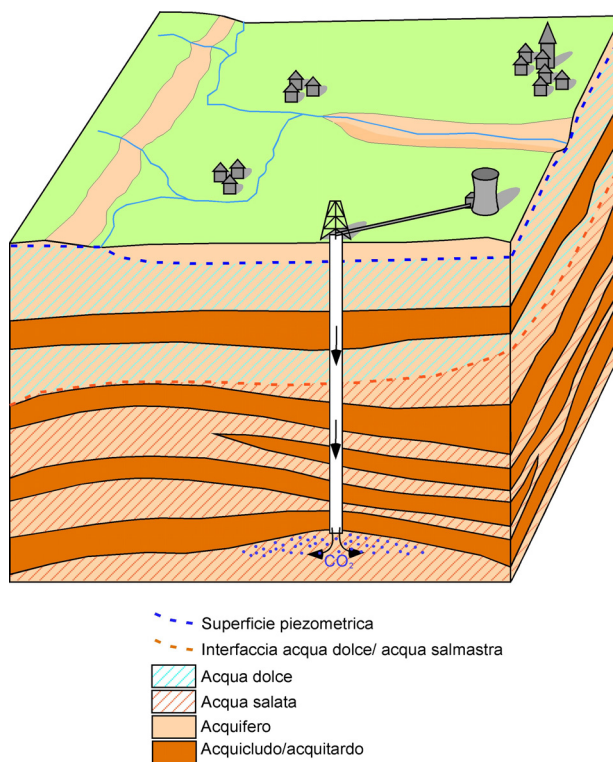


Figura 5 - Schema esemplificativo del confinamento geologico della CO<sub>2</sub> in acquiferi profondi permeati da acque salate.  
 Figure 5 – Illustrative scheme of the CO<sub>2</sub> geological storage in deep aquifers permeated by salt waters.

Le caratteristiche geologiche delle successioni sedimentarie della Pianura Padana sono tali da permettere lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> al di sotto di rocce sedimentarie silicoclastiche permeate da acque salate o salmastre; il Piemonte, in quanto terminazione occidentale della Pianura Padana, presenta dunque caratteristiche ideali per questo tipo di applicazioni. A tal proposito sono stati individuati settori potenzialmente idonei dove potranno essere eseguite più approfondite analisi di fattibilità (Clemente *et al.*, 2007b); questi settori corrispondono alle porzioni profonde e depocentrali dei tre bacini (Figura 6) costituenti la pianura piemontese al di sotto dell'interfaccia acqua dolce – acqua salmastra/salata. In tali contesti geologici le condizioni di temperatura, pressione, densità, litologia e la ridotta presenza di strutture tettoniche permetterebbero uno stoccaggio di liquidi sicuro da possibili risalite e fuoriuscite.

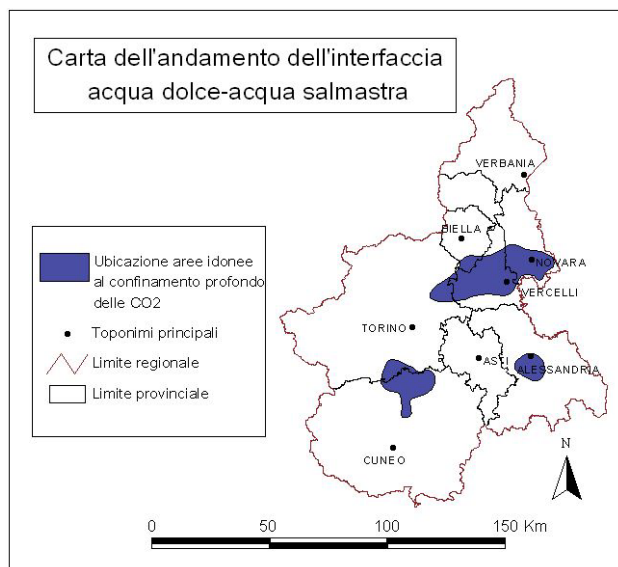


Figura 6 – Ubicazione geografica dei settori di pianura piemontese con peculiarità stratigrafiche e litologiche idonee al confinamento geologico della CO<sub>2</sub>.

Figure 6 – Geological setting of the Piemonte plain zones with suitable stratigraphical and lithological characteristics for the CO<sub>2</sub> geological storage.

In particolare i settori depocentrali dell'Avanfossa Padana e del Bacino Alessandrino (nei livelli miocenici superiori e pliocenici inferiori, Gruppi Acquiferi F, G e H) possiedono peculiarità stratigrafiche e litologiche ideali per il confinamento profondo; sono infatti costituiti da potenti e continui livelli pelitici, a scarsissima

permeabilità, alternati a livelli permeabili, permeati da acque salate, riscontrabili a profondità superiori ai 1000 m.

## Conclusioni

L'applicazione di un approccio stratigrafico moderno alle successioni messiniano-quadernarie sepolte al di sotto della Pianura Piemontese occidentale ha consentito di migliorare il quadro idrostratigrafico degli acquiferi profondi in esse contenenti. I principali risultati di questo studio sono:

- l'individuazione, nelle successioni sedimentarie profonde, della distribuzione delle principali formazioni acquifere e di quelle a bassa permeabilità (aquifers);
- il riconoscimento della posizione e della geometria a scala regionale della superficie di separazione tra acque dolci e acque salmastre/salate profonde.

Questi risultati hanno importanti implicazioni di carattere sociale poiché, da un lato, hanno permesso di individuare nuove riserve d'acqua non inquinata e, dall'altro, hanno consentito di valutare preliminarmente siti potenzialmente idonei allo stoccaggio di parte della CO<sub>2</sub> prodotta da attività industriali in Piemonte.

E' prevista la prosecuzione di tale ricerca al fine di realizzare approfondimenti mirati sulla reale idoneità dei siti finora individuati e sull'applicabilità di tale processo anche in aree non considerate al momento potenzialmente idonee ma caratterizzate dalla presenza di intense attività industriali in grado emettere enormi quantitativi di CO<sub>2</sub>.

## Bibliografia

Abatucci G., Clemente P., De Luca D.A., Lasagna M., Masciocco L. (2005). Deep groundwater resources individuation in Piemonte plain (Northern Italy). Proceedings of the 6th International Conference "Sharing a common vision of our water resources", Menton, France, 7-10 September 2005, Paper EWRA066b, 25 pp.

Agip (1972). Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'Agip durante la ricerca di idrocarburi in Italia, 914 pp.

Agip (1994). Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'Agip durante la ricerca di idrocarburi in Italia, 515 pp.

Bellardone G.F., Bonfant F., Coggiola F., De Luca D.A., Di Gioia M., Governa M.E., Masciocco L., Olivero G.F., Pasqualotto M., Ricci P., Surace F., Zauli M., Zuppi G.M. (1987). Isotope hydrology in Po Valley. Studi idrogeologici sulla Pianura Padana, 4, 1-21

Bortolami G., Di Molfetta A., Verga G. (1982). Il contributo della geotermia al risparmio energetico in Piemonte: il progetto Geotorino. In: "Sistemi urbani", rivista quadrimestrale di scienze della città e del territorio, anno IV, 1-2, pp. 162-181.

Chang K.H. (1975). Unconformity bounded stratigraphic units. GSA Bulletin, 86, 1544-1552.

Clemente P., Ossella L., Trenkwalder S., Irace A., Natalicchio M., De Luca D. A., Polino R., Violanti D. (2007a). Analisi dell'idrostratigrafia profonda delle successioni plio-oloceniche dei bacini piemontesi e dei relativi possibili utilizzi. Giorn. Geol. Appl., 6, Suppl. A, 31-32.

Clemente P., Ossella L., Trenkwalder S., Andrea I., Natalicchio M., De Luca D.A., Polino R. & Violanti D. (2007b). Studies on geothermal applications and storage of CO<sub>2</sub> and acidic waste in deep waters of Piemonte basins. Geitalia, 12-14 settembre 2007, Rimini, Epitome, 2, 02.0631, 183.

Coggiola F., Di Gioia M., Governa M.E., Masciocco L., Ricchiuto G.F., Zuppi G.M. (1986) - Isotopic composition of thermal waters in Po Basin, northern Italy. 4th Working Meeting Isotopes in Nature, Leipzig, September 1986, 209-222.

Irace A., Trenkwalder S., Natalicchio M., Clemente P., Ossella L., Mosca P., Polino R., De Luca D.A., Violanti D., Governa M.,

Petricig M., Piana F. (2007). The deep fresh-water aquifers in Pliocene-Holocene successions of the western Po Plain: integrated stratigraphic analysis as a tool for the resources management. Geitalia, 12-14 settembre 2007, Rimini, Epitome, 2, 02.0294, 86.

Moberg R., Stewart D.B., Stachniak D. (2003). The IEA Weyburn CO<sub>2</sub> Monitoring and Storage Project. Proceedings of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), J. Gale and Y. Kaya (eds.), 1-4 October 2002, Kyoto, Japan, 219-224.

Moritis G. (2003). CO<sub>2</sub> sequestration adds new dimension to oil, gas production. Oil and Gas Journal, 101(9), 71-83.

Mosca P. (2006). Neogene basin evolution in the Western Po Plain (NW Italy). Insights from seismic interpretation, subsidence analysis and low temperature (U-Th)/He thermochronology. Ph.D. Thesis. Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands, 190 pp.

Pieri M., Groppi P. (1981). Subsurface Geological Structure of the Po Plain, Italy. Quad. CNR. 414, Progetto finalizzato Geodinamica, Roma, 13 pp.

Quattrocchi F. (2006) L'anidride nel sottosuolo - *Qualenergia* Anno IV, 1 (gennaio-febbraio), 23-25.

Stevens S. H., Kuuskra V.A., Gale J.J. (2001). Sequestration of CO<sub>2</sub> in depleted oil and gas fields: global capacity, costs and barriers. Proceedings of the 5th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies

(GHGT-5), D.J. Williams, R.A. Durie, P. McMullan, C.A.J. Paulson and A.Y. Smith (eds.), 13-16 August 2000, Cairns, Australia, CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria, Australia, 278-283.

Torp T.A., Gale J. (2003). Demonstrating storage of CO<sub>2</sub> in geological reservoirs: the Sleipner and SACS projects. Proceedings of the

6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), J. Gale and Y. Kaya (eds.), 1-4 October 2002, Kyoto, Japan, Pergamon, Amsterdam, v. I, 311-316.

Wilson E.J., Johnson T.L., Keith D.W. (2003). Regulating the ultimate sink: Managing the risks of geologic CO<sub>2</sub> storage. *Environmental Science & Technology*, 37 (16), 3476-3483.

#### **Da internet**

IEA Greenhouse Gas R&D Programme. Saline Aquifer CO<sub>2</sub> Storage project, 2003: Saline Aquifer CO<sub>2</sub> Storage project (SACS) - Best Practice Manual, Report PH4/21, 53pp. [online available at: [http://www.co2store.org/TEK/FOT/SVG03178.nsf/Attachments/SACSBestPractiseManual.pdf/\\$FILE/SACS S BestPractiseManual.pdf](http://www.co2store.org/TEK/FOT/SVG03178.nsf/Attachments/SACSBestPractiseManual.pdf/$FILE/SACS%20BestPractiseManual.pdf)]

BEST PRACTICE FOR THE STORAGE OF CO<sub>2</sub> IN SALINE AQUIFERS, Observations and guidelines from the SACS and CO<sub>2</sub>STORE projects (2006), 289 pp. [online available at [http://www.ngu.no/FileArchive/91/CO2STORE\\_BPM\\_final\\_small.pdf](http://www.ngu.no/FileArchive/91/CO2STORE_BPM_final_small.pdf)]

IPCC. 2005. Carbon Dioxide capture and Storage. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. ISBN-13 978-0-521-86643-9, 431 pp. [online available at: [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_wholereport.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf)]