

1. - CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

1.1. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

L'area in cui ricadono i CISS in studio, (32CT030 Acquifero costiero tra Fiume Fine e Fiume Cecina; 32CT010 Acquifero costiero tra Fiume Cecina e S. Vincenzo; 32CT050 Acquifero del Cecina) si estende, in Val di Cecina, dal meridiano ad est dell'asse Volterra-Pomarance, in provincia di Pisa, al tratto di costa compreso tra Rosignano Solvay e S. Vincenzo, in provincia di Livorno (fig. 1).

Tale area, così come tutta la Toscana sud-occidentale, è caratterizzata da un substrato pre-neogenico (Unità Liguri, Unità subliguri, Unità Toscane) sormontato in discordanza da una copertura clastico-terrigena organizzata in più cicli

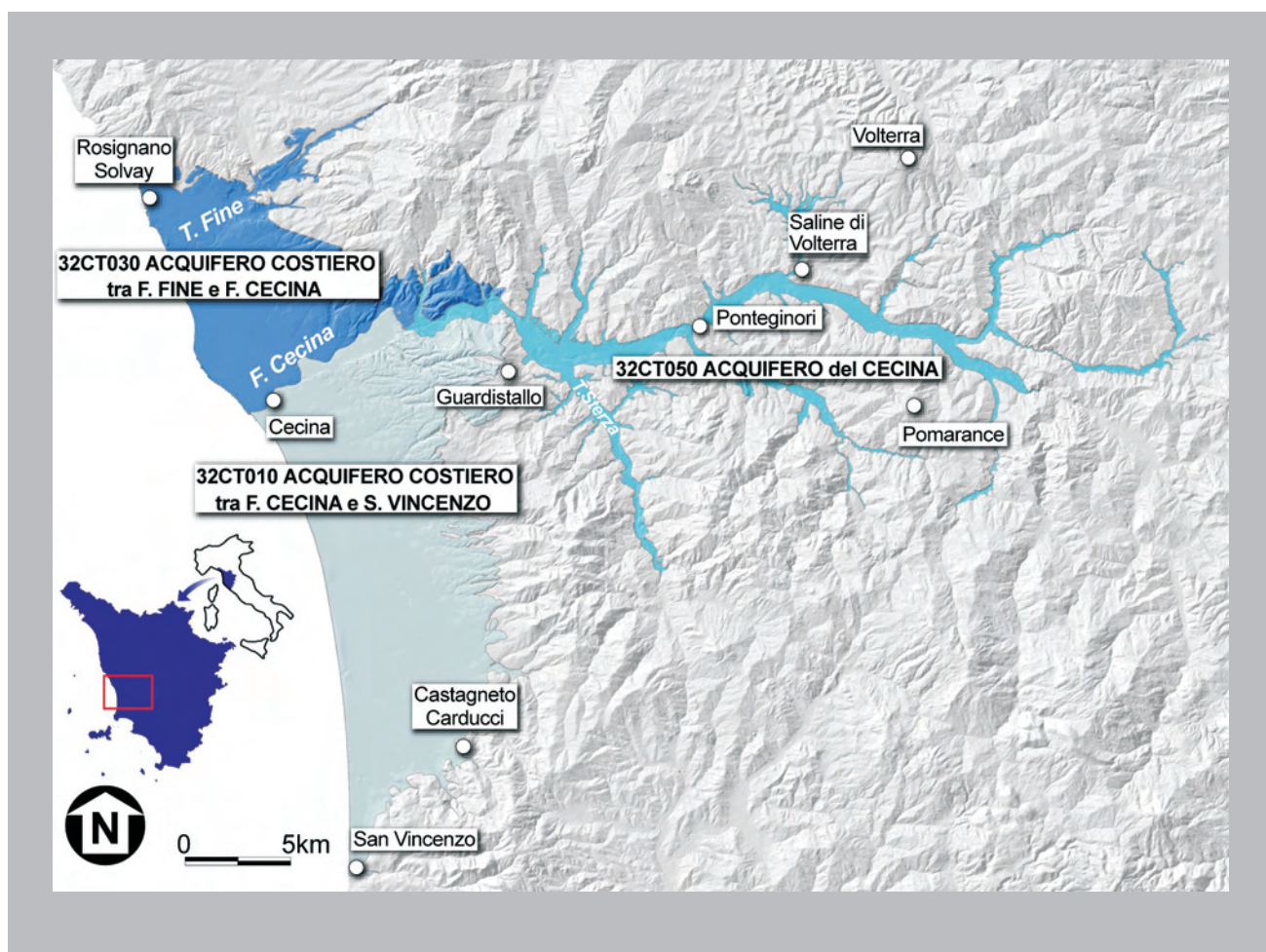


Fig. 1 – I Corpi Idrici Significativi Sotterranei (CISS) in mezzi porosi della Val di Cecina: Acquifero costiero tra F. Fine e F. Cecina (32CT030), Acquifero costiero tra F. Cecina e S. Vincenzo (32CT010) e Acquifero del Cecina (32CT050).
 – Significant Subterranean Water Bodies (SSWB) in the Cecina Valley alluvial deposits: Coastal aquifer between Fine and Cecina rivers (32CT030), Coastal aquifer between Cecina river and S. Vincenzo (32CT010) and Cecina river aquifer (32CT050).

sedimentari (Tortoniano sup.- Pleistocene). Le alluvioni recenti del Fiume Cecina e del Fiume Fine e le sabbie di spiaggia e di duna della fascia costiera completano la successione sedimentaria nell'Olocene (fig. 2).

Il substrato pre-neogenico corrisponde allo stacking strutturale polifasico, comune a tutta la Toscana, derivante dal sovrascorrimento regionale dell'insieme Liguridi-Unità Subliguri sulle Unità toscane, non metamorfiche o anchimetamorfiche (Falda toscana auctt.), modificato dalle fasi deformative, *post nappe* del Miocene medio-superiore e del Plio-Pleistocene.

La successione della Falda Toscana si sviluppa per circa 200 MY tra il Trias superiore (Calcari a *Rhaeticula contorta*) e l'Oligocene superiore (Maccigno) ed è caratterizzata, al di sopra dei calcari di piattaforma del Lias inferiore (Calcere massiccio), da una successione bacinale non molto spessa, prima carbonatica (Rosso Ammonitico, Calcere selcifero) e successivamente, tra il Dogger e l'Eocene, marnoso-argillosa (Marne a *Posidonia*, Scaglia) e silicea (Diaspri), che affiora con buone esposizioni nei Monti di Campiglia e Sassetta (GIANNINI, 1955; BERTINI *et alii*, 1991), lungo la costa, in provincia di Livorno e nell'alta Val di Cecina (Cornate

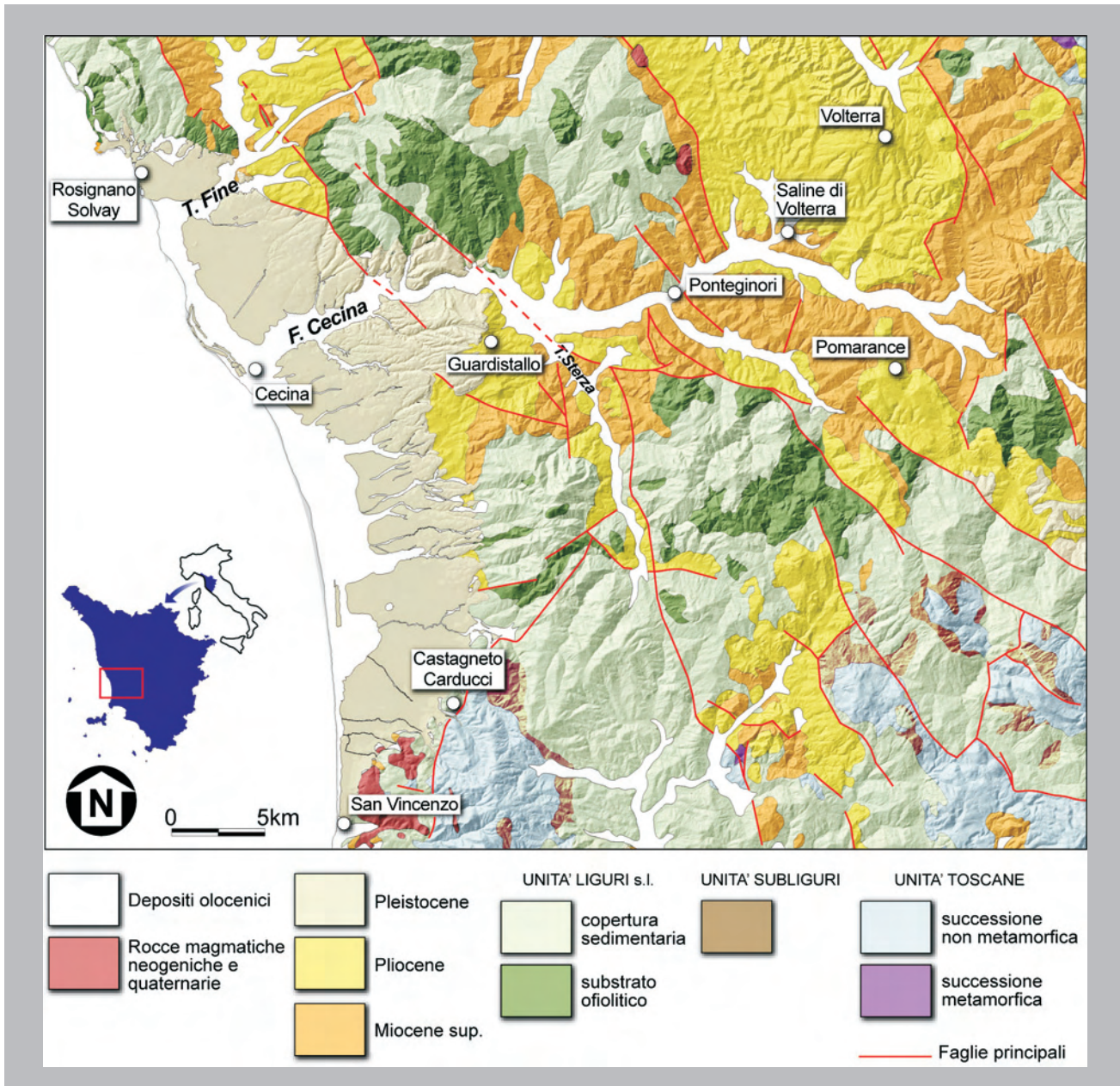


Fig. 2 – Schema geologico semplificato dell'area oggetto di studio (da: Carta Geologica della Toscana, 1:250.000, con modifiche).
 – Geological sketch map of the study area (from: Geological map of Tuscany, 1:250,000, modified).

di Gerfalco, Castelnuovo Val di Cecina, Sasso Pisano) (LAZZAROTTO & MAZZANTI, 1978). La successione stratigrafica della Falda Toscana si chiude con la Formazione del Macigno (Chattiano-Aquitano inf.) costituita da torbiditi silico-clastiche di provenienza alpina che, in tutto il settore occidentale ligure-tirrenico, rappresentano il deposito di riempimento della avanfossa al fronte della catena in migrazione spazio-temporale verso l'avampese (RICCI LUCCHI, 1986).

In base ai recenti rilevamenti eseguiti per la realizzazione della Carta Geologica in scala 1:10.000 della Regione Toscana (S.G.R.T., 2004; 2006; 2007), utilizzati sistematicamente per la definizione della geometria dei CISS in roccia, parte delle arenarie in precedenza attribuite al Macigno sono state dagli autori attribuite al Dominio Subligure (Arenarie di Suvereto) per le relazioni geometriche con le unità argilloso-calcaree pre-oligoceniche (Fm. delle Argille e calcari) tipiche del Dominio Subligure stesso.

Le Unità Liguri alla sommità dell'edificio strutturale a falde di ricoprimento sono costituite dalla copertura sedimentaria a dominante argillosa (Giurassico sup.-Paleocene sup.) delle ofioliti di crosta oceanica e del mantello (basalti, gabbri, serpentiniti). La formazione più diffusa è rappresentata dalle Argille a palombini del Cretaceo inferiore. La media Val di Cecina è inoltre l'area tipo della Fm. di Lanciaia, un'unità torbiditica con livelli di breccie ofiolitiche, di età paleocenica, che incrosta in discordanza le serpentiniti e i termini dell'antica copertura sedimentaria (Diaspri, Calcari a Calpionelle e Argille a palombini) (SIGNORINI *et alii*, 1963; LAZZAROTTO & MAZZANTI, 1978; CERRINA FERONI *et alii*, 1973). Il detritismo ofiolitico caratterizza anche il Flysch ad Elmintoidi di Sassa (Flysch di Montaione) del Cretaceo superiore, nettamente separato geometricamente nell'ambito dell'edificio strutturale mesoalpino dal Flysch ad Elmintoidi 'inferiore' (Flysch di Monteverdi-Larderello), anch'esso del Cretaceo superiore ma del tutto privo di detritismo ofiolitico.

Una complessa deformazione polifasica, con sviluppo di estesi fianchi inversi a basso angolo nella Fase ligure dell'Eocene medio, caratterizza l'insieme delle Liguridi con evidente raccorciamento differenziale rispetto alla successione della Falda Toscana non coinvolta nelle fasi contrazionali pre-mioceniche.

Le unità litostratigrafiche della copertura sedimentaria che sormonta il substrato preneogenico appartengono alla successione continentale e marino-lagunare di età compresa tra il Tortoniano (Fm. di Ponsano) e il Pleistocene (Neoautoctono *auctt.*).

Si tratta di un sistema di più cicli sedimentari

sovrapposti, limitati alla base da superfici di trasgressione (sui margini dei Bacini) o caratterizzati da segnali sedimentologici indicativi di inversione batimetrica (nelle zone depocentrali). Discordanze angolari documentano eventi deformativi in corrispondenza delle lacune sedimentarie tra cui si segnala, per importanza e diffusione in Toscana, la lacuna generalizzata in corrispondenza del Pliocene superiore (BOSSIO *et alii*, 1993) cui fa seguito la trasgressione del Pleistocene inferiore (Fm. delle Sabbie ad *Arctica islandica*) confinata alla bassa Val di Cecina. Particolare complessità caratterizza il sistema deposizionale del Pleistocene medio e superiore, espresso da un insieme molto articolato di terrazzi degradanti verso la costa e derivanti dal ripetuto processo di interazione terra-mare in una fascia di qualche km di ampiezza (MAZZANTI, 1984).

In relazione al carattere di questa monografia, nello schema geologico di figura 2 non sono stati distinti i diversi cicli sedimentari ma soltanto le unità cronologiche maggiori (Miocene superiore, Pliocene, Pleistocene, Olocene). In tutti gli intervalli cronologici sono presenti sia unità geologiche permeabili (conglomerati della Fm. Fluvio-lacustre del Tortoniano sup.; sabbie del Pliocene medio e del Pleistocene; ghiaie e sabbie oloceniche) sia unità argillose impermeabili (marne della Fm. di Ponsano del Tortoniano, marne e argilliti con gessi del Messiniano, Fm. delle Argille azzurre del Pliocene inf. e medio, argille del Pleistocene inf. della Fm. delle Sabbie ad *Arctica islandica*). In linea di massima, nell'ambito della copertura sedimentaria *post nappe* (*Neautoctono auctt.*) la permeabilità è crescente nel tempo dal Tortoniano al Pleistocene-Olocene e raggiunge i suoi minimi nel Pliocene inferiore per la diffusione e continuità della Fm. delle Argille azzurre. La permeabilità massima corrisponde naturalmente ai depositi di spiaggia e duna (sabbie) e alle ghiaie del nastro alluvionale, mobile, dei principali corsi d'acqua.

La tettonica appenninica dell'area della Val di Cecina può essere schematizzata in tre fasi maggiori, attive tra il Miocene inferiore e il Pleistocene.

Fase aquitaniana

In tutto il settore occidentale (settore ligure-tirrenico) dell'Appennino settentrionale, e quindi anche nella Toscana meridionale, nell'Aquitano, con la messa in posto delle Liguridi (già saldate tra loro dalla Fase ligure dell'Eocene inf.-medio) sulle unità del Dominio Toscano (Falda Toscana e unità metamorfiche dell'Autoctono apuano) si struttura l'edificio a falde di ricoprimento (stacking appenninico occidentale).

Fase estensionale del Miocene medio

Tra il Burdigaliano e il Serravalliano-Tortoniano

inf. (pre 'ciclo' continentale fluvio-lacustre del Tortoniano sup.) l'edificio a falde è interessato in tutta la Toscana sud occidentale da una fase di destrutturazione che, attraverso un processo estensionale con sviluppo di superfici tettoniche sottrattive a basso angolo, genera la struttura regionale nota come 'Serie ridotta' in cui, per sottrazione, si registra la diretta sovrapposizione delle Liguridi sul basamento metamorfico preevaporitico o sulle evaporiti, e più spesso sul Calcarea cavernoso, del Trias sup. del Dominio Toscano interno (Falda Toscana). Nuclei a serie toscana completa a struttura lenticolare (Campiglia-Sassetta, Castelnuovo V.C., Sasso Pisano) interrompono la continuità della 'Serie ridotta' a sud del F. Cecina nella parte meridionale dell'area di figura 2. In tutti i casi le Liguridi costituiscono il substrato su cui si impostano i bacini continentali prima (Fm. Fluvio-lacustre del Tortoniano sup.) e marino-lagunari poi (Calcarea di Rosignano e Fm. evaporitica del Messiniano inf.), successivi alla fase estensionale a basso angolo del Miocene medio e alla 'Serie ridotta'.

Fase post 'Serie ridotta' (Messiniano e Plio-Pleistocene)

È caratterizzata in Toscana, e più in generale in tutto il settore ligure-tirrenico dell'Appennino settentrionale, da sistemi di faglie ad alto angolo di direzione prevalentemente appenninica (N120 - N160) che scompongono in blocchi lo *stacking* aquitaniano più o meno profondamente destrutturato dalla fase estensionale a basso angolo medio-miocenica. Si tratta della fase tettonica più controversa e discussa in quanto due diverse concezioni strutturali e geodinamiche si contrappongono da tempo sul significato dei sistemi di faglie ad alto angolo che scompongono la Toscana in blocchi. Secondo una concezione classica (TREVISAN, 1951; GIGLIA, 1974) le faglie ad alto angolo sono faglie normali che delimitano horst e graben di direzione prevalentemente 'appenninica' e controllano l'evoluzione dei bacini sedimentari fin dal Miocene superiore. Alla fase estensionale a basso angolo farebbe così seguito una seconda fase estensionale (faglie normali ad alto angolo) nel Messiniano e nel Plio-Pleistocene (CARMIGNANI *et alii*, 1994; BERTINI *et alii*, 1991). Negli ultimi venti anni si sono però moltiplicate le segnalazioni di strutture compressive a diverse scale (pieghe, faglie inverse e faglie trascorrenti) a carico della successione tortoniano-messiniana e plio - pleistocenica (PERTUSATI *et alii*, 1978; PLESI & CERRINA FERONI, 1979; BONINI *et alii*, 1994).

L'analisi strutturale ha poi documentato il carattere spesso trascorrente della deformazione fragile alla mesoscala e l'esistenza, a livello dell'intera Toscana sud-occidentale, di tre distinti eventi com-

pressivi di cui quello più antico (Messiniano) è espresso da una direzione di compressione massima intorno a N-S. (BOCCALETTI M. *et alii*, 1992). Sono stati così proposti modelli evolutivi e strutturali che non ammettono distensione pura a partire dal Tortoniano (BOCCALETTI *et alii*, 1994; 1995).

Il significato delle faglie ad alto angolo *post* 'Serie ridotta' della Toscana sud-occidentale non è diverso da quello dei sistemi di faglie della Toscana a nord del F. Arno (Garfagnana, Lunigiana), anche questi storicamente risolti come sistemi di faglie dirette ('Graben del Serchio', 'Graben del Magra'), per i quali è stata avanzata molto di recente l'interpretazione di sistemi trascorrenti posizionati sulla proiezione in superficie di una discontinuità crostale longitudinale nel quadro di un modello di strutturazione in transpressione del sistema Alpi occidentali-Appennino settentrionale (CERRINA FERONI *et alii*, 2009).

Lo schema geologico di figura 2, ispirato al modello, introduce soluzioni innovative riguardo allo sviluppo e alla continuità delle faglie longitudinali della Val di Cecina attraverso il raccordo di singole faglie, spesso desunte dalla nuova carta geologica della Regione Toscana alla scala 1:10.000, non raccordabili se risolte come faglie dirette. Tra le faglie 'appenniniche' maggiormente relazionate agli acquiferi della bassa Val di Cecina, sono da segnalare le due faglie (faglia di Riparbella e faglia di 'Le Steccaie') che in destra della Val di Cecina (S.G.R.T., 2005) mettono in contatto le serpentiniti del substrato (Liguridi) con le sabbie del Pleistocene inferiore. È possibile che alla faglia di 'Le Steccaie' sia da ricondurre il contrasto tra la litofacies sabbiosa, con frequenti livelli di conglomerati, del Pleistocene inferiore ad est della faglia e la litofacies argillosa, attraversata in sondaggio per alcune centinaia di metri nella piana di Rosignano Solvay, ad ovest della faglia stessa.

1.2. - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE-IDROGEOLOGICHE DEI SISTEMI ACQUIFERI

1.2.1. - Metodologia di ricostruzione geometrica del multistrato

Ricostruzione litostratigrafica

La ricostruzione geometrica del multistrato degli acquiferi in mezzi porosi è stata realizzata mediante l'interpretazione e l'elaborazione delle informazioni di sottosuolo disponibili nella Banca Dati Sottosuolo Risorsa Idrica (BDSRI), integrata ed aggiornata con i dati forniti dalle Autorità di Bacino, dalle Province, dalle AATO e dai gestori della risorsa idrica.

La fase di interpretazione dei dati stratigrafici è

consistita preliminarmente nella razionalizzazione di tipo formale delle informazioni contenute in banca dati, mediante la riorganizzazione ed indicizzazione delle descrizioni litologiche presenti, che sono state ricondotte ad un numero limitato di categorie andando a popolare un apposito campo "soil" (materiale).

Tutti i dati stratigrafici a disposizione sono stati poi analizzati allo scopo di eliminare quelli ritenuti poco significativi sia per la profondità d'indagine che per la qualità ed attendibilità del dato e pervenire così alla costituzione di una banca dati filtrata e selezionata, organizzata secondo il dizionario dei dati allegato. La ricostruzione del multistrato dei CISS "Acquifero costiero tra Fiume Fine e Fiume Cecina (32CT030)" e "Acquifero costiero tra Fiume Cecina e S. Vincenzo (32CT010)" è stata effettuata sulla base di 150 stratigrafie, mentre per il CISS "Acquifero del Cecina (32CT050)" ne sono state utilizzate 43.

Successivamente si è proceduto alla correlazione dei dati litostratigrafici attraverso la costruzione e l'analisi di numerosi profili stratigrafici con l'obiettivo di ricostruire i principali livelli acquiferi dei CISS multistrato. A tale scopo, consideratene le caratteristiche granulometriche e gli spessori relativi, ciascuno strato è stato assegnato ad una unità idrogeologica, con riferimento alle quattro diverse tipologie previste:

- *substrato*: corrisponde all'effettivo substrato del sistema acquifero, individuato sulla base dell'originaria descrizione del dato stratigrafico oppure ipotizzato dall'interpretazione della geologia di superficie come riportata sulla Carta Geologica della Regione Toscana in scala 1:10.000;

- *acquifero*: corrisponde ai livelli permeabili;

- *interstrato*: corrisponde ai livelli a permeabilità bassa o nulla che si interpongono tra livelli acquiferi;

- "copertura": corrisponde ai terreni vegetali, di riparto, ai suoli e alle strutture antropiche. Di fatto questo termine, pur presentando verosimilmente permeabilità in genere piuttosto basse, non va considerato come una copertura in s.s. del tutto impermeabile.

Infine le unità idrogeologiche individuate sono state strutturate in orizzonti idrostratigrafici assegnando loro un numero d'ordine progressivo e univoco alla scala dell'intero acquifero (crescente secondo lo stesso ordine nel quale le diverse unità si sono deposte) e definendo così la geometria complessa del CISS.

I numeri identificativi dei diversi orizzonti idrostratigrafici sono riportati in banca dati ed assegnati al solo strato al tetto dell'orizzonte, in modo da consentire una rapida selezione di tutti i punti di tetto di un certo orizzonte (individuati in corri-

spondenza delle stratigrafie nelle quali è rappresentato) ed effettuarne l'interpolazione geometrica per definirne la superficie limite; coerentemente con i codici di calcolo utilizzati dai diversi *software* di modellazione idrogeologica, ciascun orizzonte corrisponde infatti al volume compreso tra la sua superficie di tetto e quella dell'orizzonte (o degli orizzonti, nel caso di discontinuità di varia natura) immediatamente sottostante.

Stima della composizione granulometrica degli orizzonti.

La composizione granulometrica degli orizzonti individuati è stata stimata assumendo che, limitatamente alle stratigrafie nelle quali un certo orizzonte è rappresentato, il contributo percentuale dello spessore delle diverse classi granulometriche rispetto allo spessore totale di quell'orizzonte sia rappresentativo della loro frazione volumetrica; in altre parole, è stato assunto che, in presenza di una sufficiente densità di informazioni puntuali di sottosuolo distribuite in maniera uniforme all'interno dei limiti dell'orizzonte considerato, i rapporti lineari tra le diverse granulometrie calcolati lungo i log stratigrafici relativamente a ciascun orizzonte fossero rappresentativi di quelli volumetrici complessivi.

La composizione così stimata riportata in tabella 1, è stata riferita alle classi di "materiali" presenti in banca dati, derivanti dalla semplificazione delle descrizioni litologiche prima descritta.

Calcolo dei volumi.

Una volta ricostruita la geometria del multistrato è stato utilizzato un *software* di modellazione idrogeologica per calcolare il volume dei singoli orizzonti individuati, necessario alla stima dei volumi idrici immagazzinati previa definizione delle condizioni piezometriche nonché delle caratteristiche granulometriche e di porosità efficace di ciascun orizzonte.

Secondo le modalità generali rappresentate in figura 3, nel software utilizzato sono stati inseriti i log delle stratigrafie considerate significative, comprensivi degli orizzonti idrogeologici di appartenenza di ciascuno strato e dunque dei parametri relativi all'estensione verticale dei diversi orizzonti; successivamente, sono stati implementati nel software tutti i profili stratigrafici precedentemente realizzati allo scopo di definire l'andamento, l'estensione, le geometrie e la consistenza degli orizzonti idrogeologici individuati.

Attraverso la loro costruzione in solido sono stati così calcolati i volumi dei diversi orizzonti, distinguendone anche le porzioni superiori e inferiori ("insature" e "sature") rispetto alle superfici piezometriche ricostruite.

Tab. 1 - *Volume, spessore e composizione granulometrica degli orizzonti permeabili individuati e ricostruiti, elencati e numerati dal basso verso l'alto in ordine progressivo da 1 a 7, secondo il loro ordine deposizionale*
 – Volume, thickness and granulometric composition of the reconstructed aquifer horizons, numbered from 1 to 7 starting from bottom and according to their depositional order.

Orizzonte acquifero 7		Volume solido: 783,589,442 m ³		Orizzonte acquifero 3		Volume solido: 104,567,225 m ³	
<i>Spessore medio (m)</i>	<i>Spessore max (m)</i>	<i>Composizione granulometrica</i>	%	<i>Spessore medio (m)</i>	<i>Spessore max (m)</i>	<i>Composizione granulometrica</i>	%
15,2	32,5	sabbia	32,24	5,0	8,5	ghiaia cementata	32,73
		sabbia cementata	23,98			ghiaia	28,45
		ghiaia	23,47			sabbia cementata	25,99
		ghiaia cementata	15,61			sabbia	7,07
		argilla	4,70			argilla	5,76
Orizzonte acquifero 6		Volume solido: 1,512,637,678 m ³		Orizzonte acquifero 2		Volume solido: 838,165,387 m ³	
<i>Spessore medio (m)</i>	<i>Spessore max (m)</i>	<i>Composizione granulometrica</i>	%	<i>Spessore medio (m)</i>	<i>Spessore max (m)</i>	<i>Composizione granulometrica</i>	%
14,8	53,0	sabbia cementata	40,18	15,4	72,0	sabbia	39,94
		sabbia	28,8			sabbia cementata	32,67
		ghiaia cementata	14,2			ghiaia	10,91
		ghiaia	11,87			ghiaia cementata	8,18
		argilla	4,95			argilla	8,3
Orizzonte acquifero 5		Volume solido: 7,642,128 m ³		Orizzonte acquifero 1		Volume solido: 586,068,434 m ³	
<i>Spessore medio (m)</i>	<i>Spessore max (m)</i>	<i>Composizione granulometrica</i>	%	<i>Spessore medio (m)</i>	<i>Spessore max (m)</i>	<i>Composizione granulometrica</i>	%
3,1	3,0	sabbia cementata	54,84	14,0	38,0	sabbia cementata	35,77
		sabbia	45,16			ghiaia	22,77
						sabbia	15,18
						argilla	14,55
						ghiaia cementata	11,74
Orizzonte acquifero 4		Volume solido: 802,052,321 m ³		1.2.2. - <i>Acquifero costiero tra Fiume Fine e Fiume Cecina (32CT030) e Acquifero costiero tra Fiume Cecina e S. Vincenzo (32CT010)</i>			
<i>Spessore medio (m)</i>	<i>Spessore max (m)</i>	<i>Composizione granulometrica</i>	%	I due CISS, istituiti formalmente dalla Regione Toscana in base alla D.G.R.T. n.225/2003, possono essere considerati dal punto di vista geologico-idrogeologico come un sistema acquifero unico, in quanto l'analisi delle stratigrafie mostra l'esistenza di livelli permeabili che ne suggeriscono la continuità fisica.			
14,4	51,0	sabbia cementata	55,28	All'interno di questo sistema acquifero sono			
		sabbia	32,07				
		ghiaia cementata	5,11				
		ghiaia	5,02				
		argilla	2,52				

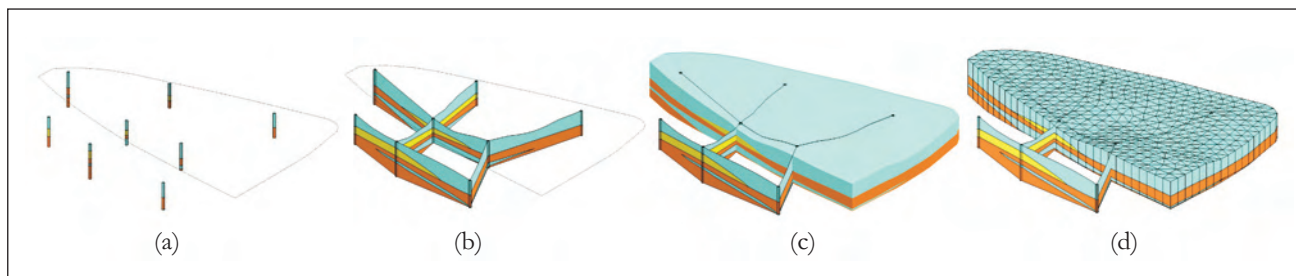


Fig. 3 – Ricostruzione in solido del multistrato di un acquifero in mezzi porosi. L'analisi e la correlazione delle stratigrafie a disposizione (a) si traducono nella realizzazione di sezioni stratigrafiche (b) che descrivono le geometrie e i rapporti dei livelli permeabili rispetto alle coperture, agli interstrati impermeabili ed al substrato. Le sezioni stratigrafiche "guidano" così la ricostruzione del solido (c, d) definendo i limiti dei diversi orizzonti individuati.

– *Solid reconstruction of a multilayer aquifer hosted in alluvial deposits. The analysis and the correlation of the available stratigraphic data allow (a) the realization of stratigraphic cross-sections and (b) the identification of the main aquifer levels, aquitards and aquicludes. These stratigraphic cross-sections lead to the 3D reconstruction of the whole groundwater body (c, d), defining the boundaries of the different levels identified.*

stati incorporati, oltre ai depositi olocenici, le formazioni del Pleistocene medio-superiore, costituite da sabbie, ghiaie e conglomerati, alternate a livelli argilloso-limosi. I depositi pleistocenici in affioramento si estendono lungo il limite orientale della pianura olocenica, costituendo le aree terrazzate a debole inclinazione che si appoggiano alle zone collinari interne costituite da depositi neogenici e substrato pre-neogenico.

Per la natura dei dati a disposizione, la superficie di base dell'acquifero non rappresenta necessariamente l'effettivo substrato dell'acquifero, ma più realisticamente la superficie che delimita inferiormente l'acquifero «esplorato» (fig. 4).

A questo riguardo, indicazioni attendibili sulla natura dell'effettivo substrato si hanno unicamente nel settore meridionale, nell'area compresa tra Marina di Castagneto e Donoratico, dove alcune stratigrafie segnalano a fondo pozzo un *bedrock* costituito da termini appartenenti alle Unità Liguri, da ritenersi, nell'insieme, a permeabilità limitata nei confronti della successione litologica soprastante. Nel settore settentrionale, a nord del Fiume Cecina, il substrato coincide con argille di difficile interpretazione geologica, ma che potrebbero corrispondere a quelle della Formazione delle Sabbie e Argille ad *Arctica islandica* del Pleistocene inferiore, in accordo con quanto segnalato in alcuni pozzi realizzati nei dintorni di Rosignano Solvay. Infine, nel settore compreso tra il Fiume Cecina e Bolgheri, il substrato dell'acquifero "esplorato" è costituito da argille che potrebbero essere costituite da termini pleistocenico inferiori della formazione delle Sabbie e Argille ad *Arctica islandica*, oppure da argille plioceniche delle formazioni di Guardistallo o delle Argille azzurre, affioranti immediatamente ad est del limite interno dell'acquifero.

Nel complesso, il sistema acquifero è da ritenersi un multistrato, in ragione di un'alternanza di livelli permeabili, costituiti essenzialmente da ghiaie e sabbie dei depositi olocenici e dai depositi

clastici grossolani della successione pleistocenica, e livelli impermeabili o di bassa permeabilità rappresentati dai depositi limoso-argillosi olocenici e dalle argille del Pleistocene Superiore, presenti in maniera discontinua.

La densità e la qualità delle informazioni puntuali disponibili non consentono una ricostruzione fedele delle reali geometrie del multistrato caratterizzato, molto probabilmente, dalla continua alternanza di livelli di sabbie e ghiaia, e da livelli o lenti a composizione limo-argillosa, le cui chiusure sono di difficile se non arbitraria localizzazione. Si è quindi preferito adottare l'approssimazione di esasperare per quanto possibile la continuità dei vari orizzonti permeabili e impermeabili, con l'obiettivo di ottenere in ogni caso, alla scala del CISS, una stima attendibile delle volumetrie complessive.

Dalla ricostruzione realizzata risultano sette orizzonti acquiferi di diversa estensione costituiti in prevalenza da sabbie e ghiaie (in diversi casi cementate). In tabella 1 per i vari orizzonti permeabili, numerati da 1 a 7 rispettando l'ordine di sovrapposizione geometrica, si riportano i volumi, gli spessori e la composizione granulometrica.

Il settore meridionale del sistema acquifero, a sud del Fiume Cecina, è quello geometricamente più complesso, presentando tutti i 7 livelli acquiferi individuati (fig. 5). Dei vari orizzonti permeabili quello che mostra le maggiori estensioni e continuità risulta essere l'acquifero 6 (a prevalente composizione sabbiosa), il quale si sviluppa pressoché su tutto il CISS, dalle zone a sud del Fiume Cecina fino a quelle a nord. Anche l'orizzonte acquifero più superficiale (acquifero 7), costituito da sabbie e ghiaie, si ritrova con continuità sia nelle zone in sinistra del Fiume Cecina sia in quelle in destra, sebbene la sua estensione risulti inferiore rispetto all'acquifero 6. Gli altri livelli acquiferi, viceversa, si sviluppano prevalentemente nel settore meridionale del CISS in esame ed in particolare gli orizzonti 3 e 5 mostrano estensione più modesta.

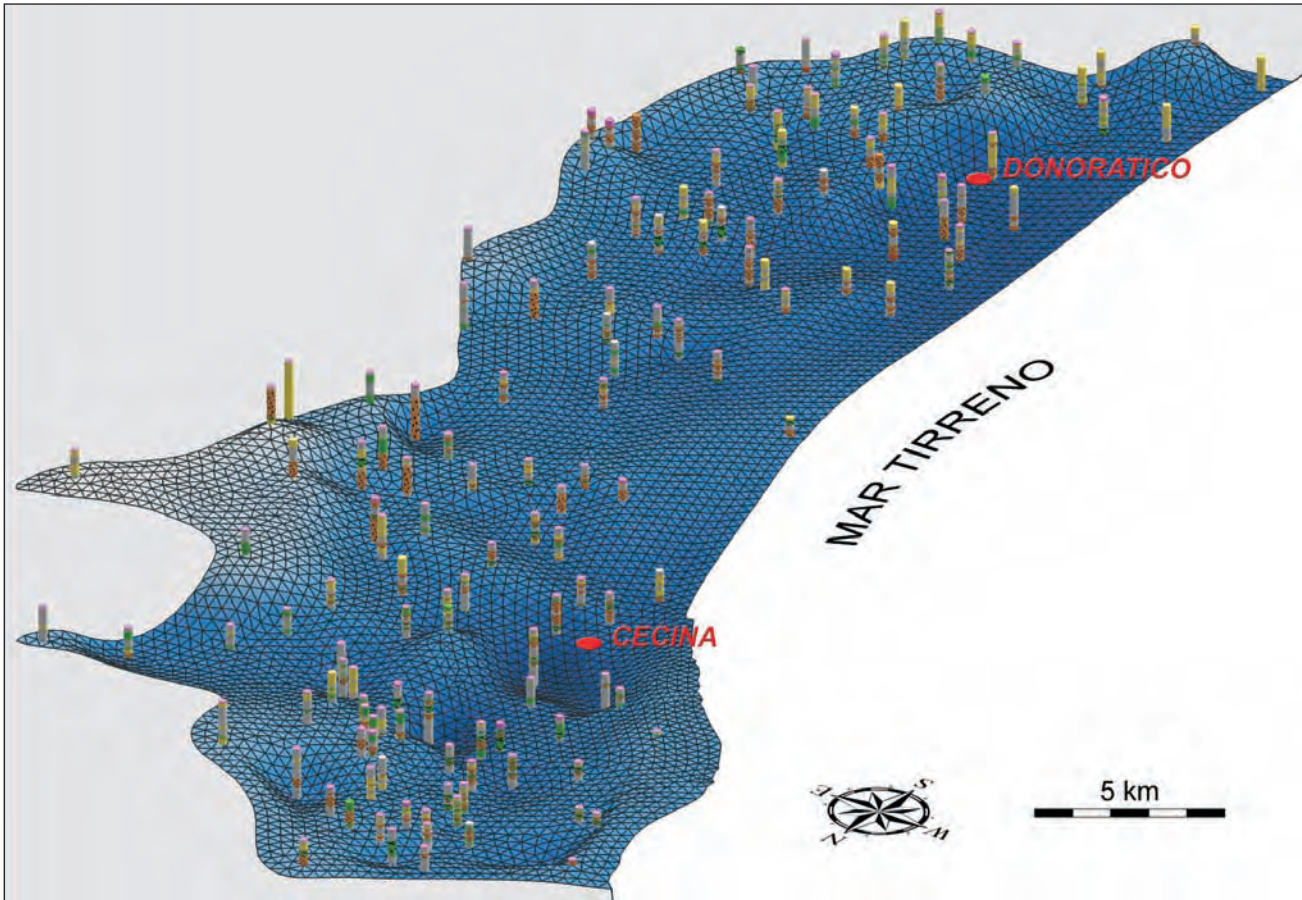


Fig. 4 – Superficie di base dell’acquifero desunta dall’interpolazione delle quote di fondo-pozzo delle stratigrafie selezionate per la ricostruzione del CISS. I log di quest’ultime sono rappresentati in figura utilizzando colori e simboli corrispondenti alle classi di materiali derivanti dalla riorganizzazione ed indicizzazione delle descrizioni litologiche originali.

– Bottom surface of the exploited aquifer, as derived by the interpolation of the boreholes depths. Logs are represented with different colours and symbols according to the different material classes; these are referred to simplified categories as determined by the rationalization of the original lithological descriptions.

Da un punto di vista degli spessori (tab. 1), con i 15 metri circa di spessore medio, gli orizzonti acquiferi 7, 6, 4, 2 e 1, risultano essere i più potenti. Sulla base dei dati riportati in studi pregressi risulta difficile attribuire un coefficiente di permeabilità ai singoli livelli acquiferi, dal momento che le prove di emungimento effettuate dai vari autori hanno interessato pozzi fenestrati su più orizzonti produttivi. È quindi possibile effettuare considerazioni solo da un punto di vista della conducibilità idraulica (K) media. In particolare, GRASSI *et alii* (2000), riportano risultati di prove d’emungimento effettuate a monte dell’abitato di Cecina nella zona di pertinenza delle alluvioni attuali e recenti dell’omonimo fiume; le permeabilità scaturite da tali prove sono dell’ordine di $10^{-2} - 10^{-3}$ m/s. Nella zona tra Cecina e Vada nello studio ARPAT (2003) sono riportati valori di K dell’ordine di 10^{-4} m/s. Infine, le prove effettuate da DI LUCA & MONTAGNANI (2003) evidenziano che nel settore meridionale del CISS (zona Donoratico-Castagneto) i valori medi di K sono dell’ordine di $10^{-4} - 10^{-5}$ m/s.

1.2.3. - Acquifero del Cecina (32CT050)

All’interno dell’acquifero del Cecina sono stati accorpate unicamente i depositi del materasso alluvionale, in quanto rappresentano quelli principalmente interessati dalle opere di captazione. La natura del substrato varia risalendo il corso del Fiume Cecina. Nel settore occidentale compreso tra il limite a valle del CISS e la confluenza del Torrente Rialdo col Fiume Cecina, i depositi alluvionali poggiano sui termini permeabili sabbioso - ghiaiosi del Pleistocene. In questo settore i depositi alluvionali possono dunque esser interessati da scambi idrici con il loro substrato; in particolare, è plausibile aspettarsi che tali depositi ricevano una alimentazione per travaso sotterraneo dai termini pleistocenici visto che quest’ultimi, sviluppandosi anche sui rilievi collinari, sono verosimilmente caratterizzati da carichi piezometrici maggiori. A monte della confluenza del Torrente Rialdo col Fiume Cecina, il substrato delle alluvioni è invece costituito dai depositi pliocenici da considerarsi

nell'insieme impermeabili, anche se nel tratto compreso tra il Torrente Rialdo e il Torrente Lopia, il tetto della successione pliocenica è costituito dalla Formazione di Guardistallo del Pliocene medio, caratterizzata da alternanze di limi, argille e sabbie potenzialmente permeabili. Continuando a risalire il corso del Fiume Cecina, all'altezza del Torrente Sterza, si oltrepassa il contatto tra le Argille azzurre plioceniche e la formazione miocenica delle Argille e Gessi del Fiume Era Morta, con il substrato dell'apparato alluvionale che quindi, da qui fino al limite a monte, risulta costituito dai termini, anch'essi impermeabili, della successione miocenica.

L'acquifero del sistema alluvionale del Fiume Cecina può essere suddiviso in due settori, uno a valle e uno a monte del restringimento dell'alveo fluviale che si verifica a valle della confluenza tra il Torrente Lopia e il Fiume Cecina. I due settori si distinguono per un diverso substrato: a valle, sono i depositi permeabili pleistocenici, interconnessi idraulicamente all'apparato alluvionale a dominare, mentre a monte il substrato è rappresentato dai depositi prevalentemente impermeabili plio-mioce-

nici. I due settori si differenziano inoltre per i diversi spessori del materasso alluvionale, che verso valle raggiunge i valori massimi (35-40 m).

La ricostruzione geometrica ha evidenziato nel settore a valle la presenza di una lente di argilla che solo localmente separa la successione ghiaioso-sabbiosa in due orizzonti. I due livelli di ghiaia si perdono in corrispondenza delle alluvioni prospicienti alla località San Martino, a causa dell'interferenza con apparati di conoide complessi del Torrente Le Botra. Nel settore a monte lo spessore totale delle alluvioni si riduce notevolmente, superando raramente i 15 m. In questo tratto l'acquifero alluvionale è costituito da un unico livello di ghiaie prevalenti e sabbie, con rari orizzonti di argille di spessore generalmente inferiore al metro.

Nell'insieme il CISS del Cecina è in definitiva da ritenersi un acquifero freatico monostrato, dal momento che i livelli argillosi, per le loro caratteristiche geometriche, non ricoprono un ruolo idrogeologico significativo.

In tabella 2 si riportano il volume, gli spessori medio e massimo e la composizione granulome-

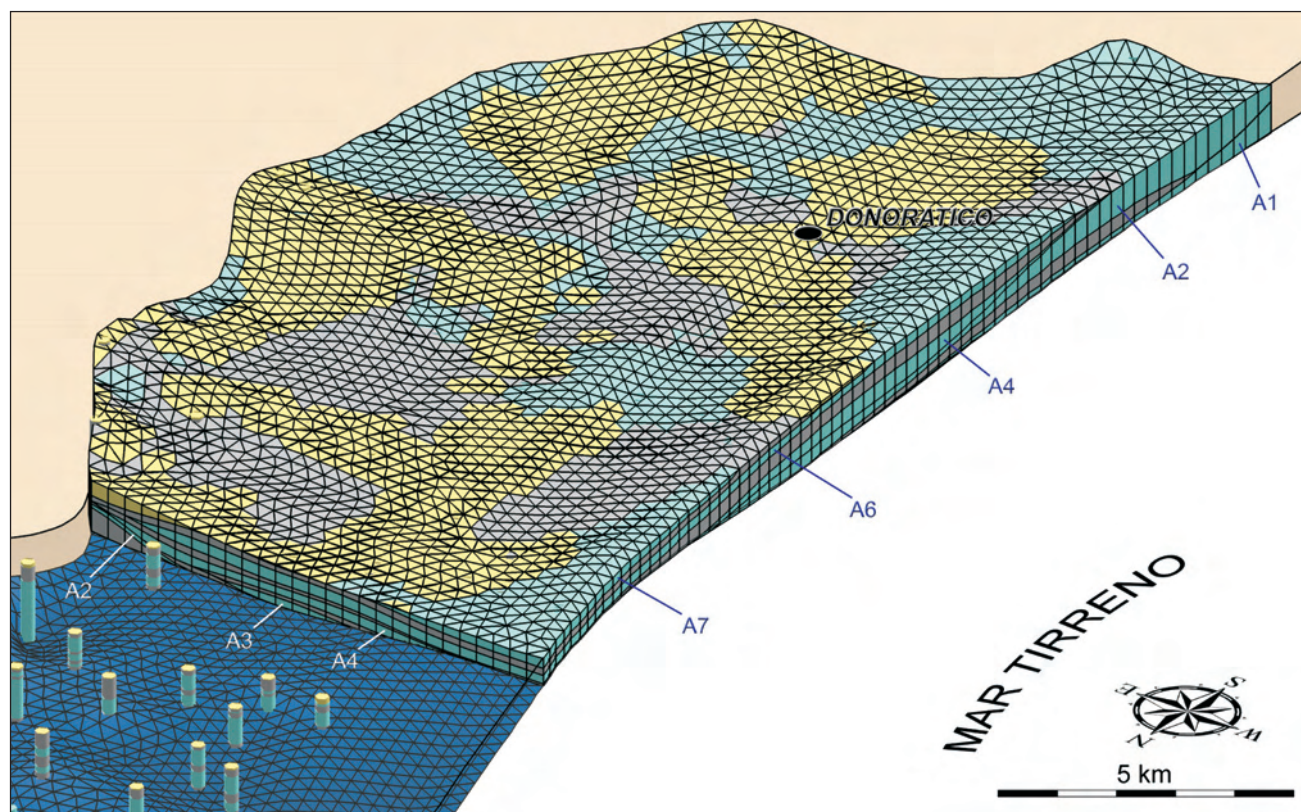


Fig. 5 – Ricostruzione in solido del multistrato dell'acquifero effettuata per il calcolo dei volumi dei diversi orizzonti. Nella porzione rappresentata in figura, corrispondente al settore meridionale dell'acquifero, risultano rappresentati tutti i principali orizzonti acquiferi individuati, qui indicati con una sigla il cui numero d'ordine è coerente con quelli riportati nel testo ed in tab. 1. Le stratigrafie sono qui rappresentate utilizzando colori corrispondenti a quelli della parte solida ricostruita, ovvero al tipo di unità idrogeologica a cui risultano assegnati i diversi materiali (celestre = acquifero; grigio = interstrato; giallo = copertura). – Block diagram of the multilayer aquifer. In the solid portion, corresponding to the southern sector, all the main aquifer layers are reported and marked by numbers according to those in text and in tab. 1. In the northern sector, the colours along boreholes are the same as in the southern solid portion to represent the hydrogeological unit to which the different lithologies belong (cyan = aquifer; grey = aquiclude; yellow = coverage).

Tab. 2 - *Volume, spessore e composizione granulometrica dell'acquifero del Cecina.*

– Volume, thickness and granulometric composition of the Cecina river aquifer.

Spessore medio (m)		Spessore max (m)		Composizione granulometrica		%	
12,3		40,0		argilla		1,74	
				argilla ghiaiosa		0,77	
				argilla limosa		0,45	
				argilla sabbiosa		1,38	
				limo		0,12	
				limo sabbioso		4,94	
				limo argilloso		0,65	
				limo ghiaioso		1,15	
				sabbia		1,48	
				sabbia argillosa		1,78	
				sabbia ghiaiosa		1,84	
				sabbia limosa		0,32	
				ghiaia		51,91	
				ghiaia argillosa		2,81	
				ghiaia sabbiosa		16,04	
				ciottoli		5,75	
				ciottoli sabbiosi		1,34	
				"terreno" (copertura limo-sabbiosa)		5,52	

trica dell'acquifero in esame.

Relativamente ai parametri idrodinamici dell'acquifero alluvionale in esame, dati derivanti da prove di emungimento eseguite su pozzi posti tra Saline e Ponteginori mettono in evidenza valori medi di conducibilità idraulica (K) e di trasmissività (T) dell'ordine rispettivamente di 10^{-3} m/s e 10^{-2} m²/s, nonché una porosità efficace (n_e) del 16% (PRANZINI, 2004b e riferimenti bibliografici).