Progetto PST/MURST "Ambiente e Territorio"
Linea "Tecnologie avanzate per la gestione delle acque"
Parte "Software per la modellistica ambientale"

Contratto tra PST (Parco Scientifico e Tecnologico della Sardegna),
Pratica IMI n. 63481 Progetto n. 97/Ric.,
e CRS4 (Centro di Ricerca, Sviluppo e Studi Superiori in Sardegna)
stipulato in data 15/09/99

Adattamento e parametrizzazione del modello numerico: sito di Portoscuso

Claudio Gallo[1] e Pierluigi Cau[2]
1: Area Idrologia e Gestione delle Risorse Idriche
2: Area GIS

CRS4, Cagliari

Indice

Elenco delle figure

1 Introduzione

Il presente rapporto fa parte degli elaborati tecnici della III fase (Attuazione) del Progetto PST/MURST Tecnologie avanzate per la gestione delle risorse idriche: software per la modellazione ambientale. Nel documento si descrivono le fasi di adattamento e parametrizzazione del programma di calcolo CODESA-3D (*Gambolati et al.* 1999, *Lecca* 2000) per l'implementazione del modello numerico tridimensionale dell'acquifero costiero del sito di Portoscuso (Sardegna sud-occidentale). Obiettivo generale di questa parte del Progetto è la simulazione, tramite il modello numerico, dei fenomeni di trasporto di inquinanti inerti, assimilabili come comportamento ai sali marini. Il sistema acquifero della piana di Portoscuso è stato oggetto di diversi studi (*Barbieri e Ghiglieri* 1994, *Manca et al.* 1999, *Cau et al.* 2001). La zona è interessata da un grosso polo industriale da zone estrattive di minerali.

Per la predisposizione dei dati di input del modello ci si è avvalsi in modo sostanziale delle tecnologie informatiche GIS, attraverso la costituzione e l'aggiornamento di un database cartografico ed alfanumerico (*Cau e Muscas* 2001, *Cau et al.* 2001) e lo sviluppo di interfacce software per l'integrazione dei diversi sistemi informatici (GIS, generatori di griglie di calcolo, modello numerico etc.), descritte nell'elaborato della III fase "Interfacciamento GIS-Modello". Questo rapporto, inoltre, fa riferimento agli elaborati "Descrizione del GIS/Database implementato" e "Analisi dei dati" (*Muscas e Cau*, 2002) della fase III e risulta a sua volta propedeutico all'elaborato "Descrizione delle prove di calibrazione e validazione" della presente fase.

2 Breve descrizione della zona.

Il 30 Novembre 1990, con una delibera della Presidenza del Consiglio dei Ministri, l'area investigata è stata dichiarata "ad elevato rischio di crisi ambientale". L'area è sede di agglomerati industriali di rilevanti dimensioni (vedi figura 1) operanti nel settore chimico-metallurgico, che negli anni hanno rilasciato ingenti quantità di inquinanti, inerti e non, altamente pericolosi. Obiettivo generale del presente lavoro è lo studio di qualità ambientale e la valutazione-previsione, tramite un modello numerico, di fenomeni d'idroveicolazione d'inquinanti e d'intrusione salina in falda. In particolare, la determinazione del campo di pressione dei due acquiferi superficiali risulta di capitale importanza per valutare fenomeni di propagazione di inquinanti. Si rimanda al rapporto sull'analisi dei dati (*Muscas and Cau* 2002) per una descrizione esaustiva della zona in studio mentre qui di seguito si dá una breve descrizione relativa all'inquadramento geografico della zona in studio.

2.1 Inquadramento geografico

Lo studio interessa l'area su cui si sviluppa il polo industriale di Portovesme, nel Sulcis-Iglesiente, Sardegna Sud-Occidentale. La morfologia del territorio (vedi figura 2) è caratterizzata da rilievi collinari, ultime propaggini dei complessi vulcanici della Sardegna Sud-Occidentale, che si estendono fino a poche centinaia di metri dalla linea di costa. I rilievi

Tabella 1: Valori di concentrazione dei metalli pesanti in alcuni pozzi di misura del sito di Portoscuso rilevati nel 1999.

N. di pozzo (-)	Hg (mg/l)	As (mg/l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Mn (mg/l)	Zn (mg/l)
9	0,40	1,50	0,70	15,40	86,30	129,66
20	2,20	6,40	7,00	158,00	58,20	13990,00
22	0,60	1,40	6,10	60,00	455,80	46380,00
23	10,20	2,50	19,10	940,90	173,40	13800
28	3,00	33,40	2,60	24,80	115,50	1214,50
33	6,00	64,20	83,96	510,50	1095,60	18230
324	1,90	1,56	0,63	6,32	95,91	187,00

più importanti sono "Concali de su Carboni" a Nord di Portoscuso, "Cuccuru sa Funtana e Figu" e "Concali Arrubiu" a Sud Est. Il corso d'acqua principale è il Rio Paringianu, che si sviluppa prevalentemente in direzione NE-SW lungo una valle a "V" parzialmente riempita da depositi sedimentari e sfocia in località "Bo Cerbus". La parte terminale dell'asta fluviale è stata rettificata e canalizzata; ciò influisce notevolmente sul moto d'alveo e di sub alveo e sul contributo di ricarica attiva in falda.

2.2 Dati di inquinamento-concentrazione di metalli.

In tabella 2.2 vengono riportati alcuni dati di concentrazione disponibili per il sito di Portoscuso. Queste misure forniscono una informazione puntuale dell'inquinamento delle singole specie, ma non sono sufficienti a costruire delle mappe dettagliate della contaminazione della zona. Queste informazioni, però, possono a loro volta essere integrate con quelle derivanti dalle isolinee di conducibilità mostrate in figura 4. La locazione dei pozzi della tabella viene riportata in figura 3, ove è anche visibile la rete viaria pricipale della zona in studio. Nella regione in studio si è stimata la presenza di migliaia di pozzi, sebbene non sia stato possibile appurare quanti di questi siano usati effetivamente per uso industriale o agricolo. Sulla base di misure prese su 55 pozzi presenti nella zona durante gli ultimi 13 anni da parte dell'Università di Cagliari, si è visto un aumento della conducibilitá elettrica nella zone situate vicino alla costa, indicando un probabile problema di ingressione di acqua marina. Nell'area dei pilastri sottostante l'insediamento dell'Eurallumina si sono verificati livelli di inquinamento superiori alla norma, sia nell'acquifero superficiale che in quello confinato. Questo indica la presenza di una comunicazione fra i due acquiferi e suggerisce che i pilastri siano la probabile via preferenziale di passaggio del contaminante dall'acquifero superficiale a quello confinato attraverso lo strato impermeabile (vedi linee di isoconducibilitá di figura 4).

2.3 Dati climatici.

In Figura 5 si mostra il regime pluviometrico della stazione di Flumentepido nel settantennio 1922–1992. La media annua ragguagliata al bacino in cui è inserita l'area in studio nel set-

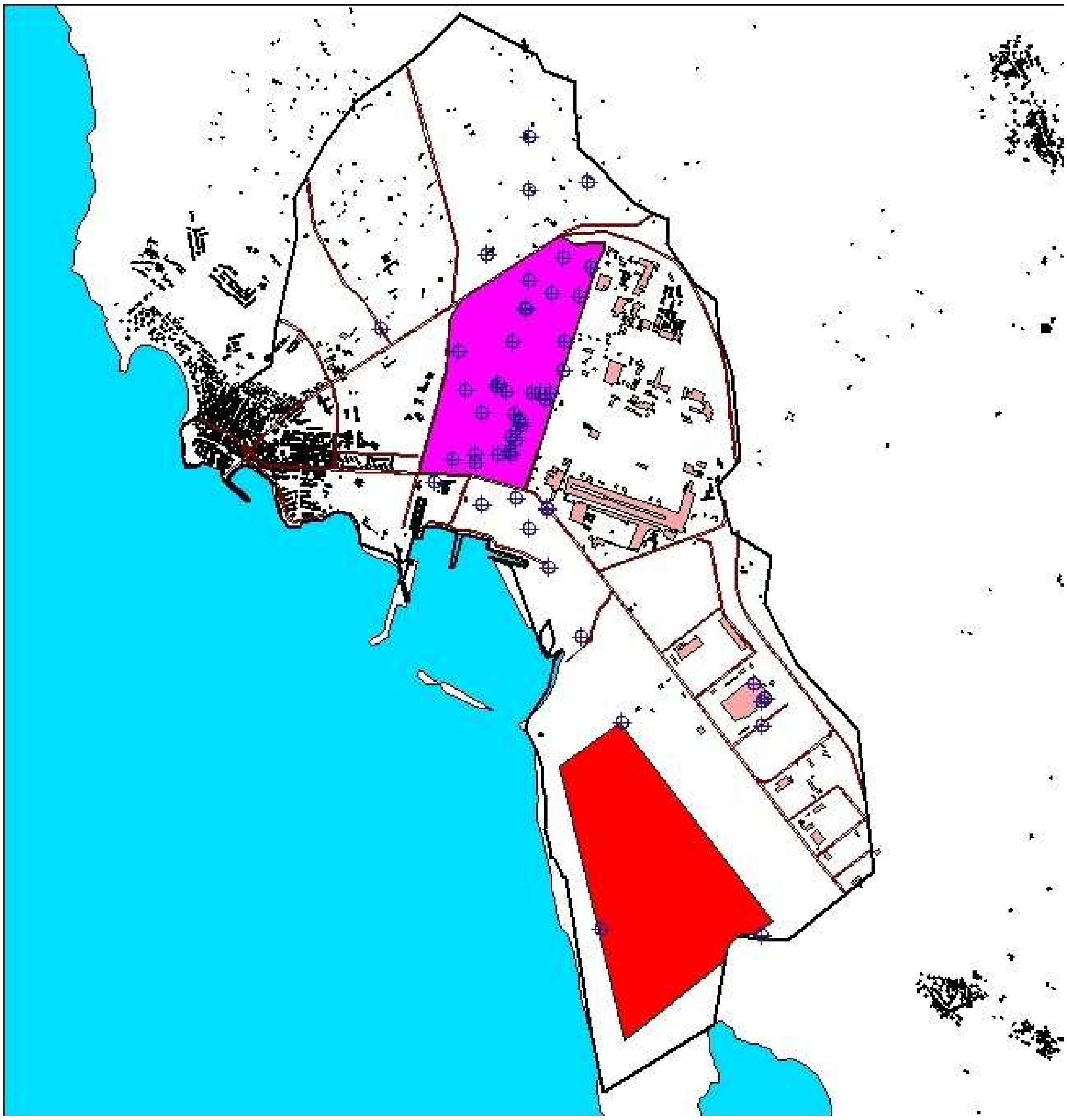

Figura 1: Schema della zona industriale del sito di Portoscuso. In diversi colori sono indicati i vari insediamenti industriali presenti. In particolare sono evidenziate le zone dell'Eurallumina (poligono colorato nella parte alta della figura) e la discarica dei fanghi (poligono di forma trapezoidale nella parte bassa della figura).

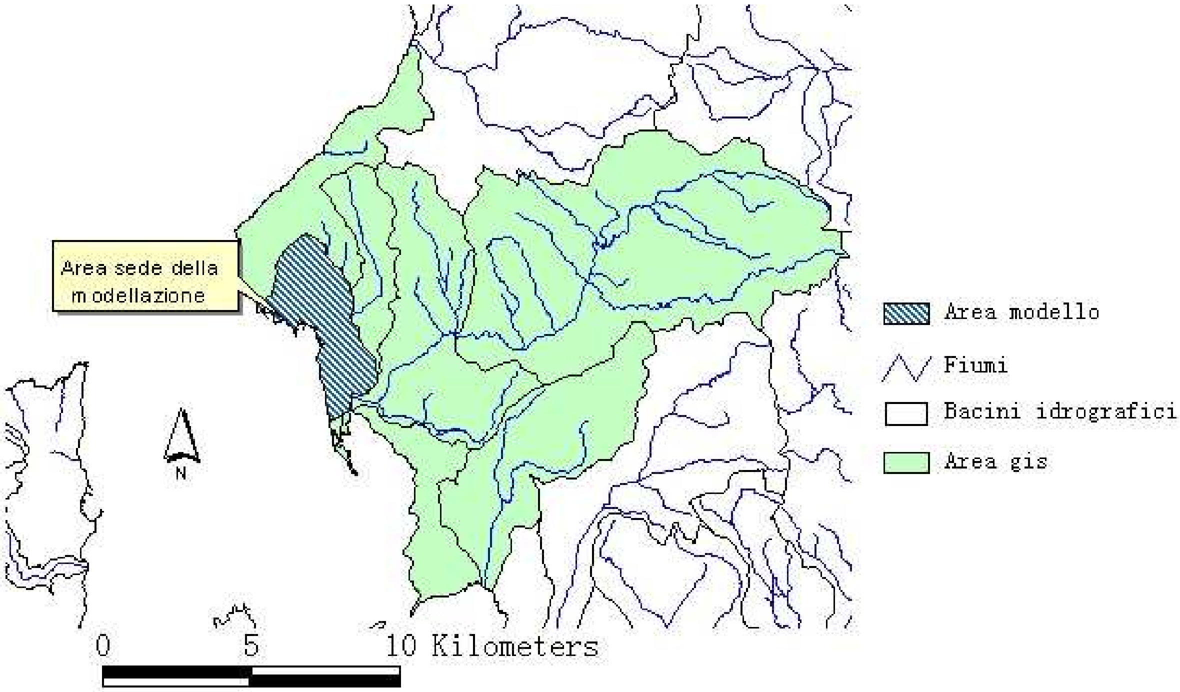

Figura 2: Vista generale della zona di Portoscuso.

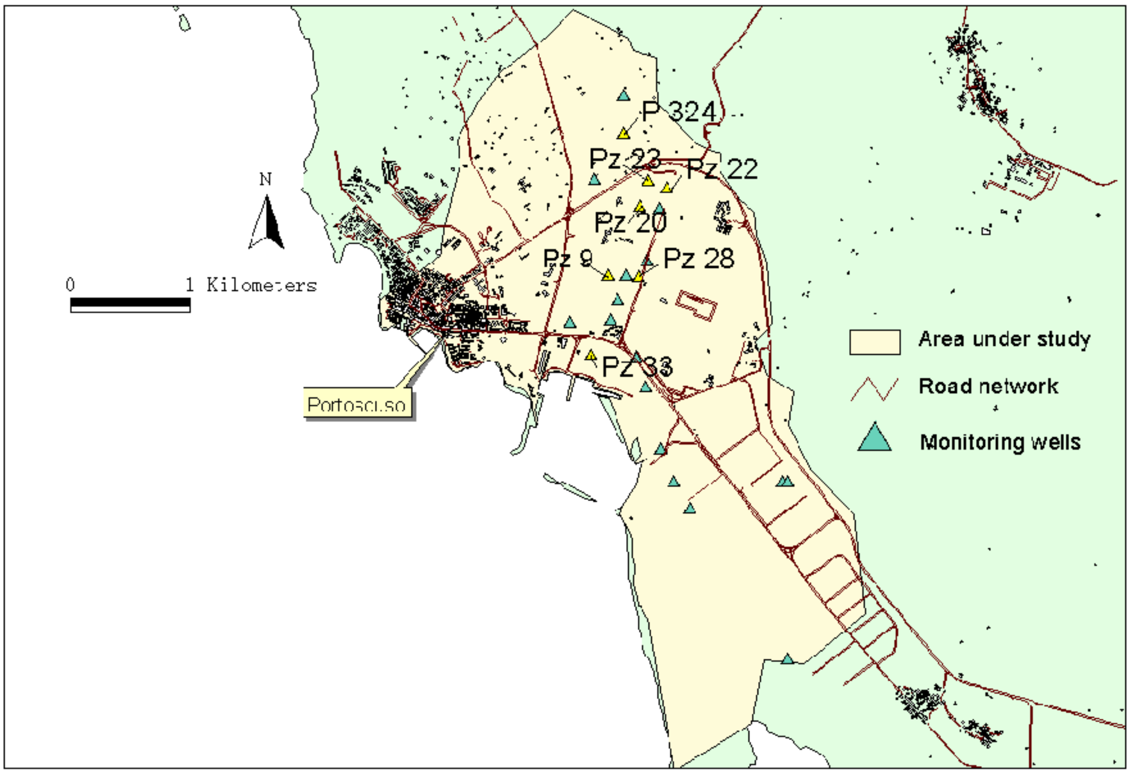

Figura 3: Locazione dei pozzi di rilevamento della zona di Portoscuso.

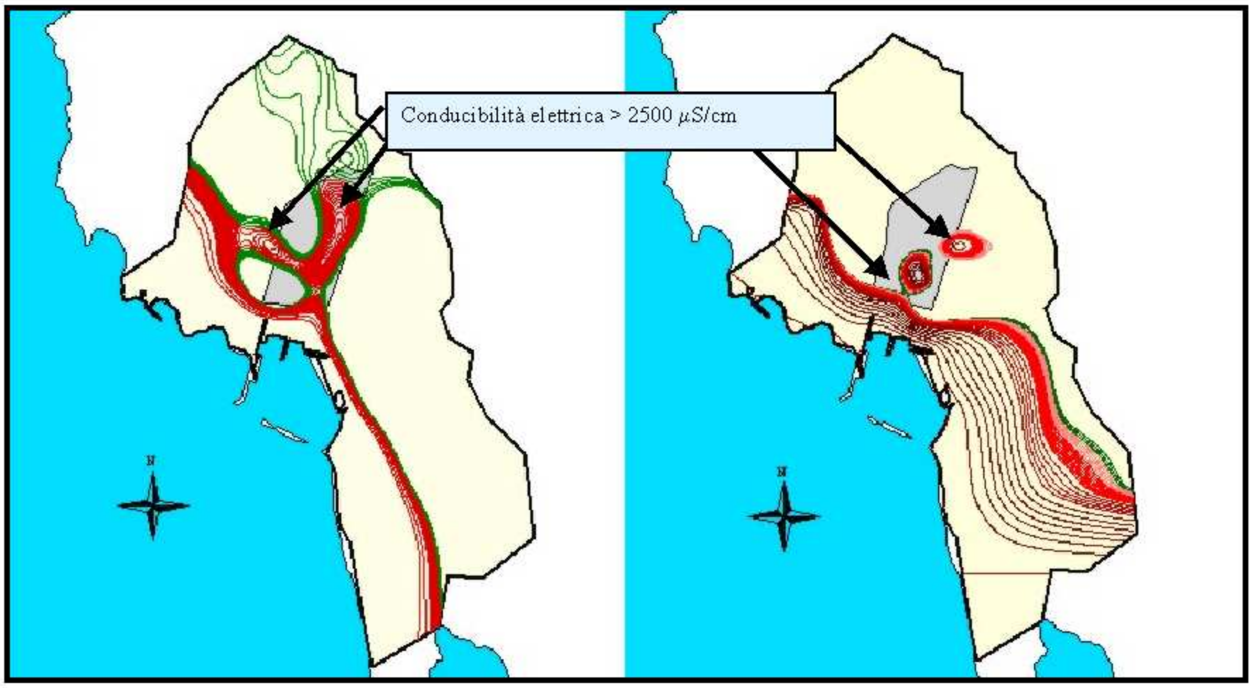

Figura 4: Conducibilitá elettrica misurata per gli acquiferi superficiale (sinistra) e confinato (destra).

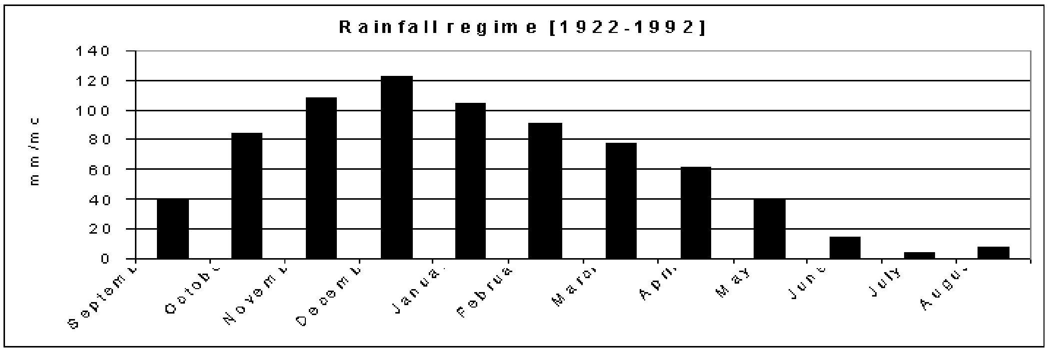

Figura 5: Dati di piovositá per il bacino del Sulcis Iglesiente.

tantennio è di 650 mm. L'area è caratterizzata da un clima marittimo, con un massimo di piovosità tra Novembre e Dicembre e un minimo nel mese di Luglio. In base a questa caratterizzazione l'area è stata interessata da una crisi idrologica nel biennio 31-32 e nel triennio 87-89, durante i quali si è avuta una diminuzione della piovosità rispetto alla media rispettivamente di 131, e 214 mm. Durante i periodi siccitosi si è osservato che le estrazioni dalla falda aumentavano proporzionalmente all'intensità della crisi con un conseguente l'abbassamento naturale della falda, la formazione di coni di depressione e aumento delle concentrazioni degli inquinanti e sali disciolti a causa della diminuzione del contenuto idrico del terreno.

La situazione nella regione in studio è aggravata dall'eccessivo numero dei pozzi e dalla presenza di parecchie centinaia di pali in ghiaia e materiale grossolano costruiti nel terreno nell'area dove sorge il complesso industriale dell'Eurallumina. Scopo della realizzazione di questi pali è stato probabilmente il consolidamento del suolo per la successiva edificazione, ma, data la profondità raggiunta dagli stessi, ha causato anche l'involontario mutamento del regime delle acque sotterranee rendendo i due acquiferi, superficiale e confinato, un tempo completamente separati, comunicanti. Ciò ha comportato una variazione dei parametri idraulici che regolano i processi che si producono all'interno del sistema sottosuolo, quali lo spostamento dell'acqua (o di un inquinante fluido o idroveicolato) attraverso l'insaturo sino a raggiungere la superficie piezometrica dell'acquifero soggiacente e la dinamica del flusso sotterraneo e di un inquinante fluido o idroveicolato nella zona di saturazione dell'acquifero. Tutto questo ha favorito fenomeni di cortocircuitazione delle acque sotterranee.

3 Setup delle simulazioni

La modellazione del flusso e del trasporto per il sito di Portoscuso viene svolta in un certo numero di passi. L'eseguire delle simulazioni i cui risultati siano significativi richiede una fase iniziale di setup, ovvero di un insieme di scelte, assegnazioni e parametrizzazioni atte a creare le opportune condizioni per eseguire i calcoli. In particolare vengono identificate le seguenti fasi:

- scelta del dominio da simulare;

- ricostruzione spaziale del dominio;
- discretizzazione spaziale del dominio;
- assegnazione delle proprietà del suolo e loro mappatura sul dominio di calcolo;
- assegnazione delle condizioni iniziali;
- assegnazione delle condizioni al contorno;
- scelta dei parametri di simulazione.

3.1 Scelta della dominio da simulare.

La zona su cui sono state eseguite le simulazione di flusso e trasporto è stata selezionata in base ad una serie di considerazioni che vengono qui di seguito riportate:

- le dimensioni del sito incluso nella modellazione sono inferiori rispetto rispetto alla zona del bacino idrografico nella quale il sito di Portoscuso è contenuto, dato che non vi erano dati sufficientemente accurati per poter includere ulteriori estensioni della zona prescelta;
- la frontiera è stata scelta in modo tale da poter imporre condizioni di non flusso in buona parte di essa. I contorni sono stati "ritagliati" infatti in modo da incrociare, ove possibile, le isopieze perpendicolarmente (flusso nullo attraverso la frontiera), o dove il loro gradiente era pressochè nullo (flusso nullo in generale).
- la zona critica per l'inquinamento è centrata nel dominio di calcolo selezionato.

In figura 1 vengono mostrati i contorni del dominio in studio, che, fondamentalmente, coincidono con quelli dell'agglomerato industriale.

3.2 Ricostruzione della superficie e del fondo dominio del dominio di calcolo

Superficie del dominio La ricostruzione della superficie del dominio è stata ottenuta usando le informazioni provenienti dal DEM (digital elevation model) della zona in studio, come mostrato in figura 6. Dal DEM della zona si è provveduto a mappare le coordinate e l'altimetria della mesh di calcolo bidimensionale, in modo da creare il "cappello" del dominio di calcolo.

Fondo del dominio La ricostruzione del fondo dell'acquifero è stata ottenuta interpolando e estrapolando le misure di profondità del letto delle ignimbriti disponibili dai carotaggi effettuati nella zona in studio. La ricostruzione, come si può ben comprendere, risulta più approssimata rispetto al caso della superficie, data la minore disponibilitá di valori misurati (vedi tabella 3.2).

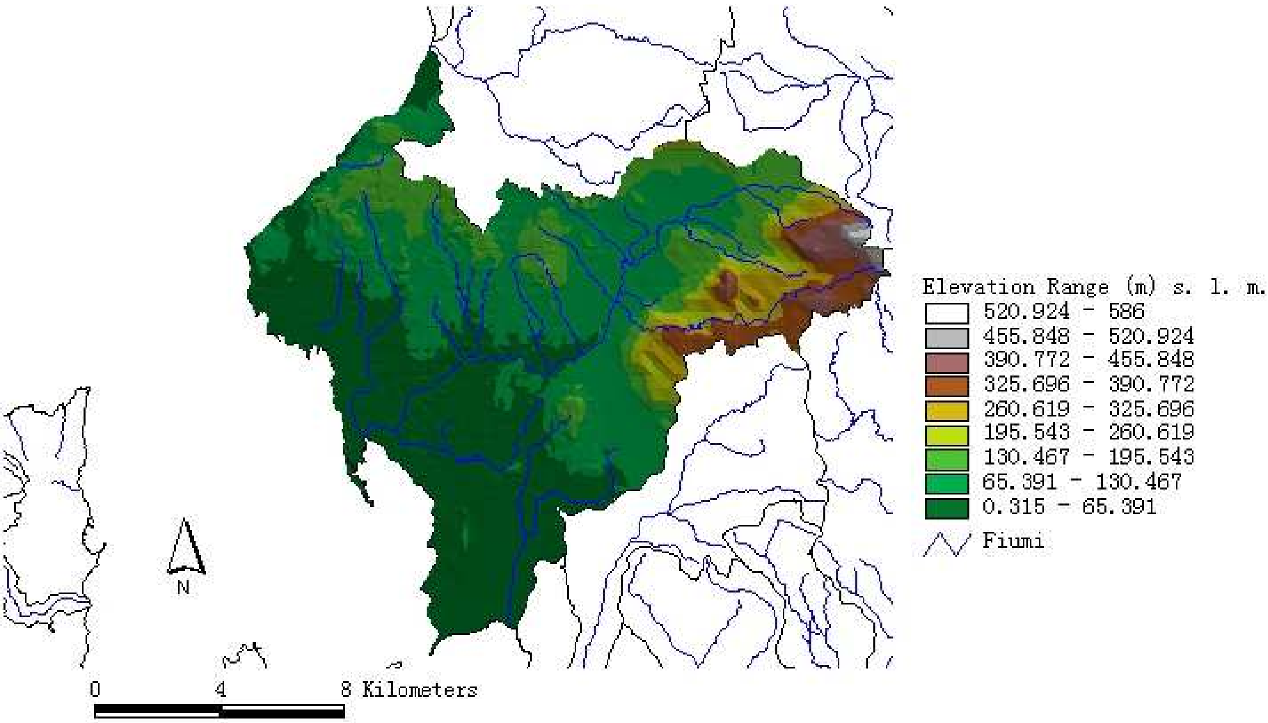

Figura 6: Bacino idrografico in cui inserita l'area in studio. Sono evidenziate la morfologia e l'idrografia superficiale.

Tabella 2: Valori delle quote del tetto delle vulcaniti (Q.T.V.) misurati in alcuni pozzi. La locazione dei pozzi è specificata nel sistema di coordinate Gauss-Boaga.

N. pozzo	Q.T.V.	X-GB	Y-GB
S1	-5,50	1448360	4340200
S2	20,43	1448140	4340640
S3	-16,00	1448110	4339810
PZ22	20,00	1448530	4340708
PZ23	17,90	1448370	4340769
PZ27	9,17	1448160	4340326
PS103	9,17	1448069	4340274
PS113	-16,05	1447580	4339570
PS114	0,50	1447981	4340003
PS115	8,90	1448190	4340330
PP2	-6,05	1447718	4340115
PP3	-10,90	1448331	4340110
PP4	-12,70	1448274	4339927
PP7	-19,60	1448161	4339970
PP8	2,30	1448380	4340574
PP9	17,40	1448168	4340642
PP10	-15,55	1447701	4339814
PP11	-13,97	1447867	4339590
PP12	-0,07	1447859	4340232
PP13	3,69	1447988	4340394

3.3 Discretizzazione spaziale

La discretizzazione spaziale è stata eseguita usando il software di *Argus-ONE* (1997). Questo software permette di eseguire una discrezzazione spaziale tramite la triangolazione bidimensionale del dominio in studio (*Cau and Lecca* 2002). In figura 7 viene mostrata la mesh bidimensionale ottenuta. Come si vede, sono state evidenziate delle linee particolari e attorno a queste il numero di triangoli per unità di superficie è maggiore. Queste linee delimitano la zona industriale attorno alla quale è richiesto di entrare in maggiore dettaglio. Come verrà illustrato nei paragrafi seguenti, le zone in cui la discretizzazione spaziale è maggiormente fitta sono state selezionate in base al fatto che ivi sono stati scavati diversi pali di fondazione che hanno creato delle zone di comunicazione fra l'acquifero superficiale e quello profondo, con maggiore rischio di inquinamento del primo e del secondo acquifero. Parte dello studio presentato in questo rapporto verte sulla corretta parametrizzazione delle proprietà del suolo.

La mesh di calcolo bidimensionale per la discretizzazione consta di 1432 nodi e 2753 elementi. La mesh tridimensionale è stata ottenuta replicando la mesh 2D in verticale formando così 10 strati uniformi per un totale di 15752 nodi e 82590 elementi tetraedrici (vedi figura 8).

3.4 Assegnazione delle proprietà del suolo al dominio

Una volta realizzato il reticolo di calcolo, ovvero la mesh, il passo successivo riguarda la mappatura delle proprietà del suolo su detto reticolo. Questo fa sì che il reticolo diventi rappresentativo del dominio fisico che si intende simulare. Data la dimensione del dominio e le caratteristiche dello stesso si rende necessario l'uso di una procedura automatica di assegnazione delle proprietà del suolo alla mesh di calcolo. In questo contesto è stato conveniente implementare una procedura automatica direttamente nel software Argus ONE che è stato usato per realizzare la mesh di calcolo. Questo applicativo, infatti, offre la possibilità di modificare, o meglio, di "customizzare" l'output e di scrivere i dati in un formato comodo per il run del modello.

Nel caso del codice CODESA-3D, la parametrizzazione dell'acquifero avviene assegnando ad ogni elemento della mesh un indice di zona, che lo caratterizza come appartenente ad un certa classe di elementi che hanno tutti le stesse caratteristiche in termini di porosità, permeabilità e storage uniformi. La "classazione" degli elementi viene fatta partendo dai dati implementati nel GIS. Argus è in grado di importare files da Arcview (il software usato per la gestione del GIS) e sovrapporli alla mesh di calcolo. Usando degli algoritmi di sovrapposizione grafica, Argus determina quali elementi appartengono ad una certa zona spaziale e gli assegna un flag di tipo. Il codice CODESA-3D permette l'assegnazione di parametri eterogenei nello spazio. Sulla base degli studi eseguiti (vedi la descrizione dettagliata in *Cau e Lecca* 2002) sono identificate 3 zone principali:

1. zona dei pali scavati;
2. zona mare;
3. zone interna.

Nel presente studio è stato modellato un acquifero multistrato costituito dalle seguenti unità idrogeologiche:

1. acquifero superficiale (primi due strati superiori della mesh tridimensionale di figura 8);
2. strato di separazione argillosa (terzo strato della mesh di figura 8, con profondità variabili tra i 6-7 m fino ai 10-15 m);
3. aquifero confinato (i rimanenti 7 strati della mesh di figura 8).

In particolare, nel rapporto "Descrizione delle prove di calibrazione e validazione: il sito di Portoscuso" viene discussa la validità e le implicazioni delle assunzioni qui introdotte.

3.5 Condizioni iniziali – Simulazioni di flusso

L'assegnazione delle condizioni iniziali è un argomento che merita di essere discusso in dettaglio. Le condizioni iniziali descrivono l'insieme dei valori dei parametri che definiscono lo stato del sistema in studio prima di eseguire la simulazione del processo in studio. L'assegnazione di errate condizioni iniziali può causare sia un'erronea rappresentazione del problema in studio che problemi di convergenza numerica e quindi il mancato ottenimento di una qualunque soluzione.

Condizioni iniziali per simulazioni di condizioni di flusso stazionario senza trasporto. La condizione iniziale per il calcolo dello stato stazionario riveste una notevole importanza. Il calcolo dello stato stazionario, specialmente nel caso del flusso insaturo, richiede che l'algoritmo di soluzione possa iniziare l'iterazione nonlineare da una soluzione che sia compatibile con quella che si andra' a calcolare. Nel caso in studio, la condizione iniziale assunta è stata quella di considerare l'acquifero completamente saturo in equilibrio idrostatico. In questo caso, l'acquifero raggiunge lo stato stazionario attraverso un parziale svuotamento. In figura 9 viene la mostrata la distribuzione di pressione sul dominio di calcolo usata come condizione iniziale per il caso stazionario. Nel caso in oggetto, si assume l'equilibrio idrostatico come condizione iniziale.

Condizioni iniziali per simulazioni di condizioni di flusso transitorio senza trasporto. La condizione iniziale per il calcolo di fenomeni transitori è la soluzione del problema del regime stazionario. Come già accennato poco più sopra lo stato stazionario riveste una notevole importanza per il caso di siti insaturi, dato che le condizioni di insaturazione modificano pesantemente i valori di storage e di conducibilità idraulica del sistema. In figura 10 viene mostrata la distribuzione piezometrica ottenuta per il caso stazionario in assenza di pompaggi calcolata e usato come condizione iniziale del caso transiente.

3.6 Condizioni al contorno – Simulazioni di flusso

3.6.1 Superficie del dominio

Sulla superficie dell'acquifero viene settata l'infiltrazione nel terreno con una condizione di tipo atmosferico. Nel caso il terreno sia insaturo, si impone una condizione di flusso entrante, altrimenti si impone la condizione di pressione sulla superficie uguale alla pressione atmosferica. Il valore di infiltrazione efficace (pioggia - evapotraspirazione - runoff) è stato stimato con metodologie indirette ed è stato imposto uniforme su tutto il dominio. Il valore assunto è di 150 mmH_2O/anno (rapporto tecnico "Analisi dei dati" della fase III nella sezione relativa al bilancio idrologico).

3.6.2 Fondo del dominio

Il fondo del dominio viene considerato impermeabile. Questo implica che l'eventuale moto di falda risulta parallelo alla superficie del basamento dell'acquifero. Questa condizione risulta accettabile per il fatto che il letto dell'acquifero è costituito da vulcaniti non degradate e poco fratturate, perciò praticamente impermeabili (*Barbieri e Ghiglieri* 1994).

3.6.3 Lato mare del dominio

Nella zona mare viene imposto un carico idrostatico costante. Essendo l'acqua salata, la condizione di pressione imposta deve tenere conto di un carico aggiuntivo pari a $z * c$ rispetto al caso di condizione di pressione idrostatica di acqua dolce, con z coordinata verticale e c concentrazione normalizzata del sale. Per ulteriori spiegazioni a proposito delle condizioni al contorno idrostatiche nel caso di acqua dolce o salata si rimanda al manuale del CODESA-3D (*Lecca* 2000).

3.6.4 Frontiere Nord, Est e Sud

Sul resto della frontiera, cioé i lati Nord, Est e Sud, viene imposto flusso nullo. Questa condizione semplifica il calcolo in quanto risulta la condizione naturale per il simulatore CODESA-3D e permette di non assegnare alcun valore di flusso in entrata/uscita dal dominio. Detti valori di flusso sarebbero infatti molto difficili da stimare per cui la scelta della frontiera del dominio di calcolo per il sito di Portoscuso è stata operata al fine di poter assumere proprio condizioni di flusso nullo lungo la maggior parte della frontiera.

3.6.5 Presenza e locazione delle stazioni di pompaggio

In alcune delle simulazioni si è tenuto conto della presenza di stazioni di pompaggio. Non essendo noti i valori di questi emungimenti dalla falda della zona, si sono ipotizzati degli emungimenti dalla falda situati in due zone (vedi rapporto sulla calibrazione e validazione del modello per il sito di Portoscuso). Per i pompaggi si è considerata una portata di emungimento di circa 0.1 m^3/sec.

3.7 Condizioni iniziali - Simulazioni di trasporto

Contrariamente al caso del flusso, per il quale si deve seguire una opportuna procedura per poter calcolare sia lo stato del sistema in condizioni di stazionario che per poter eseguire le simulazioni di transitorio, nel caso del trasporto non è richiesta alcuna procedura. Per i casi considerati, si sono eseguite solo simulazioni di transitorio per le quali la condizione iniziale era di concentrazione nulla in tutto il dominio, cioé di suolo non inquinato.

3.8 Condizioni al contorno – Simulazioni di trasporto

Per quanto riguarda le condizioni al contorno per il caso del trasporto, anche qui come nel caso delle condizioni iniziali la situazione si semplifica molto rispetto al caso del flusso. Come viene presentato nel rapporto relativo alla calibrazione e validazione del modello per il sito di Portoscuso, le simulazioni di trasporto riguardano il caso di un inquinante che da un punto di immissione posto in corrispondenza dell'insediamento dell'Eurallumina viene trasportato dall'acqua verso il mare. In questo caso le condizioni al contorno sono di concentrazione fissata nella zona di immissione e gradiente di concentrazione nullo (cioé flusso diffusivo-dispersivo nullo) sulla frontiera del dominio.

Riferimenti bibliografici

[1] Argus Interware, Inc. Argus one 4.0, 1997. argus open numerical environment- a gis modeling system. Technical report, USA, 1997.

[2] G. Barbieri and G. Ghiglieri. Artificial recharge tests in a sandy aquifer. In *Water Down Under 1194, Adelaide, South Australia 1994.*, 1994.

[3] P. Cau, C. Gallo, L. Muscas, G. Ghiglieri, and G. Barbieri. Integrazione gis-software modellistici per l'analisi di qualit ambientale della piana di portovesme. (sardegna sud-occidentale. In *In V Conferenza di ASITA*, Rimini, Italy, 2001.

[4] P. Cau and L. Muscas. Identificazione e organizzazione del sistema gis/database per i siti in studio. Technical report, CRS4, UTA (Ca), Italy, 2001.

[5] G. Gambolati, M. Putti, and C. Paniconi. Three-dimensional model of coupled density-dependent flow and miscible salt transport in groundwater. In J. Bear, A. H.-D. Cheng, I. Herrera, S. Sorek, and D. Ouazar, editors, *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Concepts, Methods, and Practices.* Kluwer Academic, Dordrecht, Holland, 1999.

[6] G. Lecca. Implementation and testing of CODESA-3D code for density-dependent flow and transport transport in porous media. Technical Report CRS4-TECH-REP-00/40, CRS4, Italy, 2000.

[7] G. Lecca and P. Cau. Interfacciamento gis-modello. Technical report, CRS4, UTA (Ca), Italy, 2002.

[8] P. P. Manca, R. Lonis, F. Manca, and E. Sirigu. Prediction and control of surface subsidence over abandoned mined lands in Carbonia (Italy). In *Proceedings 18th Conference on Ground Control in Mining*, pages 315–321, 1999.

[9] L. Muscas and P. Cau. Analisi dei dati gis/database implementato: sito di oristano. Technical Report TECH-REP-01/16, CRS4, UTA (Ca), Italy, 2001.

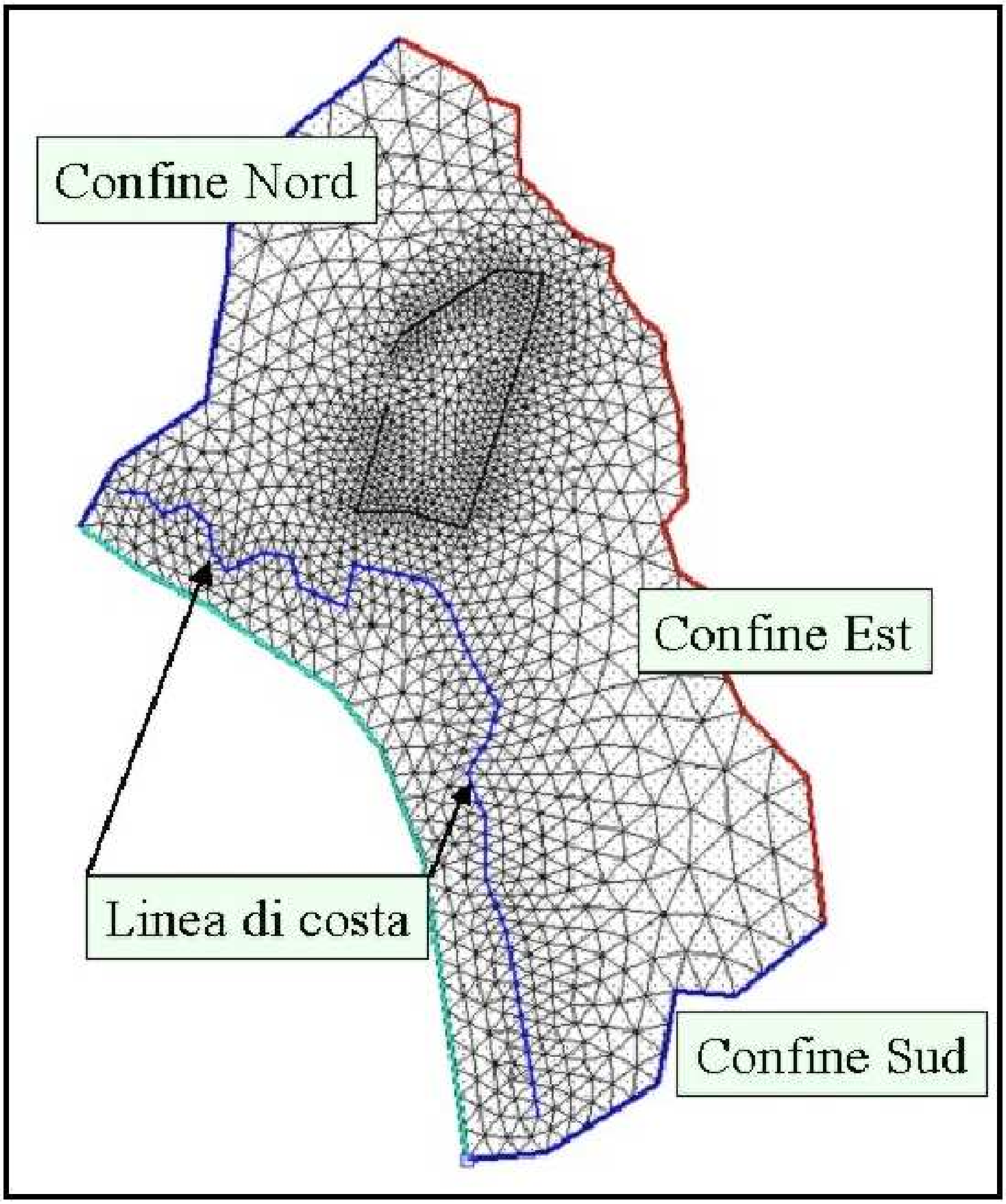

Figura 7: Mesh di calcolo bidimensionale.

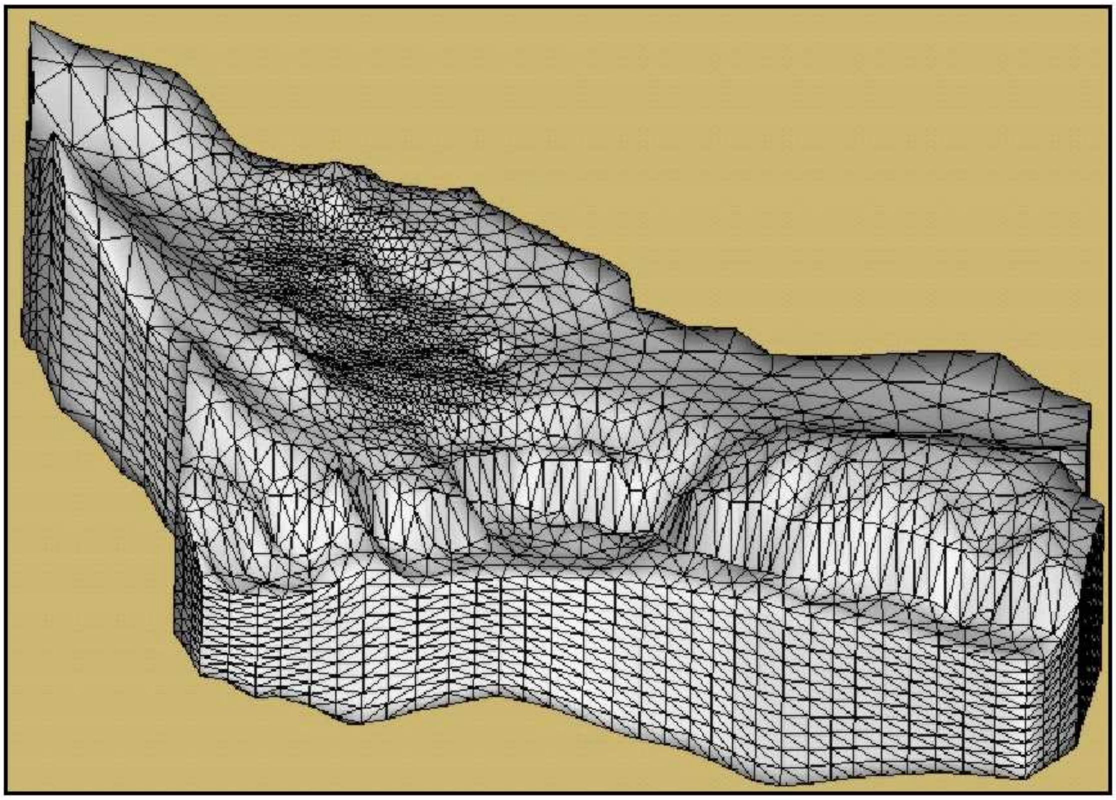

Figura 8: Mesh tridimensionale derivata dalla replicazione degli strati in verticale.

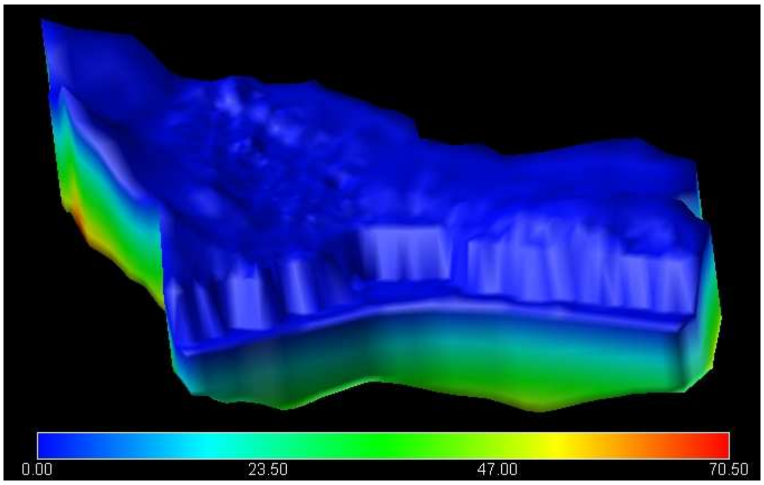

Figura 9: Condizioni iniziali per il calcolo del regime stazionario (pompaggi non attivi). I valori della legenda sono espressi in termini di altezza idraulica.

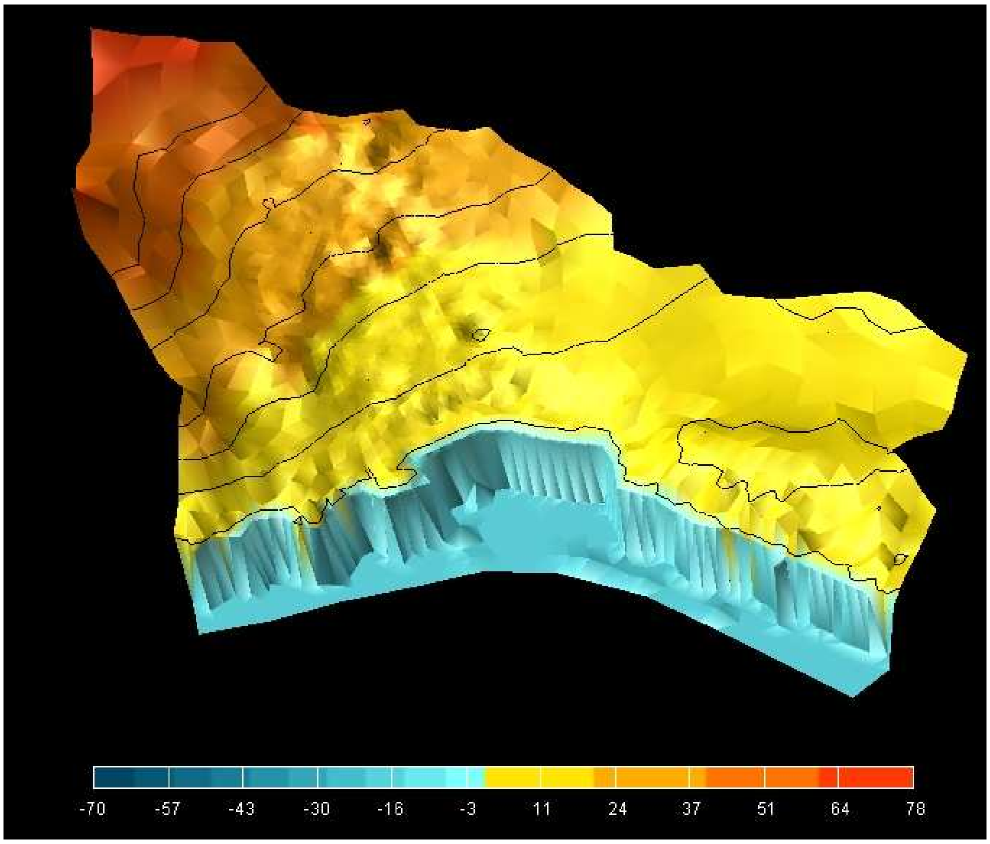

Figura 10: Condizioni di stazionario calcolate (pompaggi non attivi). I valori della legenda sono espressi in terini di altezza idraulica.