

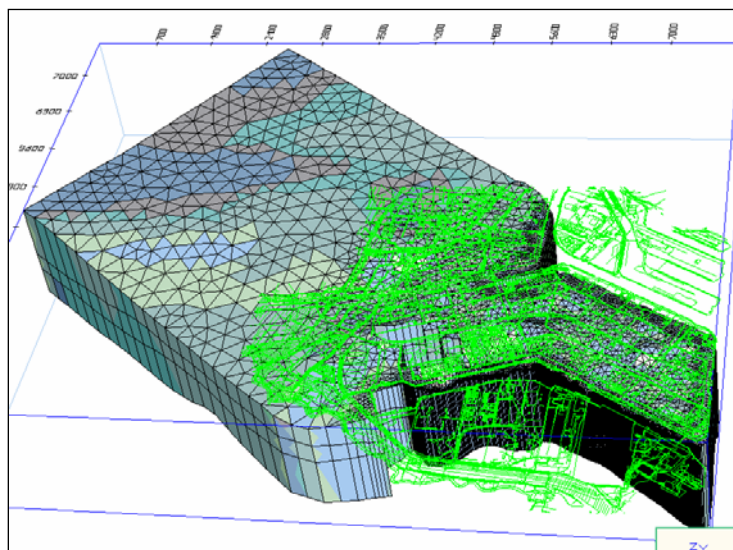
Stabilimento Petrolchimico di Porto Marghera

PROGETTO DEFINITIVO DI BONIFICA DEL SITO SYNDIAL (D.M. 471/99)

PROGETTO DEFINITIVO DI BONIFICA DELLA FALDA

SYNDIAL E SOCIETA' COINSEDIATE

MODELLAZIONE MATEMATICA A SUPPORTO DELLA
PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI PER IL
DRENAGGIO DELLE ACQUE DI FALDA



POLITECNICO DI MILANO
D.I.I.A.R. – Sez. Infrastrutture viarie

Prof. Vincenzo Francani

Dott. Luca Alberti

SOMMARIO

1 - INTRODUZIONE.....	4
2 - MODELLO CONCETTUALE.....	5
2.1 Geologia ed idrogeologia.....	5
2.1.1 Terreni e materiali eterogenei di riporto	6
2.1.2 Argille, limi argillosi e torbe (livello impermeabile superiore o caranto)	6
2.1.3 Depositi prevalentemente sabbiosi (acquifero primario).....	7
2.1.4 Argille, limi argillosi e torbe (secondo livello impermeabile).....	7
2.2 Parametri idrogeologici.....	8
2.3 Campo di moto della prima falda.....	8
3 - SCELTA DEL CODICE DI CALCOLO.....	11
4 - DELIMITAZIONE DEL DOMINIO E DELLA MESH.....	13
4.1 Discretizzazione orizzontale	14
4.2 Discretizzazione verticale	15
5 - GEOMETRIA DEL SISTEMA	17
6 - DEFINIZIONE DELLE PROPRIETA' IDRAULICHE.....	24
6.1 Dati disponibili.....	24
6.1.1 Riporto	24
6.1.2 Livello impermeabile superiore (caranto).....	25
6.1.3 Primo acquifero.....	27
6.2 Distribuzione dei valori di permeabilità nelle unità idrogeologiche.....	29
6.2.1 Riporto	29
6.2.2 Livello impermeabile superiore (caranto).....	29
6.2.3 Primo acquifero.....	30
6.3 Analisi statistica della distribuzione dei valori di permeabilità.....	32
6.4 Applicazione delle permeabilità ai layer	34
6.4.1 Distribuzione all'interno del sito del Petrolchimico	34
6.4.2 Distribuzione all'esterno del sito del Petrolchimico.....	36
7 - CONDIZIONI AL CONTORNO	39
7.1 Condizioni ai limiti del modello	39
7.2 Canali	41
7.3 Elementi interni allo stabilimento.....	44
7.4 Interventi in progetto o in predisposizione	46
7.5 Ricarica superficiale.....	47
7.5.1 Determinazione dell'evapotraspirazione	47
7.5.2 Calcolo del valore di ricarica	49
8 - CALIBRAZIONE DEL MODELLO	54

9 - SIMULAZIONE DEGLI INTERVENTI DI DRENAGGIO A MARGINAMENTO PARZIALE	66
9.1 Introduzione	66
9.2 Elementi di drenaggio	67
9.3 Piezometria simulata della prima falda.....	69
9.4 Simulazione previsionale: bilancio di massa	70
10 - SIMULAZIONE DEGLI INTERVENTI DI DRENAGGIO A MARGINAMENTO COMPLETO	75
10.1 Introduzione	75
10.2 Piezometria simulata della prima falda.....	78
10.3 Simulazione previsionale: bilancio di massa	82

Il presente documento è stato redatto dal Politecnico di Milano – D.I.I.A.R. (Sez. Infrastrutture Viarie, gruppo Geologia Applicata) nell’ambito della convenzione stipulata con Syndial S.p.A. in data 22 aprile 2004, con oggetto “Valutazione critica dei risultati delle analisi idrogeologiche effettuate da terzi nei siti Syndial e conseguenti progetti di bonifica ai sensi del D.M. 471/99”.

Il documento è stato redatto in collaborazione con G.E.CO. s.n.c. sotto il coordinamento scientifico del Prof. V. Francani e del Dott. L. Alberti ed il coordinamento tecnico di Snamprogetti – divisione Aquater.

1 - INTRODUZIONE

Il modello matematico descritto nel presente documento (V.2_04), rappresenta l'evoluzione dei modelli preliminari siglati V.1_97 e V.1_04, presentati in precedenza ed utilizzati per effettuare un primo studio di fattibilità riguardante le opere da realizzarsi presso il sito di Porto Marghera per la bonifica della prima falda. I risultati di tale fase di modellazione preliminare hanno consentito di stabilire che la realizzazione di postazioni drenanti, costituisce una tipologia di intervento in grado di controllare la distribuzione dei carichi idraulici presso il sito e di impedire la fuoriuscita delle acque sotterranee verso la Laguna.

Il nuovo modello (V.2_04) è stato realizzato con un grado di dettaglio maggiore rispetto ai precedenti, adottando il modello concettuale basato su tutti i dati disponibili all'ottobre 2004. Scopo di tale fase di modellazione è di fornire il necessario supporto alla progettazione definitiva delle opere e valutare in modo più preciso gli effetti indotti sui carichi idraulici della falda.

Il presente documento ha lo scopo di ricostruire la struttura del modello flusso V.2_04 realizzato dal gruppo di lavoro coordinato da V. Francani e presentare i risultati delle simulazioni.

Per la realizzazione del modello matematico V.2_04 è stato utilizzato il codice di calcolo agli elementi finiti Feflow (Finite Element Flow), prodotto dalla società tedesca WASY GmbH. La scelta di utilizzare tale codice è stata dettata dalla volontà delle Società coinvidate di implementare un modello che, in futuro, possa costituire la base per la simulazione del flusso anche in presenza di fluidi a densità differenti, ovvero l'interazione con le acque salate della laguna.

Le simulazioni delle attività di bonifica sono descritte ai capitoli 9 e 10. Le attività di bonifica saranno svolte nelle condizioni definitive descritte nel capitolo 10, cioè con il marginamento completo delle sponde lagunari e la chiusura idraulica a monte idrogeologico (retromarginamento). Tale scenario corrisponde dunque a quello definitivo di progetto.

Nello scenario descritto al capitolo 9, le condizioni al contorno sul lato laguna sono quelle che risultano presenti al momento di scrivere il presente documento, con il marginamento presente solo lungo i tratti in cui è già stato realizzato o è in via di realizzazione. Questa simulazione è stata eseguita unicamente al fine di studiare l'efficacia delle attività di drenaggio nelle condizioni che potrebbero essere presenti nel sito durante il primo periodo di funzionamento dei dreni.

2 - MODELLO CONCETTUALE

La ricostruzione del Modello Concettuale del Sito (MCS), è stata eseguita mediante la raccolta di tutte le informazioni geologiche - idrogeologiche e qualitative acquisite durante gli studi di caratterizzazione ambientale e contenute nella Banca Dati di sito fornita da Snamprogetti Divisione Aquater.

Le informazioni raccolte ed elaborate hanno riguardato le seguenti variabili ambientali:

- dati relativi alla stratigrafia dei terreni attraversati;
- dati relativi alla permeabilità dei terreni ottenuti da prove sperimentali in sito (prove di tipo Lefranc) e in laboratorio;
- dati relativi alla trasmissività del primo acquifero ottenuti da prove sperimentali in sito (da test idraulici);
- dati relativi ai carichi idraulici misurati nella prima falda e nelle acque del riporto

2.1 GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

L'area del Petrolchimico presenta una morfologia regolare, con quote topografiche variabili da circa -0,5 m a 4,5 m s.l.m..

La successione dei terreni, sotto il profilo stratigrafico, risulta caratterizzata dalla presenza di livelli granulari (a prevalente componente sabbiosa), alternati a livelli di granulometria fine predominante, che sono entrambi generalmente interessati da interdigitazioni laterali e intercalazioni di livelletti centimetrici di materiale di transizione prevalentemente limosi.

Per quanto le caratteristiche di permeabilità dei materiali più fini all'interno dei livelli acquiferi influenzino notevolmente i flussi idrici, è ipotizzabile che l'esatta distribuzione del parametro all'interno di uno strato debba essere ricostruito nel dettaglio solo per problemi localizzati. Viceversa, nell'ambito di una simulazione di stabilimento finalizzata alla valutazione dei bilanci di massa e dei flussi complessivi, risulta ragionevole operare una schematizzazione in livelli litostratigrafici macroscopici e omogenei (a cui attribuire parametri idrogeologici "equivalenti"), che possono essere distinti in relazione alla predominanza dei litotipi a granulometria fine su quelli a granulometria più grossolana e viceversa. Tali strati, pur presentando al loro interno elementi di discontinuità, quali lenti e livelli centimetrici di frazioni litologiche percentualmente secondarie, risultano arealmente ben correlabili e assumono un

ruolo e un significato ben preciso sotto il profilo idrogeologico, in termini di condizionamento del flusso idrico sotterraneo.

2.1.1 Terreni e materiali eterogenei di riporto

La copertura artificiale di riporto è di natura molto eterogenea ed è generalmente rappresentata da sabbie frammiste a ghiaia, ciottoli e frammenti di laterizi, sabbie fini e limose, argille, limi argillosi e sabbiosi con veli e punti di sostanze organiche vegetali e si rinvencono residui di lavorazione industriale. Lo spessore medio è di circa quattro metri.

La matrice del deposito, che regola i processi di ricarica per precipitazione meteorica, è essenzialmente costituita da limo ed argilla, che contribuiscono a dare al deposito nel suo insieme caratteristiche di bassa permeabilità.

2.1.2 Argille, limi argillosi e torbe (livello impermeabile superiore o caranto)

Tale livello è rinvenibile su tutta l'area indagata, sotto lo strato di riporto, con uno spessore medio dell'ordine di 4÷4,5 m ed è costituito da:

- argille da debolmente limose a limose, di colore da grigio a nocciola, talora con noduli e venature nerastre e tracce di sostanze organiche vegetali;
- limi argillosi, a luoghi debolmente sabbiosi, compatti, di colore da grigio a nocciola, con locale presenza di veli di argilla, concrezioni carbonatiche e venature ocracee o nocciola;
- livelli torbosi a matrice limosa o argillosa, di colore da marrone a marrone scuro.

Tale livello a scala estremamente locale (di singole Isole) può talvolta presentare discreti spessori e buona continuità areale, tanto da costituire un vero e proprio acquiclude in grado di separare idraulicamente la acque del riporto da quelle del primo acquifero. Diversamente, a scala di sito, il caranto deve essere considerato un aquitard, in quanto:

- diversi sondaggi non ne hanno rilevato la presenza;
- in diversi settori si assottiglia, assumendo spessori inferiori al metro;
- la frazione limosa o limoso-sabbiosa talvolta prevale su quella argillosa;
- strutture antropiche quali palificazioni ed escavazioni interrompono la sua continuità.

2.1.3 Depositi prevalentemente sabbiosi (acquifero primario)

Trattasi di sabbie da medie a fini, da debolmente limose a limose, di colore grigio; è inoltre segnalata la presenza di elementi di discontinuità rappresentati da lenti e livelli di argille e limi argillosi.

Tale orizzonte ha uno spessore medio valutabile intorno ai 5 m (con minimi dell'ordine del metro e massimi superiori ai 10 m).

Questo rappresenta la prima formazione acquifera presente nel sottosuolo (acquifero primario).

2.1.4 Argille, limi argillosi e torbe (secondo livello impermeabile)

Tale strato è rappresentato da alternanze di argille limose, limi argillosi di colore grigio e livelli di torba marrone scuro; si rilevano, localmente, piccoli livelli o veli limosi - sabbiosi.

Lo spessore è variabile da valori dell'ordine del metro ad oltre 8,5 m, con una media di circa 4 m.

Lo schema litostratigrafico del terreno è mostrato in Figura 2.1.

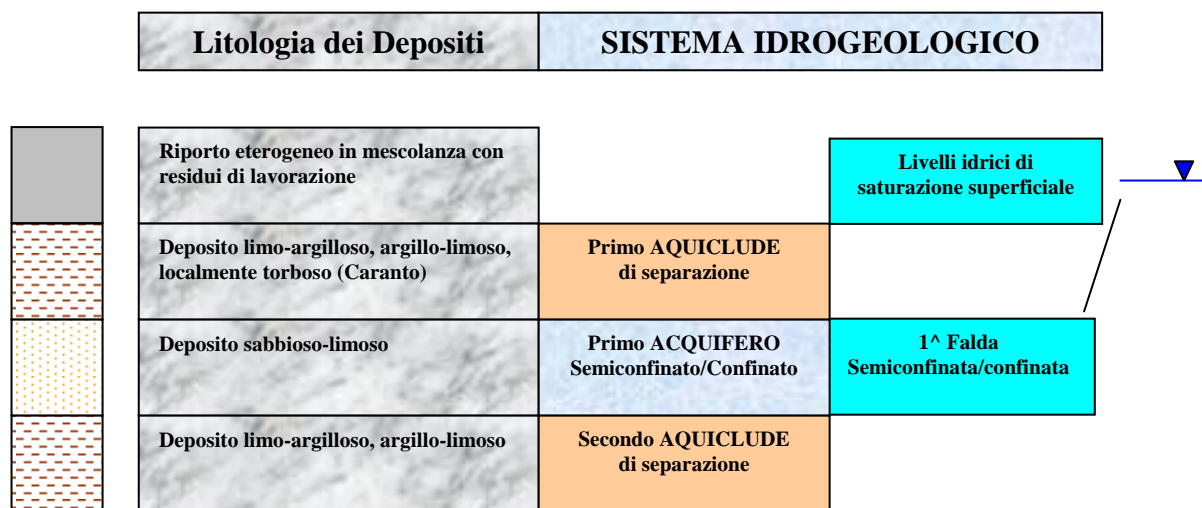


Figura 2.1: schema litostratigrafico e successione idrogeologica dei depositi.

2.2 PARAMETRI IDROGEOLOGICI

Nel sottosuolo dell'area indagata, il sistema idrico sotterraneo è assimilabile ad un sistema multistrato, in cui si riconoscono livelli acquiferi sovrapposti e idraulicamente abbastanza ben definiti.

In particolare, procedendo dall'alto verso il basso, nei primi 15 – 16 m da p.c., si distinguono:

- un primo livello di saturazione idrica superficiale (acque d'impregnazione nel riporto), ospitato all'interno dei terreni e materiali di riporto eterogenei, di entità molto modesta e strettamente connessa con il regime delle precipitazioni meteoriche.
- In realtà, non si tratta di una vera e propria falda, ma di acque pressoché stagnanti per via della bassissima permeabilità dei materiali che le ospitano, in grado di saturare gli strati relativamente più permeabili, la cui formazione è favorita dalla presenza di un aquitard localizzato alla base dello strato di riporto (livello impermeabile superiore);
- un acquifero primario, rappresentato da depositi a prevalente componente sabbiosa, presenti mediamente fino a profondità di circa 14 – 15 m da p.c. che si presentano spesso come corpi lenticolari di spessore variabile ed intercomunicanti fra loro.

Tale orizzonte, il cui spessore medio è valutabile intorno ai 5 m, è rinvenibile sotto il livello impermeabile superiore. Per quanto precedentemente detto sulle caratteristiche del caranto, la falda ad esso sottesa è di tipo semiconfinato e rappresenta la prima falda acquifera presente nel sottosuolo (prima falda). Data la forte interconnessione tra il livello di saturazione idrica superficiale e la prima falda, riscontrabile anche nelle oscillazioni stagionali dei loro livelli piezometrici, sotto il profilo idrogeologico a scala di sito possono essere considerati un unico corpo idrogeologico.

L'acquifero primario è sostenuto alla base da un secondo complesso litologico argilloso – limoso pressoché impermeabile e risultato continuo su tutta l'area (secondo livello impermeabile).

2.3 CAMPO DI MOTO DELLA PRIMA FALDA

La ricostruzione del campo di moto della prima falda è stata eseguita utilizzando tutti i piezometri della rete di monitoraggio esistente.

Come aggiornamento delle conoscenze sul sito, sono state eseguite due campagne piezometriche su tutto lo stabilimento Petrolchimico, in data 18/12/2003 e successivamente durante il mese di ottobre 2004.

Per la predisposizione del modello matematico, è stata utilizzata la campagna del dicembre 2003, in quanto eseguita in condizioni statiche, al contrario della campagna dell'ottobre 2004 in cui la piezometria è disturbata dagli interventi di messa in sicurezza d'emergenza attivati nel frattempo.

In Figura 2.2 è schematizzato il campo di moto con i principali vettori di flusso e gli spartiacque sotterranei.

Dalla ricostruzione è confermata la presenza di una forte zona di depressione piezometrica in corrispondenza dell'area PSS, con linee di flusso convergenti verso questa zona di drenaggio. Le recenti attività di studio eseguite in area PSS hanno permesso di associare tale azione di drenaggio alla presenza di due strutture antropiche (vasche di servizio API e ATI). Le vasche API e ATI si approfondiscono nel sottosuolo per alcuni metri, in un caso (vasca ATI) fino ad oltrepassare il primo aquitard di separazione idraulica.

Le ricostruzioni delle superfici piezometriche della prima falda permettono in maniera piuttosto chiara di assegnare, soprattutto alla vasca ATI, un importante ruolo di richiamo delle acque sotterranee.

L'azione di richiamo e drenaggio delle acque è determinata dalla presenza di fori lungo le pareti della vasca, realizzati, durante la costruzione della vasca, per annullare la spinta idrostatica.

Come evidenziato dalla ricostruzione piezometrica, l'azione di drenaggio interessa nella loro totalità le aree PSS, CR4, AC-SE e in parte le zone AC-NO, PSO-BL e AS.

Il completamento dell'opera del MAV lungo la sponda nord del Canale Industriale Sud ha ulteriormente accentuato l'azione del drenaggio. L'azione combinata di chiusura perimetrale e di drenaggio delle acque di falda ha annullato l'eventuale uscita di acque sotterranee verso la laguna in questo settore di stabilimento.

La piezometria riportata in Figura 2.2 evidenzia inoltre l'esistenza di alcuni alti piezometrici in grado di determinare un flusso di falda, seppur di ridotta entità, diretto verso l'esterno dello Stabilimento. Tale condizione risulta essere legata a tre aree: l'Isola 46, l'Isola 33 e alla porzione del Vecchio Petrolchimico costeggiato esternamente dal canale Lusore – Brentelle. Mentre in quest'ultimo caso l'acqua di falda in uscita entra direttamente nel canale Lusore –

Brentelle, e quindi in Laguna, negli altri due casi la piezometria indica che le acque deviano immediatamente verso sud, costeggiando il confine dello stabilimento e raggiungendo quindi la laguna in corrispondenza della testa del Canale Industriale Sud (Figura 8.8). Le evidenze disponibili dimostrano altresì che la presenza di alti piezometrici non comporta alcun andamento centrifugo della falda, ma determina al più, una minima deviazione locale rispetto alla direzione di flusso regionale della stessa che prende il sopravvento per effetto dell'azione di richiamo dei canali che di fatto drenano l'acqua derivante dall'alto piezometrico.



Figura 2.2 – Campo di moto della prima falda – piezometria del dicembre 2003.

3 - SCELTA DEL CODICE DI CALCOLO

FEFLOW (Finite Element FLOW) è un codice di calcolo ad elementi finiti per la simulazione a due o tre dimensioni del flusso e del trasporto di massa e/o calore in sistemi di acque sotterranee.

Il codice è stato realizzato dalla società WASY GmbH di Berlino. La versione utilizzata nel presente lavoro è la 5.108, sviluppata a fine 2004.

Le simulazioni possono essere eseguite in condizioni di solo flusso (stazionario o transitorio), flusso stazionario e trasporto in condizioni transitorie oppure flusso e trasporto entrambi in condizioni transitorie. L'output del codice è costituito dai carichi idraulici o dalle pressioni, dai vettori di velocità e dalle concentrazioni di massa in ogni punto del dominio di modellazione.

La scelta del codice è legata a due fattori principali. È stato scelto un codice agli elementi finiti perché, rispetto a quelli alle differenze finite, consente una maggiore libertà nella discretizzazione dell'area di studio: data la conformazione irregolare dello stabilimento e la necessità di infittire la maglia in molte zone differenti, realizzare una maglia alle differenze finite avrebbe comportato la realizzazione di un gran numero di celle, sicuramente superiore, data la discretizzazione richiesta dal problema, rispetto al numero di celle realizzate nelle presenti simulazioni.

Il secondo motivo è costituito dalla necessità di costruire uno strumento modellistico in grado di poter essere applicato, in futuro, alla simulazione delle condizioni di deflusso in presenza di acque salate, quali quelle dei canali lagunari e quelle rilevate in alcune porzioni del sottosuolo del Nuovo Petrolchimico. E' infatti noto che la presenza di una interfaccia acqua dolce – acqua salata all'interno dell'acquifero è in grado di modificare in misura sensibile le condizioni di deflusso delle acque di falda. In presenza di acqua salata si creano nell'acquifero delle condizioni di deflusso talvolta molto complesse, dovute alla differenza di densità dei due liquidi. Nelle situazioni più semplici, le condizioni possono essere schematizzate con una diminuzione della porzione dell'acquifero in cui scorre l'acqua dolce, a causa dell'effetto, simile ad un ostacolo fisico, creato dalla presenza dell'acqua salata, la quale tende, a causa della maggiore densità, ad occupare la porzione inferiore dell'acquifero.

Allo stato attuale, le simulazioni oggetto del presente documento non tengono conto della presenza di acqua salata. Riprodurre le condizioni di deflusso densità – dipendenti richiede infatti una grande cautela: la complessità con cui il fenomeno si può presentare impone di spendere molto tempo nella validazione dei risultati, tramite misure eseguite in campo, al fine

di garantire la bontà di simulazioni per la predizione di scenari futuri. Per tali ragioni e in considerazione del fatto che la salinità delle acque di falda presenti nel sottosuolo del Nuovo Petrolchimico è spesso paragonabile a quella dei canali lagunari, si è scelto di eseguire le prime simulazioni trascurando questi fenomeni, che verranno presi in considerazione nelle simulazioni future. Inoltre la scelta di simulare il deflusso della falda senza la dipendenza dalla densità, ovvero senza considerare l'azione di barriera parziale esercitata dal cuneo salino, costituisce, sovrastimando le portate di deflusso, una valutazione cautelativa e a favore di sicurezza per l'ambiente lagunare.

Tuttavia si è preferito procedere ad impostare un modello che potesse costituire una base comune per le simulazioni di flusso di acque dolci e, in futuro, per condizioni di flusso densità dipendenti.

4 - DELIMITAZIONE DEL DOMINIO E DELLA MESH

L'area scelta come dominio per il modello di flusso relativo al Petrolchimico di Porto Marghera si estende per circa 24.7 chilometri quadrati: essa è molto più estesa dell'area occupata al Petrolchimico, in quanto è stata considerata un'ampia porzione di territorio che si estende in direzione Nord-Ovest per circa quattro chilometri. Tale distanza è stata considerata idonea a far sì che l'attribuzione delle condizioni al contorno ai limiti non interferisse con le simulazioni e le sollecitazioni interne al sito di studio. La direzione in cui allargare il dominio di studio è stata scelta in modo da assecondare la direzione di deflusso della falda, indicata dalla piezometria regionale (Figura 7.1). In tal modo è risultato più semplice attribuire le condizioni ai confini, come descritto nel capitolo 7.

Parte del lato meridionale del dominio è stato adattato all'andamento del canale Brenta, in modo da drenare parte delle acque di falda che giungono da monte e che, in assenza del canale, vengono convogliate all'estremità ovest del Canale Industriale Sud.

In Figura 4.1 è mostrato il dominio sul quale è stato costruito il modello di flusso.

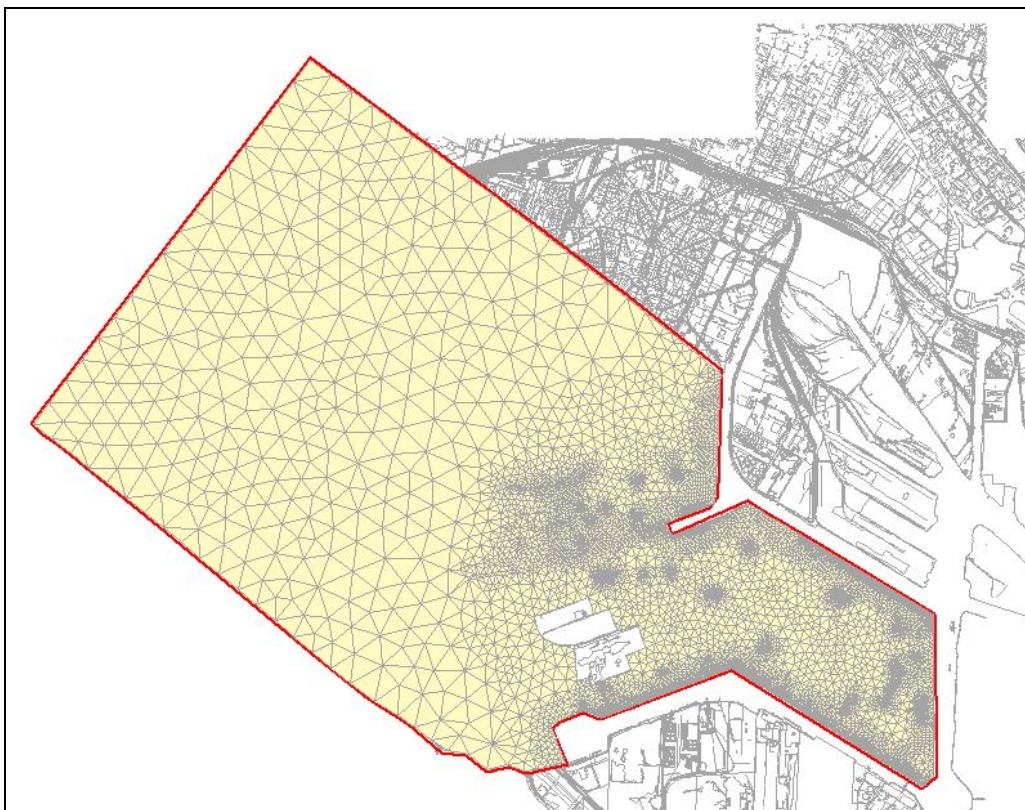


Figura 4.1 – Dominio del modello di flusso.

4.1 DISCRETIZZAZIONE ORIZZONTALE

L'area interessata dalla modellazione è stata suddivisa in tre *superelements* (gli elementi che delimitano la griglia) all'interno dei quali l'attribuzione della densità degli elementi è avvenuta in funzione del dettaglio richiesto. Nell'area esterna la dimensione dei lati degli elementi è mediamente di 200-250 metri (Figura 4.2), nell'area interna allo stabilimento varia da 50 a 80 metri; tra queste due aree è stata inserita una zona (di spessore di circa 150 metri) a densità intermedia in modo da rendere graduale la diminuzione di densità degli elementi.

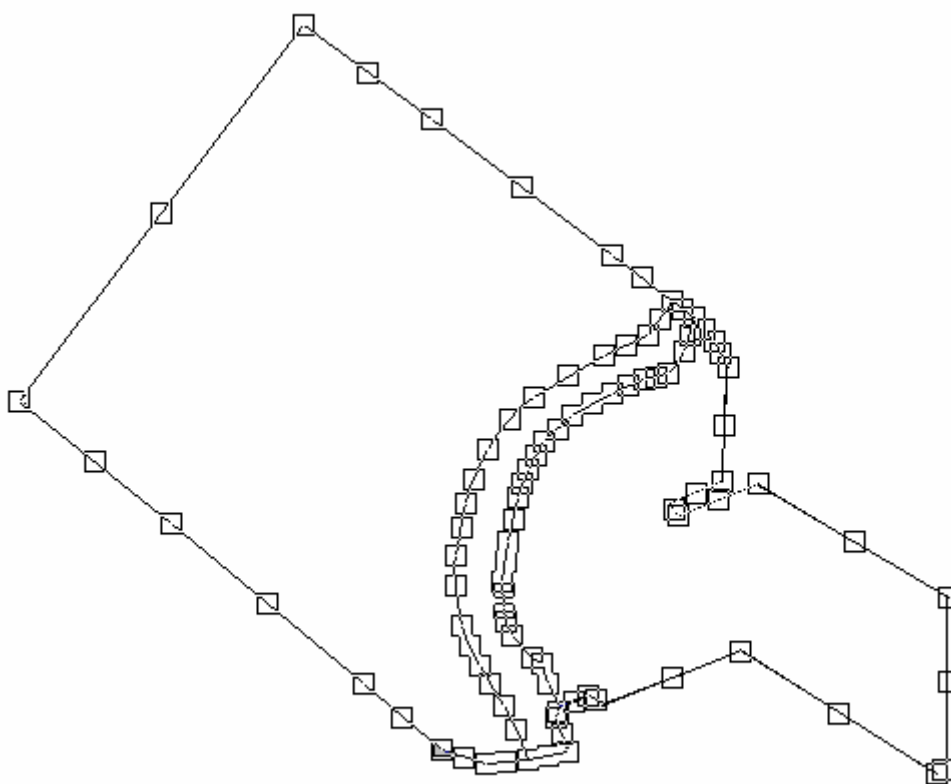


Figura 4.2 – Individuazione dei tre *superelements* che caratterizzano la discretizzazione orizzontale del modello.

Successivamente si è provveduto a raffittire la mesh nelle aree dello stabilimento in cui è richiesto un maggior dettaglio (dreni, palancole, canali).

In prossimità dei dreni e dei pozzi, il raffittimento delle celle ha raggiunto i 5 – 10 metri. Per la palancole la dimensione scelta per le celle è di circa 10 metri, per un'area comprendente i primi 320 metri a partire dalla costa. Per quanto riguarda il bordo esterno dello stabilimento lungo

mare, le celle sono state raffittite fino a dimensioni di circa 40 metri per una fascia di circa 200 metri a partire dalla costa.

Anche per la rappresentazione dei canali si è operato un raffittimento delle celle fino a dimensioni lineari di circa 30-40 metri.

Successivamente alle operazioni di raffittimento della mesh, è stata operata una correzione geometrica funzionale alla riduzione di situazioni anomale di violazione del criterio di Delaunay, con potenziali rischi di ridotta efficienza del processo di convergenza.

4.2 DISCRETIZZAZIONE VERTICALE

Sulla base del modello concettuale ricostruito, precedentemente esposto, si è deciso di strutturare il modello di flusso del Petrolchimico sulla base di quattro layer (gli strati del modello).

Il primo layer rappresenta lo strato di terreno di riporto che caratterizza la parte più superficiale del sottosuolo dello stabilimento.

Il secondo layer è rappresentativo del sottostante strato di caranto, che suddivide la parte sommatatale del sistema idrico dal primo acquifero.

Infine il terzo e quarto layer rappresentano il primo acquifero, e sono perciò dotati delle stesse proprietà idrauliche. L'ultimo layer, posizionato a circa un metro dal fondo del modello, con spessore di un metro, è stato utilizzato esclusivamente con finalità di carattere operativo, in quanto consente l'inserimento delle condizioni al contorno che rappresentano i dreni orizzontali in modo ottimale, ossia consono a quella che è la reale posizione e struttura dei dreni stessi.

In Figura 4.3 viene mostrata una visualizzazione in 3D del dominio di studio, che consente di visualizzare la suddivisione in quattro layer dello stesso.

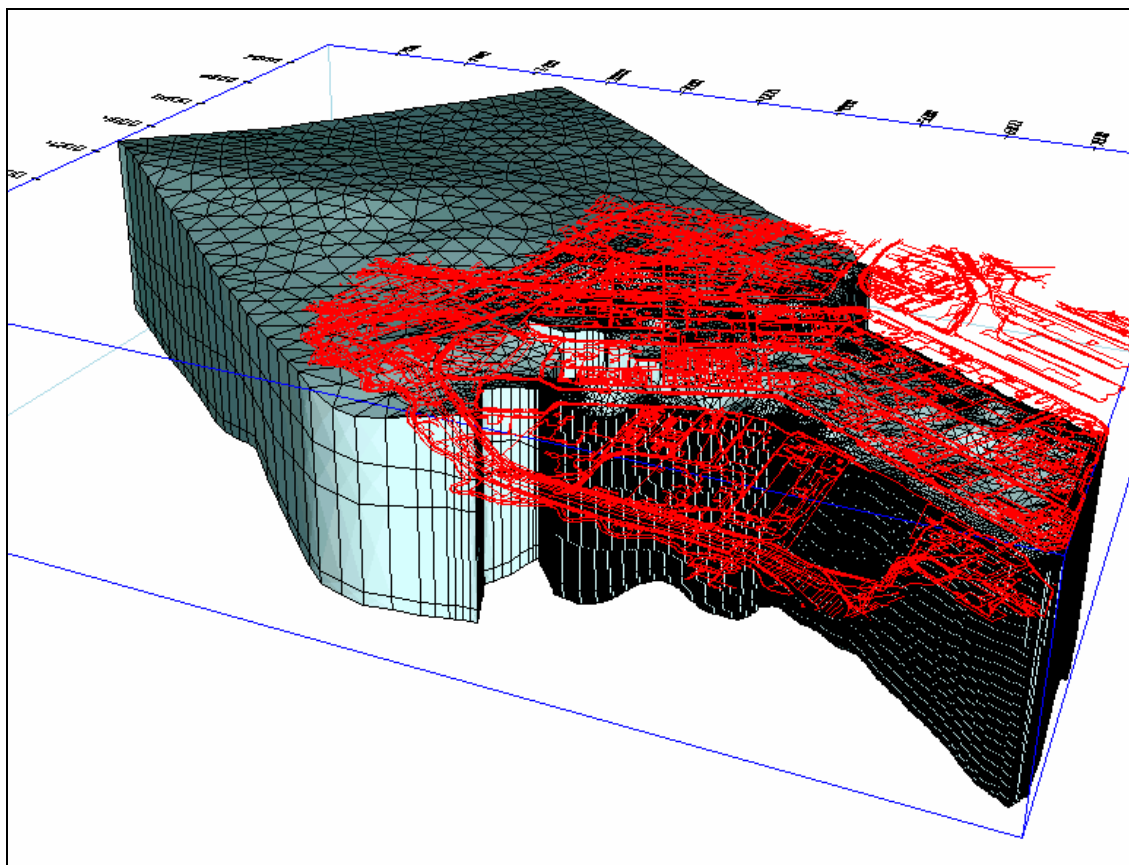


Figura 4.3 – Vista tridimensionale del modello – scala verticale 100:1.

5 - GEOMETRIA DEL SISTEMA

Per la definizione delle basi dei layer sono state utilizzate procedure di calcolo statistico automatizzato, poiché per raggiungere un buon grado di attendibilità nel modello tridimensionale del sottosuolo, soprattutto ai fini dell'implementazione di un modello di flusso, non ci si può basare sulla semplice combinazione tridimensionale di sezioni idrogeologiche.

L'impiego di metodi deterministici, infatti, pur consentendo d'individuare degli andamenti regionali tramite l'utilizzo di superfici algebriche o trigonometriche, non permette una verifica del grado di attendibilità delle correlazioni effettuate, risultando impossibile la valutazione dell'errore di stima commesso. L'applicazione di metodi statistici consente di superare tale limite, fornendo un ottimo strumento per l'interpolazione di dati spazialmente distribuiti in modo disuniforme, quali sono tipicamente i dati di natura idrogeologica.

La simulazione stocastica prevede la creazione di modelli equiprobabili della distribuzione spaziale delle variabili considerate: per ciò che concerne la ricostruzione di corpi idrogeologici, essa consente di determinare la variabilità a grande scala e di definire quella a piccola scala, al fine di ricostruire al meglio le anisotropie verticali e orizzontali.

Dal punto di vista operativo, la ricostruzione delle variabili idrogeologiche si ottiene mediante la ricostruzione del variogramma sperimentale, l'analisi strutturale del modello di variogramma e l'applicazione di metodi d'interpolazione (quali, ad esempio, il kriging).

I principali fattori che influenzano l'efficienza della stima così effettuata sono: il numero di osservazioni, la qualità dei dati, il livello di dispersione presentato dalla variabile spaziale, la distanza tra i punti campionati all'interno del dominio.

Per la ricostruzione del modello concettuale relativo al sottosuolo dello stabilimento di Porto Marghera, è stata presa in considerazione, in prima istanza, la struttura idrogeologica dell'area, in relazione all'andamento delle superfici rappresentative dei livelli acquiferi d'interesse applicativo. I parametri idrogeologici sono stati rilevati in modo sperimentale attraverso indagini dirette inserite in un idoneo piano di campionamento, che ha portato a una conoscenza puntuale in corrispondenza dei punti di misura.

A tale proposito va osservato che le informazioni derivanti da tali indagini dirette risultano affette da un errore di stima, dovuto al fatto che la quota di riferimento della maggior parte dei sondaggi è quella della bocca del tubo, e non quella effettiva del piano campagna a cui sono

riferite le stratigrafie dei sondaggi: si è preferito utilizzare comunque questi dati, in quanto i sondaggi caratterizzati da quota nota costituiscono una popolazione troppo esigua. Considerato il contesto in esame, l'errore massimo relativo alla quota di riferimento può essere stimato in circa 1-1.5 metri, poiché il sondaggio può essere fuori terra, tombinato, oppure all'interno di bacini di contenimento: ciò comporta l'impossibilità di ricostruire l'andamento delle basi con una precisione maggiore al metro.

Per l'interpolazione delle diverse superfici si sono considerati in totale 917 dati, distribuiti nel modo seguente:

- 473 per la base del riporto,
- 270 per la base del primo livello argilloso,
- 174 per la base del primo acquifero.

A questi vanno aggiunti 508 punti utilizzati per la ricostruzione della superficie topografica.

La distribuzione spaziale di tali informazioni è riportata in Figura 5.1.



Figura 5.1 – Distribuzione spaziale dei sondaggi presi in considerazione per la realizzazione del modello concettuale del sito di Porto Marghera.

Al fine di aumentare la numerosità del campione di dati sono state prese in considerazione delle sezioni idrogeologiche interpretative: si ritiene, infatti, che le sezioni idrogeologiche,

qualora ben ricostruite, possano costituire una fonte di dati di buona qualità, utile pertanto a migliorare la numerosità senza alterare la qualità del campione. Per contro si ha, necessariamente, una minore uniformità dell'informazione sul dominio di studio e un'alterazione della correlazione della popolazione.

In particolare si sono utilizzate sette sezioni ricostruite da Aquatec e una ricostruita da URS in area Montefibre: lungo i tracciati delle sezioni sono state campionate le quote delle superfici d'interesse idrogeologico con un passo di 25 m uniforme sull'estensione delle sezioni stesse.

La procedura di campionamento delle sezioni ha consentito di determinare la quota delle superfici d'interesse con precisione decimetrica, contenuta, quindi, entro le tolleranze di misura dei livelli all'esecuzione dei sondaggi.

L'utilizzazione delle suddette sezioni ha consentito un significativo aumento della numerosità del campione, passata a 2473 dati, distribuiti nel modo seguente:

- 992 per la base del riporto;
- 789 per la base del caranto;
- 692 per la base del primo acquifero.

In Figura 5.2 è riportato il tracciato delle sezioni idrogeologiche considerate.

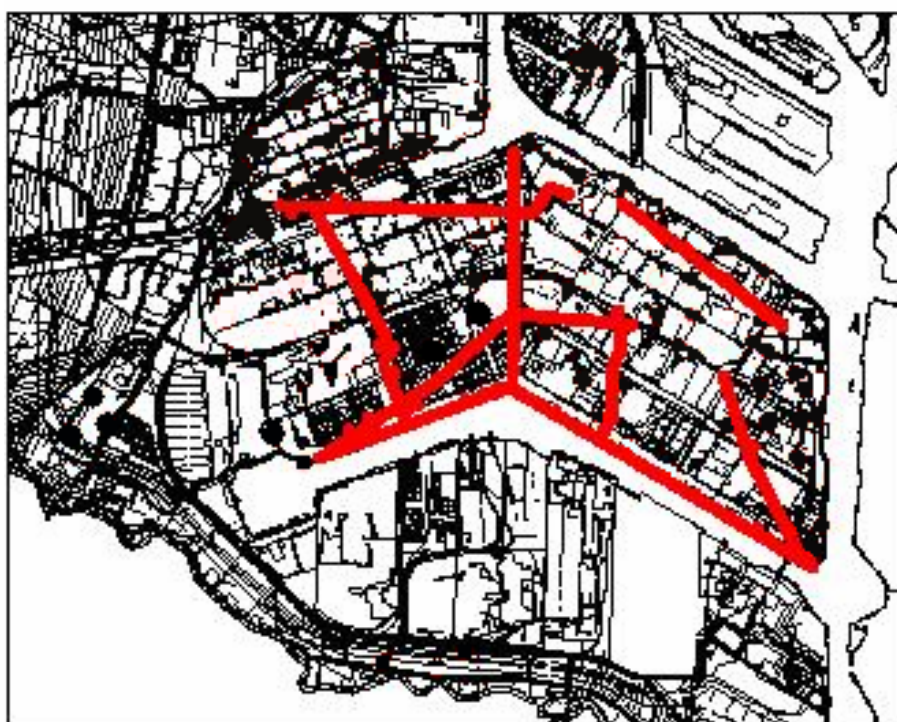


Figura 5.2 – Tracciato delle sezioni idrogeologiche utilizzate nella ricostruzione del sistema.

L'interpolazione delle basi di riporto, caranto e primo acquifero è stata preceduta, come accennato in fase d'introduzione, da una procedura geostatistica, basata sulla costruzione e sull'analisi strutturale del variogramma.

Per ognuna delle superfici d'interesse sono stati costruiti in un primo momento diversi variogrammi sperimentali, considerando due differenti set di dati (solo dati provenienti da indagini dirette o dati provenienti da indagini dirette integrati con le sezioni interpretative) e diverse direzioni lungo le quali eseguire l'interpolazione dei dati stessi.

Questi variogrammi sperimentali sono stati successivamente confrontati con dei variogrammi teorici, al fine di individuare quello che consente l'ottimizzazione dell'interpolazione.

Sulla base di considerazioni di questo tipo sono state scelte le seguenti interpolazioni per le superfici d'interesse.

Per quanto riguarda la base del primo acquifero, si ritiene che l'interpolazione migliore sia quella riportata in Figura 5.3.

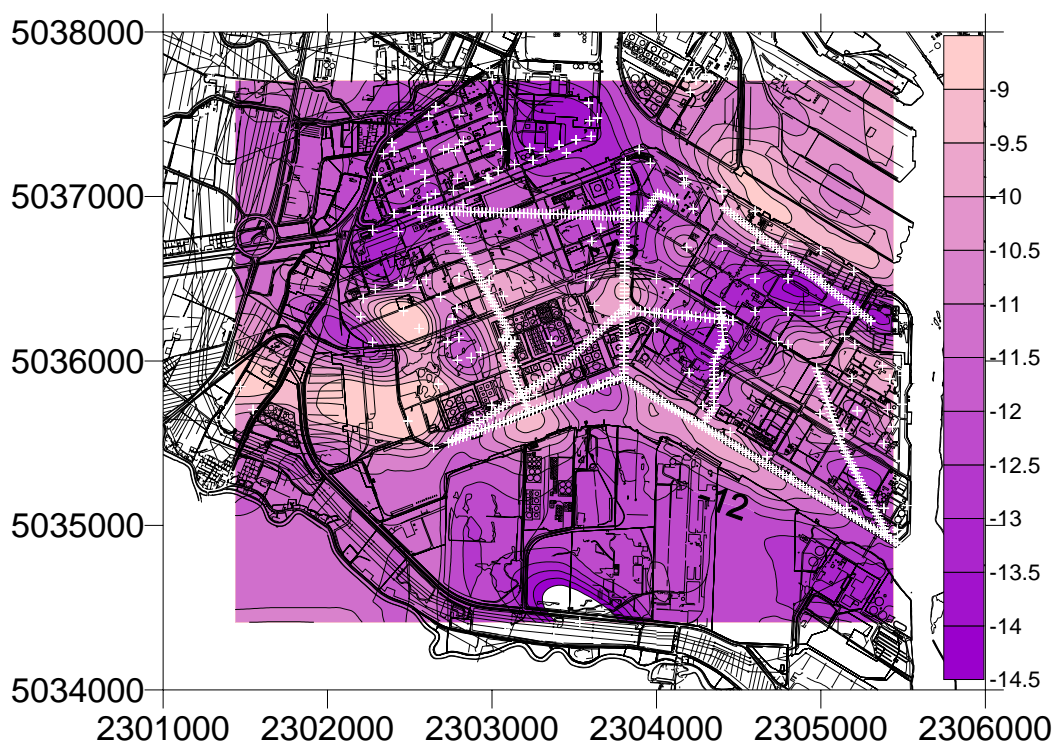


Figura 5.3 – Interpolazione della base del primo acquifero.

Il variogramma corrispondente è rappresentato in Figura 5.4: il variogramma sperimentale è stato ottenuto integrando i dati dei sondaggi con quelli derivanti dall'interpretazione delle sezioni idrogeologiche e considerando una direzione di interpolazione (lag direction) di 45°;

per il variogramma teorico si è scelto un modello di tipo sferico, derivato considerando solo i dati diretti dei sondaggi.

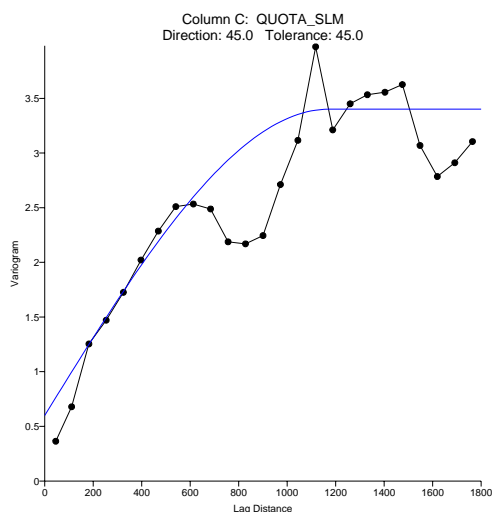


Figura 5.4 – Variogramma scelto per il primo acquifero. In blu è riportato il variogramma teorico, in nero quello sperimentale.

Tale scelta è stata effettuata in modo da non vincolare la superficie che si sta interpolando a passare esattamente per la quota di punti provenienti dalle sezioni geologiche che non sono il risultato di misure dirette di campo, ma di un'interpretazione da parte del geologo in fase di tracciamento della sezione stessa. Inoltre considerare i punti delle sezioni per il variogramma teorico avrebbe portato degli scompensi durante l'interpolazione, in quanto si sarebbe attribuito un crisma di precisione a punti molto vicini, situati in aree molto localizzate: non ci sarebbe, cioè, stata omogeneità nel peso che le diverse osservazioni avrebbero assunto nell'interpolazione.

Infine va notato che la quota dei livelli interpolati è strettamente vincolata a quella del piano campagna, che, come precedentemente evidenziato, è stata a sua volta desunta dalle quote bocca pozzo: è sembrato pertanto più corretto lasciare alla superficie una piccola libertà di movimento in fase di interpolazione, in modo che essa si possa adattare al meglio ai dati a disposizione: si può spiegare in questo modo il fatto che il modello di variogramma prescelto contenga comunque un errore (nugget).

Secondo gli stessi criteri sono state scelte le interpolazioni relative alla base del caranto e a quella del riporto, illustrate nelle seguenti figure.

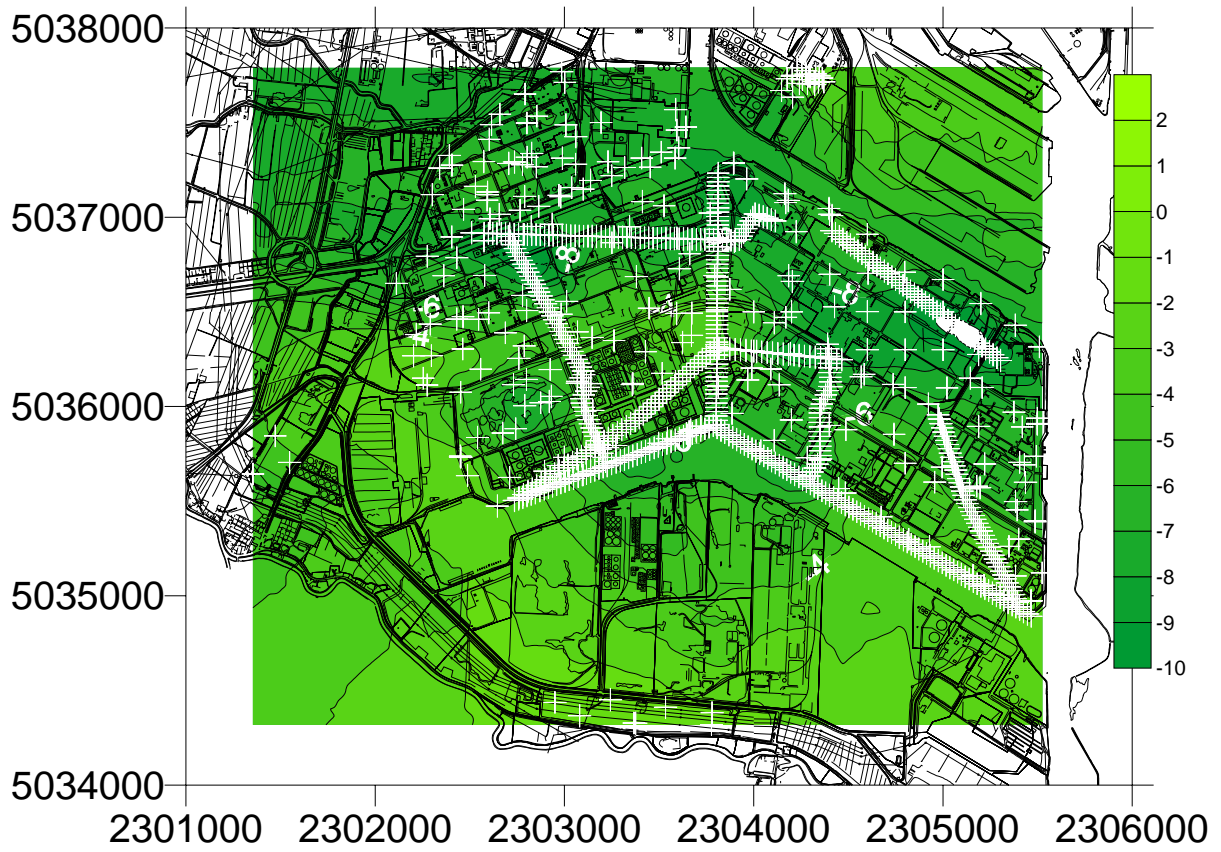


Figura 5.5 – Interpolazione della base del caranto.

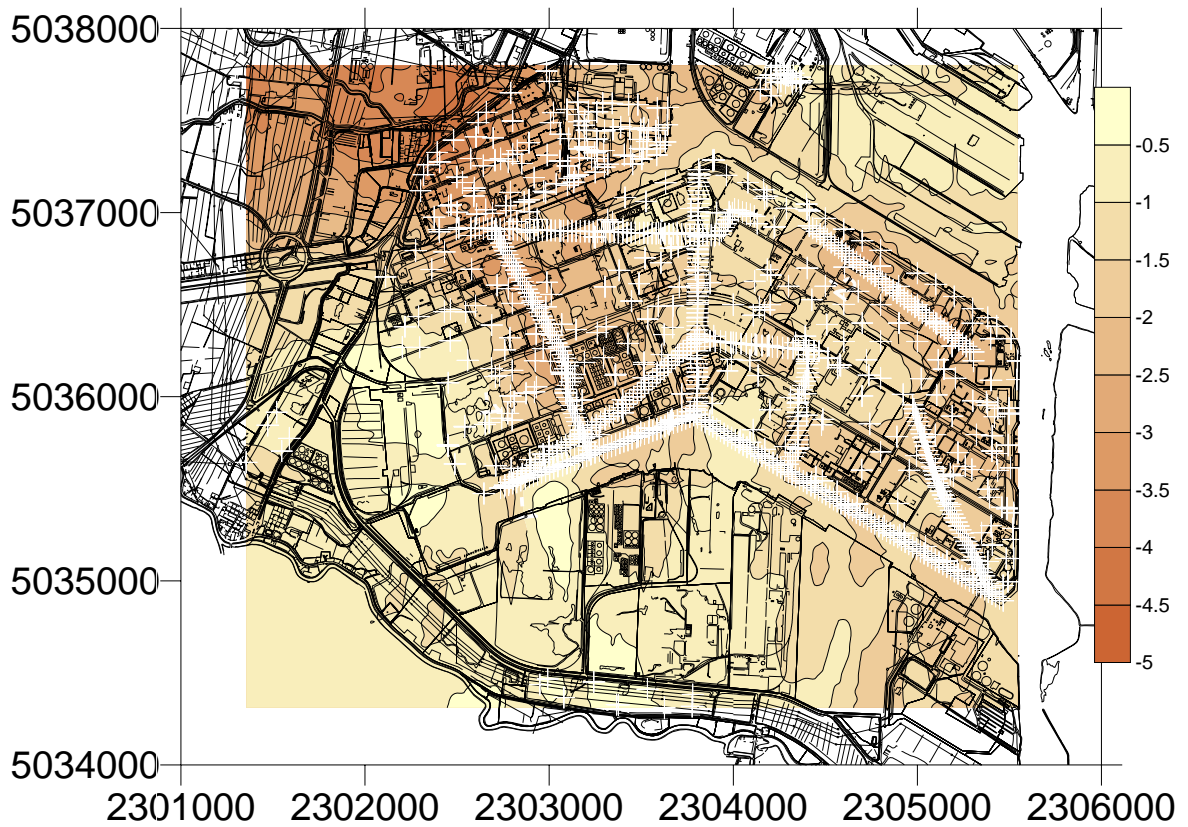


Figura 5.6 – Interpolazione della base del riporto.

Analogamente al caso del primo acquifero, l'interpolazione per la basi del riporto e del caranto (Figure 5.6 e 5.5, rispettivamente) fanno riferimento a variogrammi sperimentali ricavati considerando dati diretti dei sondaggi e direzione di campionamento di 45°; i variogrammi teorici sono invece lineari, ottenuti considerando solo dati diretti dei sondaggi (Figura 5.7).

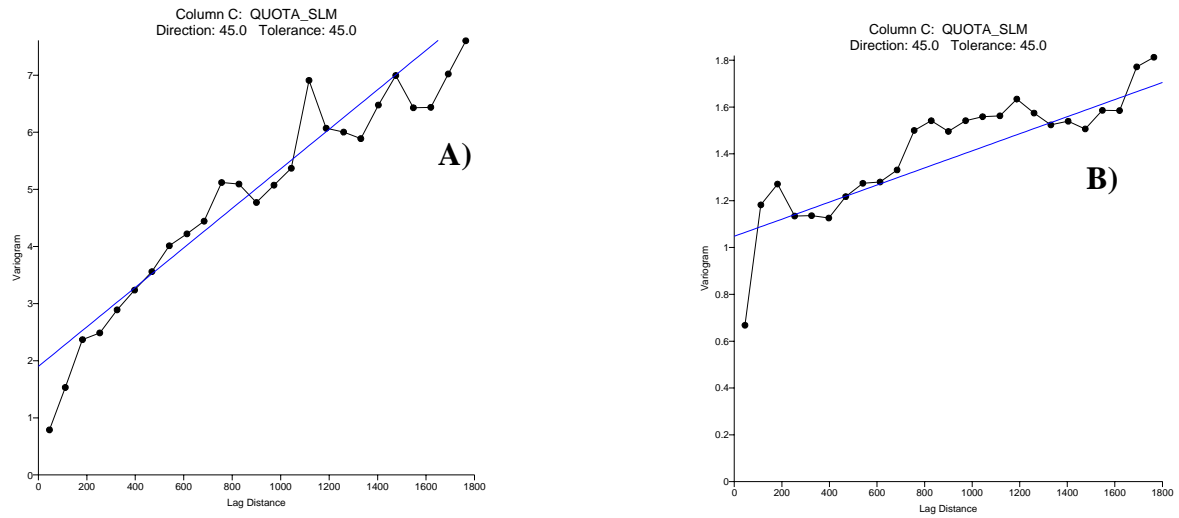


Figura 5.7 – Variogrammi scelti per il caranto (A) e per il riporto (B).

6 - DEFINIZIONE DELLE PROPRIETA' IDRAULICHE

6.1 DATI DISPONIBILI

La ricostruzione dei valori di permeabilità dei materiali che costituiscono le unità idrogeologiche è stata effettuata mediante la raccolta e l'elaborazione di tutti i dati acquisiti tra il 1989 e il 2004, che comprendono:

- dati relativi alla trasmissività del primo acquifero e del riporto ottenuti da test idraulici;
- dati relativi alla permeabilità dei terreni ottenuti da prove in sito (prove Lefranc) e in laboratorio.

Dai valori di trasmissività è stato possibile ricavare la permeabilità solo nei piezometri di cui si dispone della stratigrafia e in cui si è potuto determinare con precisione lo spessore dell'acquifero.

Successivamente si è proceduto all'analisi statistica dei dati e alla stima della permeabilità, nelle localizzazioni non campionate, attraverso il metodo di interpolazione stocastica (kriging).

In totale i dati a disposizione comprendono:

- 230 prove di permeabilità in sito e in laboratorio;
- 90 test idraulici.

Nella scelta dei dati da utilizzare, è stata data la priorità a quelli ottenuti dalle test idraulici, in particolare alle prove realizzate con piezometro di osservazione e ai test di risalita, che risentono in minor misura delle perdite di carico.

Le prove Lefranc e le prove di laboratorio sono state in genere eseguite su livelli fini individuati durante la terebrazione, per cui sono state ritenute poco rappresentative delle distribuzioni di permeabilità proprie del livello acquifero; in particolare, si è preferito non utilizzare questi dati nelle interpolazioni, ma tenerne conto nella fase di calibrazione del modello.

Di seguito si riportano i dettagli del numero e del tipo di dati utilizzati per ciascuna unità idrogeologica.

6.1.1 Ripporto

Sono disponibili i dati di trasmissività relativi a test idraulici effettuati su 13 piezometri, per 5 di questi è stata recuperata la stratigrafia ed è stato quindi possibile calcolare la permeabilità dopo aver determinato lo spessore dell'acquifero. I restanti 8 test sono state utilizzati in misura solamente qualitativa nella successiva fase di taratura del modello matematico.

Dato l'esiguo numero di dati disponibili, i valori dai test idraulici sono stati integrati con 11 prove di permeabilità tipo Lefranc.

In totale i dati utilizzabili per la determinazione della permeabilità in questo intervallo sono 16 (Tabella 6.1).

Sigla	Tipo di Prova	Dettagli prova	K (m/s)	Data
N_10131	Test idraulico		2.44E-06	17/03/2000
N_2967	Test idraulico		6.49E-06	17/03/2000
N_3823	Test idraulico		2.12E-07	17/03/2000
N_2681	Test idraulico	Risalita	1.11E-05	10/08/2001
N_3685	Test idraulico	Risalita	1.32E-05	09/08/2001
M2004	Prova Lefranc		5.66E-08	01/04/1996
M0086	Prova Lefranc		2.60E-05	01/12/1996
N_3111	Prova Lefranc	Carico variabile	2.88E-08	15/01/2000
N_3389	Prova Lefranc	Carico variabile	4.85E-07	15/02/2000
N_3466	Prova Lefranc	Carico variabile	2.30E-07	15/02/2000
N_3667	Prova Lefranc	Carico variabile	2.37E-06	15/02/2000
N_3823	Prova Lefranc	Carico variabile	2.28E-08	15/03/2000
VP_P2	Prova Lefranc		1.27E-07	27/09/2001
VP_P6	Prova Lefranc		5.98E-10	25/09/2001
VP_P10	Prova Lefranc		1.17E-08	17/09/2001
VP_P14	Prova Lefranc		1.21E-06	13/09/2001

Tabella 6.1 – Valori di permeabilità relativi al riporto.

6.1.2 Livello impermeabile superiore (caranto)

Sono stati utilizzati 63 dati (Tabella 6.2), 41 ottenuti da prove in laboratorio e 22 da prove in sito tipo Lefranc.

Nei sondaggi in cui sono state effettuate, nello stesso intervallo, sia la prova in sito che quella in laboratorio si è scelto di utilizzare cautelativamente il valore di permeabilità risultante dalla prova in sito, in terreni poco permeabili è infatti nota la tendenza delle prove Lefranc a sovrastimare la permeabilità mentre le prove in laboratorio tendono a sottostimarla.

Sigla	Tipo di prova	K (m/s)	Data
G_SA_1	Prova Lefranc	7,53E-08	01/09/1997
G_SA_2	Prova Lefranc	5,40E-07	01/10/1997
G_SA_3	Prova Lefranc	1,08E-09	01/10/1997
GV_SM2bis	Prova k in laboratorio	1,39E-09	01/02/1997
I_S_1	Prova Lefranc	1,05E-09	01/04/1996
I_S_10	Prova Lefranc	5,00E-08	01/04/1996
I_S_11	Prova Lefranc	4,23E-08	01/04/1996
M0018	Prova k in laboratorio	6,45E-08	01/05/1995
M0019	Prova k in laboratorio	6,81E-08	01/05/1995
M0021	Prova k in laboratorio	3,90E-08	01/05/1995
M0022	Prova k in laboratorio	4,86E-08	01/05/1995
M0023	Prova k in laboratorio	4,69E-08	01/04/1995
M0025	Prova k in laboratorio	3,82E-08	01/05/1995
M0026	Prova k in laboratorio	5,54E-08	01/04/1995
M0028	Prova k in laboratorio	5,09E-08	01/04/1995
M0029	Prova k in laboratorio	3,59E-08	01/04/1995
M0033	Prova k in laboratorio	2,72E-08	01/04/1995
M0034	Prova k in laboratorio	4,18E-08	01/04/1995
M0036	Prova k in laboratorio	1,09E-07	01/04/1995
M0037	Prova k in laboratorio	7,25E-08	01/05/1995
M0041	Prova k in laboratorio	9,42E-08	01/04/1995
M0042	Prova k in laboratorio	4,46E-08	01/05/1995
M0043	Prova k in laboratorio	8,35E-08	01/05/1995
M0044	Prova k in laboratorio	4,34E-08	01/05/1995
M0045	Prova k in laboratorio	2,57E-08	01/05/1995
M0046	Prova k in laboratorio	5,32E-08	01/05/1995
M0047	Prova k in laboratorio	2,30E-08	01/05/1995
M0049	Prova k in laboratorio	2,25E-08	01/05/1995
M0051	Prova k in laboratorio	2,46E-08	01/05/1995
M0052	Prova k in laboratorio	2,75E-08	01/05/1995
M0054	Prova k in laboratorio	2,34E-08	01/05/1995
M0056	Prova k in laboratorio	1,35E-07	01/05/1995
M0057	Prova k in laboratorio	1,86E-07	01/05/1995
M0060	Prova k in laboratorio	5,58E-08	01/05/1995
M0065	Prova k in laboratorio	1,23E-07	01/05/1995
M0066	Prova k in laboratorio	9,22E-08	01/05/1995
M0071	Prova k in laboratorio	8,25E-08	01/05/1995
M0076	Prova k in laboratorio	6,41E-08	01/05/1995
M2001	Prova Lefranc	2,58E-07	01/04/1996
M2002	Prova Lefranc	1,73E-08	01/04/1996
M2005	Prova Lefranc	2,02E-08	01/04/1996
M2006	Prova Lefranc	4,96E-07	01/04/1996
M2008	Prova Lefranc	1,28E-07	01/04/1996
M30A4	Prova Lefranc	5,77E-09	01/06/1991
N_10007	Prova Lefranc	1,64E-07	02/08/2001
N_2474	Prova Lefranc	2,75E-07	31/07/2001
N_2610	Prova Lefranc	6,44E-08	19/06/2001
N_2612	Prova Lefranc	1,44E-07	21/06/2001
N_2686	Prova k in laboratorio	2,96E-08	11/08/2000
N_2754	Prova Lefranc	1,16E-06	24/07/2001
N_2835	Prova Lefranc	3,28E-08	15/01/2000
N_2898	Prova Lefranc	3,65E-07	15/01/2000
N_2963	Prova k in laboratorio	9,40E-10	
N_3028	Prova Lefranc	2,80E-08	18/07/2001
N_3032	Prova Lefranc	2,06E-07	15/01/2000
N_3687	Prova k in laboratorio	2,80E-09	09/11/2001
N_3756	Prova k in laboratorio	1,40E-09	09/11/2001
N_3758	Prova Lefranc	1,87E-08	13/06/2001
VP_P12	Prova k in laboratorio	1,31E-09	19/12/2001
VP_P14	Prova k in laboratorio	2,04E-09	19/12/2001
VP_P16	Prova k in laboratorio	9,77E-10	19/12/2001
VP_P4	Prova k in laboratorio	4,10E-08	19/12/2001
VP_P8	Prova k in laboratorio	2,58E-09	19/12/2001

Tabella 6.2 – Valori di permeabilità relativi al caranto.

6.1.3 Primo acquifero

Per la ricostruzione della distribuzione delle permeabilità, sono state utilizzati tutti i test idraulici disponibili (40 in totale); nel caso sia stata effettuata, nello stesso piezometro, sia la prova in discesa che in risalita, misurando le variazioni di carico nel piezometro stesso, è stato dato peso maggiore al valore ottenuto dalla prova di risalita, ritenuto più affidabile per l'assenza di perdite di carico. I dati ricavati dai test idraulici, non essendo uniformemente distribuiti sull'area dello stabilimento, sono stati integrati con 10 prove in sito tipo Lefranc e 4 prove di tracciamento (eseguite con metodologia del "single well", utilizzando iodio-131 come tracciante).

Si è cercato di limitare l'utilizzo di dati ottenuti da prove Lefranc in quanto meno affidabili dei test idraulici per i motivi espressi nei precedenti paragrafi. La scelta dei test da utilizzare per l'integrazione è avvenuta tra un totale di 62 test; sono stati scartati quelli eseguiti in livelli a granulometria fine mentre sono stati presi in considerazione quelli effettuati in materiali rappresentativi dell'acquifero (sabbie e sabbie limose).

Sigla	Tipo di prova	Dettagli prova	K (m/s)	Data
AUS_PsD3	Test idraulico	Risalita	1,19E-04	22/06/2000
M0033	Test idraulico	Non specificato	1,08E-06	16/05/2000
M0040	Test idraulico	Risalita	4,60E-06	23/10/1997
M0043	Test idraulico	Risalita	1,39E-06	24/10/1997
M0055	Test idraulico	Risalita	1,98E-04	23/10/1997
M0060	Test idraulico	Risalita	1,92E-06	22/10/1997
M0066	Test idraulico	Risalita	8,39E-06	22/10/1997
M0071	Test idraulico	Discesa Piezometro Osservaz	3,70E-05	24/07/2002
M0088	Test idraulico	Risalita	3,00E-06	24/10/1997
M0102	Test idraulico	Discesa	6,44E-06	03/10/1997
M0106	Test idraulico	Risalita	2,15E-04	15/10/1997
M0110	Test idraulico	Risalita	2,02E-05	17/10/1997
M0112	Test idraulico	Risalita	1,62E-03	16/10/1997
M0116	Test idraulico	Discesa	1,12E-05	22/10/1997
M30A2	Test idraulico	Non specificato	1,17E-06	25/06/1994
M30A5	Test idraulico	Non specificato	3,63E-05	15/06/1995
N_2614	Test idraulico	Risalita	8,37E-05	08/08/2001
N_2748	Test idraulico	Risalita	4,83E-06	08/08/2001
N_2752	Test idraulico	Discesa Piezometro Osservaz	1,10E-04	24/07/2002
N_2834	Test idraulico	Non specificato	1,27E-06	14/04/2000
N_2898	Test idraulico	Non specificato	2,38E-04	13/04/2000
N_3030	Test idraulico	Non specificato	1,36E-06	12/04/2000
N_3182	Test idraulico	Non specificato	1,84E-06	10/04/2000
N_3314	Test idraulico	Non specificato	1,95E-04	11/04/2000
N_3598	Test idraulico	Non specificato	1,29E-04	04/05/2000
N_3756	Test idraulico	Risalita	6,14E-05	09/08/2001
N_3874	Test idraulico	Non specificato	7,81E-06	03/05/2000
N_4176	Test idraulico	Non specificato	9,47E-05	05/05/2000
VP_EW2	Test idraulico	Discesa	1,42E-04	24/07/2002
VP_EW3	Test idraulico	Discesa	5,00E-05	24/07/2002
VP_P10	Test idraulico	Risalita	4,01E-06	30/10/2001
VP_P12	Test idraulico	Risalita	4,49E-04	31/10/2001
VP_P14	Test idraulico	Risalita	1,87E-06	05/11/2001
VP_P16	Test idraulico	Risalita	7,00E-07	06/11/2001
VP_P2	Test idraulico	Risalita	4,74E-07	22/10/2001
VP_P20	Test idraulico	Discesa Piezometro Osservaz	1,07E-04	24/07/2002
VP_P22	Test idraulico	Discesa Piezometro Osservaz	1,11E-04	24/07/2002
VP_P4	Test idraulico	Risalita	7,48E-07	24/10/2001
VP_P6	Test idraulico	Risalita	3,21E-06	25/10/2001
VP_P8	Test idraulico	Risalita	9,38E-07	29/10/2001
M0120	Prova di tracciamento	Iodio-131, single well	4,10E-04	04/03/1997
M0121	Prova di tracciamento	Iodio-131, single well	7,29E-04	05/03/1997
M0122	Prova di tracciamento	Iodio-131, single well	5,09E-04	06/03/1997
M0123	Prova di tracciamento	Iodio-131, single well	3,80E-04	07/03/1997
N_3535	Prova Lefranc		2,71E-06	15/02/2000
N_3889	Prova Lefranc		1,38E-06	15/02/2000
M0036	Prova Lefranc		3,30E-04	01/04/1995
GV_SM9	Prova Lefranc		1,25E-05	01/02/1997
GV_SM7	Prova Lefranc		1,87E-05	01/02/1997
M0088	Prova Lefranc		2,50E-05	01/12/1996
M0021	Prova Lefranc		8,80E-05	01/05/1995
M0022	Prova Lefranc		8,70E-05	01/05/1995
GV_SM2	Prova Lefranc		1,60E-05	01/02/1997
VP_P12	Prova Lefranc		8,60E-07	18/09/2001

Tabella 6.3 – Valori di permeabilità relativi al primo acquifero.

6.2 DISTRIBUZIONE DEI VALORI DI PERMEABILITÀ NELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE

6.2.1 Riporto

I valori ottenuti dai test idraulici variano tra $1 \cdot 10^{-5}$ m/s (area del Vecchio Petrolchimico e nell'area E del Nuovo Petrolchimico) e $2 \cdot 10^{-7}$ m/s; le prove Lefranc danno valori più bassi (nell'ordine di 10^{-7} - 10^{-8} m/s) ad eccezione della zona della Darsena della Rana dove confermano i valori ottenuti dai test idraulici (10^{-5} - 10^{-6} m/s).

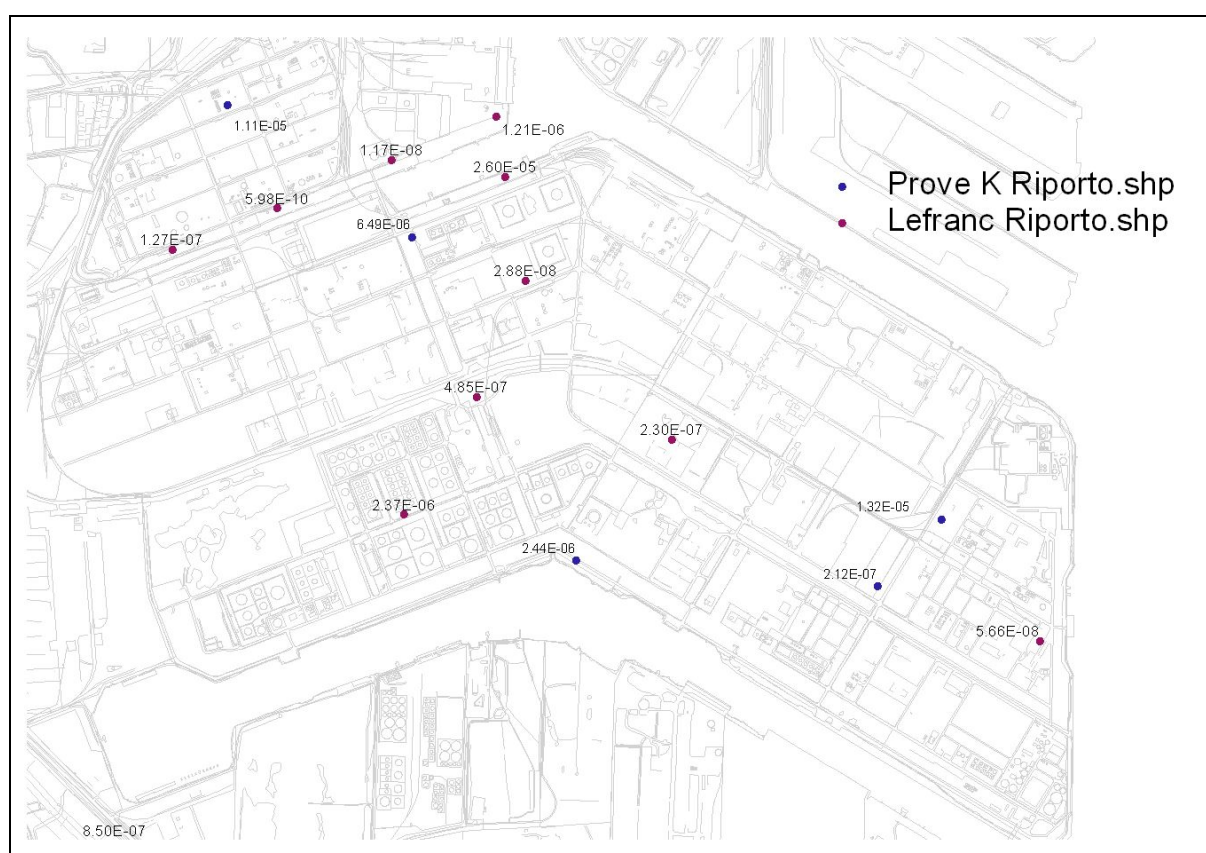


Figura 6.1 – Distribuzione dei dati di permeabilità nel riporto.

6.2.2 Livello impermeabile superiore (caranto)

La permeabilità del livello impermeabile superiore appare sostanzialmente uniforme su tutta l'area. I valori ottenuti dalle prove Lefranc sono compresi tra $1 \cdot 10^{-7}$ m/s e $5 \cdot 10^{-9}$ m/s, mentre le prove di laboratorio danno valori di uno o due ordini di grandezza inferiori; alcune stratigrafie rilevano l'assenza del livello, sostituito da materiali a granulometria più grossolana

(sondaggi M0067, I_S8, M0031). Inoltre è noto che in molte aree dello stabilimento l'infissione di pali di fondazione ha provocato l'interruzione del livello impermeabile.

Nel modello è stato attribuito al layer un valore uniforme di permeabilità di $7.5 \cdot 10^{-7}$ m/s ad eccezione delle aree in corrispondenza dei sondaggi sopracitati e dei tracciati dei principali vecchi canali lagunari che si estendevano in quest'area imbonita a partire dagli anni '30 (Figura 6.7).

In particolar modo le recenti indagini condotte da URS in area Montefibre, grazie alla elevata densità spaziale dei sondaggi, hanno confermato l'assenza del caranto in zone un tempo occupate dai canali lagunari: si ipotizza che tale fenomeno possa essere il risultato dell'azione erosiva svolta dal fluire della marea ai danni del livello impermeabile.

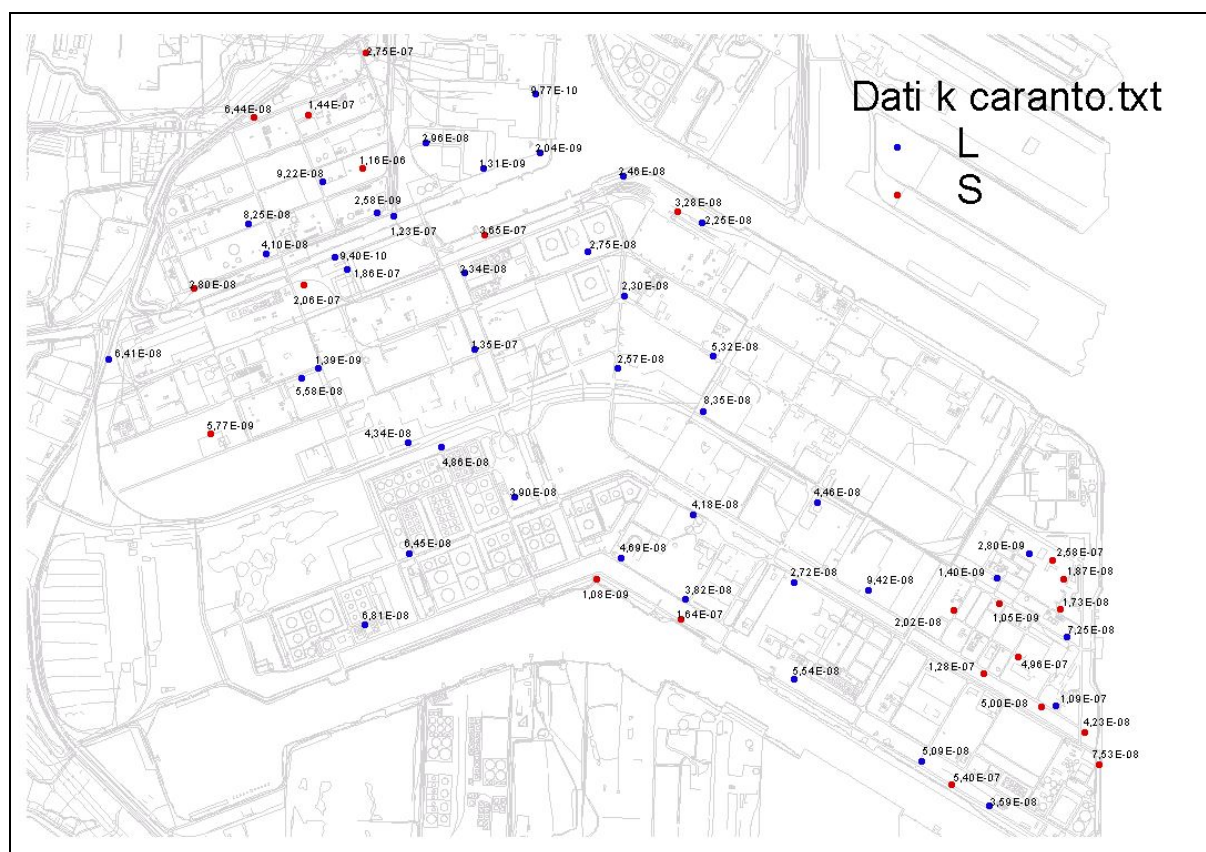


Figura 6.2 – Distribuzione dei dati di permeabilità nel caranto, prove in sito Lefranc (S) e in laboratorio (L).

6.2.3 Primo acquifero

I valori di permeabilità misurati tramite test idraulici e prove Lefranc, effettuate su livelli rappresentativi dei materiali dell'acquifero (sabbie e sabbie limose), si attestano su valori medio-bassi su tutto il sito: la media logaritmica delle permeabilità derivanti da prove Lefranc,

infatti, risulta essere pari a $4.8 \cdot 10^{-6}$ m/s, mentre quella relativa ai test idraulici è di $1.4 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Entrando nel merito della distribuzione spaziale dei valori rilevati, si osserva che quelli più bassi si rilevano nell'area centro-settentrionale del nuovo petrolchimico (area Syndial, isola AC-SE) in corrispondenza dei piezometri M0116, N_2834, N_3182, M0043, M0040, M0033 e N_3535; spostandosi verso Est e verso Sud, in corrispondenza della costa, si registra un aumento, in particolare nell'area Polimeri Europa, isola CR (sondaggi M0036, N_4176, M0106, M0122 dove si registrano valori tra $9 \cdot 10^{-5}$ e $7 \cdot 10^{-4}$ m/s). Nel settore occidentale dello stabilimento si trova una zona a permeabilità maggiori nell'area del vecchio Petrolchimico (valori compresi tra $5 \cdot 10^{-5}$ e $5 \cdot 10^{-4}$ m/s nei piezometri VP_EW2, VP_EW3, VP_P12, VP_P22, M0071, VP_P20, N_2752, N_2614), verso Sud la permeabilità diminuisce fino a valori tra $1 \cdot 10^{-5}$ e $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (sondaggi M0088, N_3030, M0060, M3A02) per poi aumentare nuovamente nell'area PSO_B2.

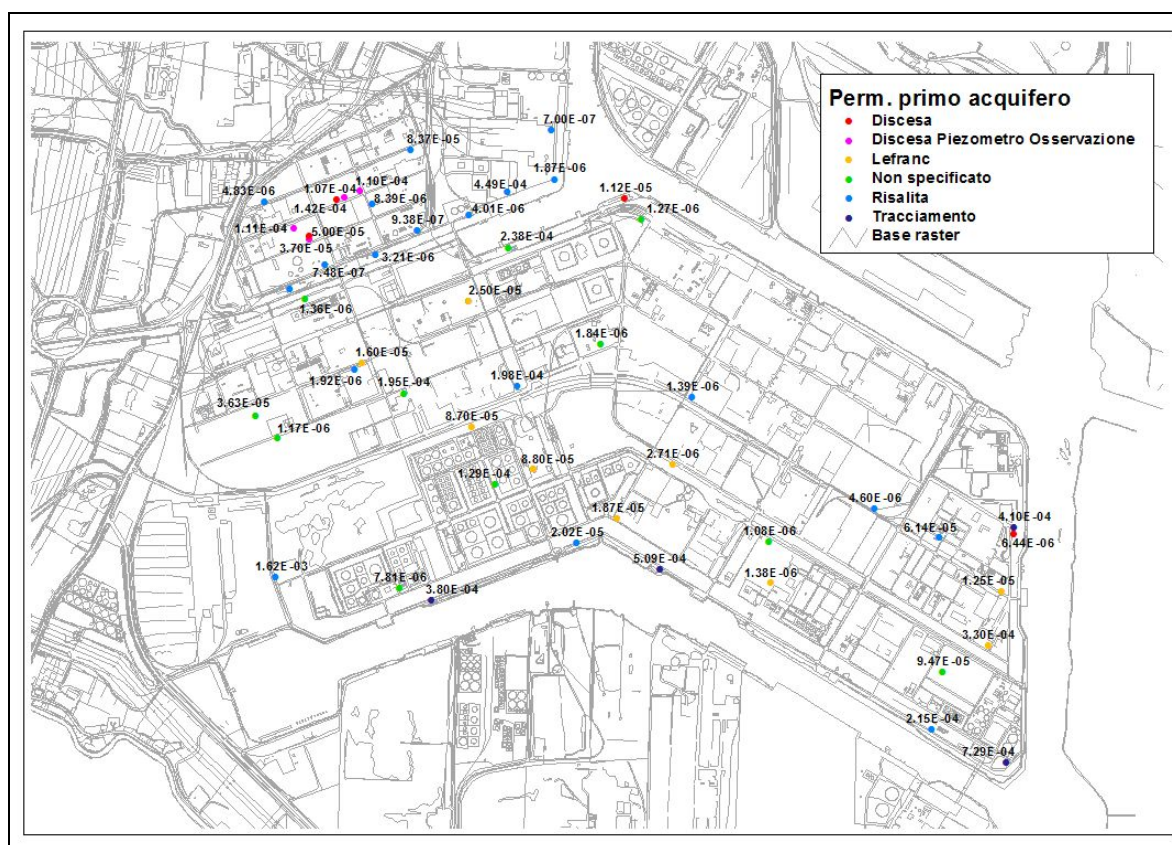


Figura 6.3 – Distribuzione dei dati di permeabilità nel primo acquifero.

6.3 ANALISI STATISTICA DELLA DISTRIBUZIONE DEI VALORI DI PERMEABILITÀ

Per l'implementazione del modello di flusso dell'area di studio è stato necessario procedere al calcolo dei parametri idrogeologici più significativi, in particolare in relazione ai valori di permeabilità dei diversi livelli acquiferi; la stima dei valori puntuali è stata effettuata, sulla base di prove dirette di permeabilità, sia sulla primo acquifero (56 dati) sia sul caranto (63 dati).

Come si opera usualmente con i dati di permeabilità, l'analisi geostatistica è stata condotta sui logaritmi dei valori, essendo la permeabilità una variabile a distribuzione log-normale. Il procedimento è quello già descritto per le basi; prima si sono calcolati i variogrammi sperimentali, dai quali si sono stimati quelli teorici (Figura 6.4). Lo studio della struttura spaziale della variabile evidenzia per la permeabilità del primo acquifero una discreta continuità lungo una lag direction di 45° (Figura 6.4a), direzione che consente di ottenere i migliori valori di nugget possibili; si rileva che la numerosità del campione di dati a disposizione per valori di lag ridotti (inferiori ai 300 m) risulta essere limitata, tanto da consigliare un suo incremento volto a garantire una maggiore affidabilità della stima.

Discorso analogo si può fare anche per la permeabilità del caranto, il cui variogramma sperimentale assume però un andamento quasi piatto (Figura 6.4b), rappresentativo di una variabile priva di autocorrelazione.

Utilizzando gli estimatori così costruiti si sono interpolati i valori dei log di permeabilità sia per il primo acquifero (Figura 6.5) sia per il caranto (Figura 6.6).

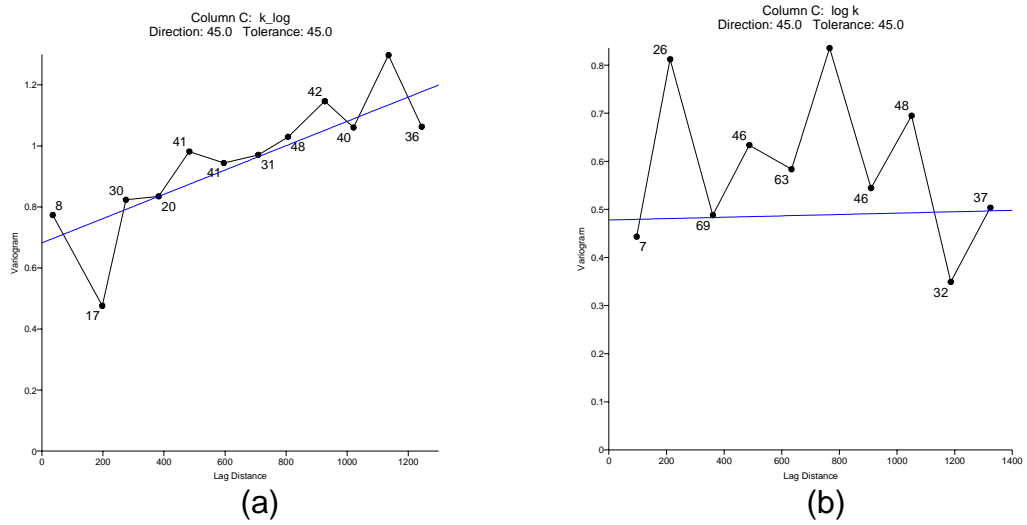


Figura 6.4 – Variogramma sperimentale (in nero) e corrispondente modello di variogramma (in azzurro) relativo: (a) alla permeabilità dell’acquifero, (b) alla permeabilità del caranto. Sul variogramma sperimentale vengono indicati i numeri di coppie di dati utilizzate per la stima.



Figura 6.5 – Carta dei logaritmi della permeabilità (m/s) del primo acquifero.

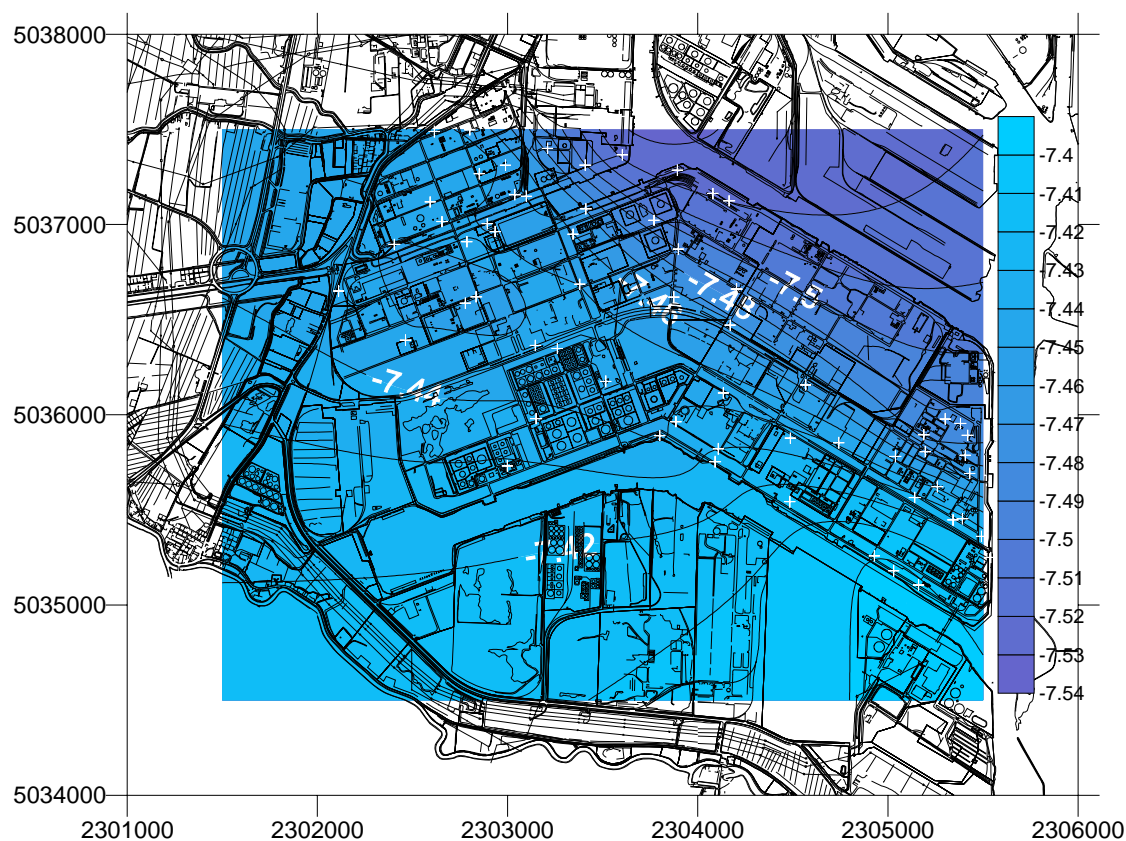


Figura 6.6 – Carta dei logaritmi della permeabilità (m/s) del caranto.

6.4 APPLICAZIONE DELLE PERMEABILITA' AI LAYER

6.4.1 Distribuzione all'interno del sito del Petrolchimico

In sede di attribuzione delle permeabilità ai layer nell'area interessata da indagini dirette, è stato osservato che la scelta di una attribuzione basata sui valori ricavati da interpolazione avrebbe portato alla omogeneizzazione di tipologie di prove idrauliche tra di loro differenti e svolte in un arco temporale abbastanza ampio (circa quindici anni), da società differenti. Si è pertanto deciso di procedere alla attribuzione delle permeabilità in base a considerazioni differenti a seconda del livello litologico trattato.

Per i terreni di riporto (primo layer) si riconosce una generalmente difficoltosa possibilità di suddividere il sito in aree a caratteristiche idrogeologiche omogenee, a causa dell'origine antropica di tale orizzonte, costituito da terreni e residui di lavorazione.

La media dei logaritmi dei valori di permeabilità desunti da test idraulici è di $3.5 \cdot 10^{-6}$ m/s; la media ricavata dalle sole prove Lefranc è inferiore, pari a $1.4 \cdot 10^{-7}$ m/s. Si è scelto di dare

maggior peso ai dati ricavati da test idraulici, attribuendo a tutto l'orizzonte nell'area interna allo Stabilimento un valore di $5 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Il primo orizzonte impermeabile (secondo layer), ove presente, mostra permeabilità abbastanza omogenee, per cui si è deciso di attribuire un valore di k unico. La presenza di numerose opere di fondazione ha provocato una diffusa alterazione della capacità di isolamento idraulico del livello; per questo motivo, il valore attribuito, pari a $7.5 \cdot 10^{-7}$ m/s, è maggiore rispetto ai valori registrati in campo. Nelle aree occupate in passato dai canali lagunari la permeabilità è stata posta a $1 \cdot 10^{-4}$ m/s (Figura 6.7) valore corrispondente alla media della conducibilità idraulica riferita alle litologie più permeabili riscontrate nel Petrolchimico.

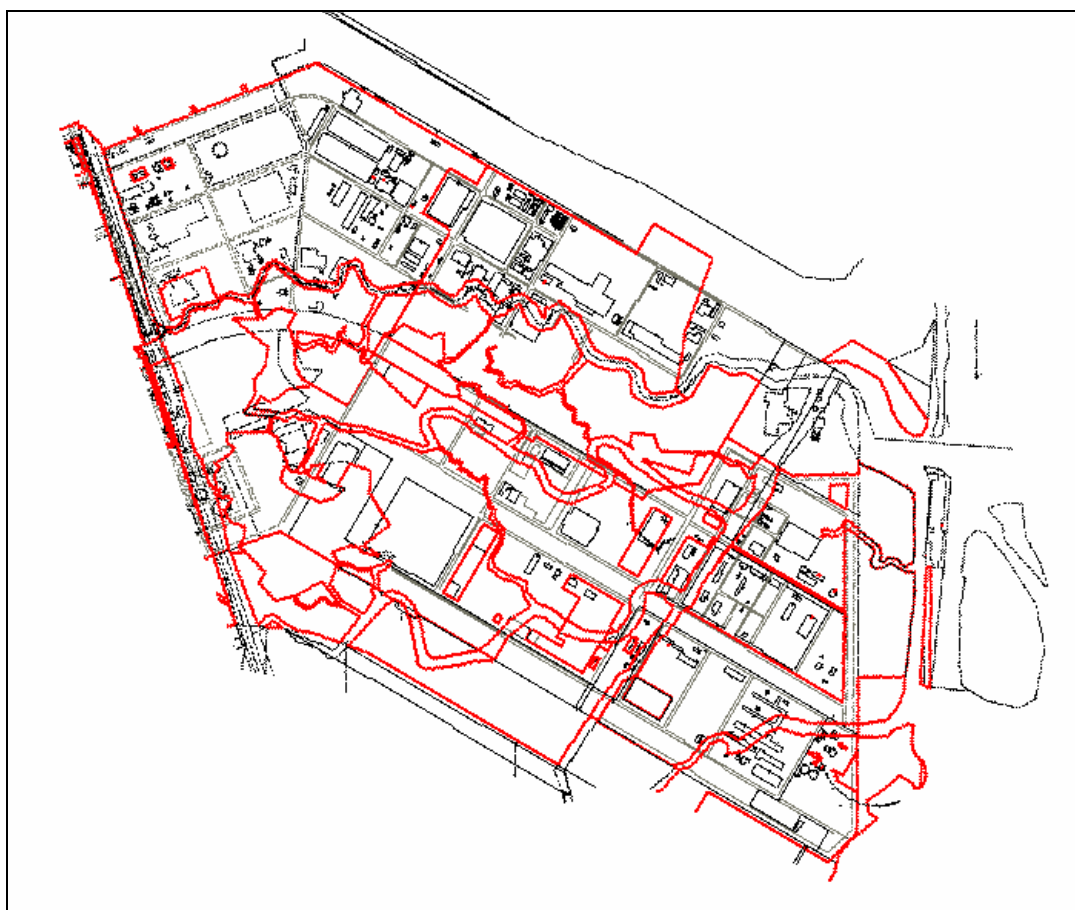


Figura 6.7 – Canali di marea nell'area ora occupata dal Nuovo Petrolchimico (in rosso).

La distribuzione delle permeabilità nel primo acquifero (terzo e quarto layer) è stata effettuata per zone, utilizzando primariamente i dati ricavati da test idraulici. Le aree interessate da altri tipi di prove, meno indicative rispetto a queste, sono state suddivise in maniera più flessibile,

attribuendo al dato una consistenza inferiore, quindi, consentendo in fase di calibrazione, un intervallo di variazione più ampio rispetto al dato ricavato da test idraulici.

Per i mezzi porosi è noto che, a meno di particolari condizioni geologiche, le variazioni dei valori di conducibilità idraulica in direzione orizzontale sono piuttosto limitate. Pertanto, sulla base di tali considerazioni e non avendo a disposizione informazioni di campo riguardanti condizioni di anisotropia orizzontale, si è ritenuto opportuno attribuire, nell'ambito del medesimo elemento di discretizzazione, valori sempre uguali a K_x e K_y . In relazione alla presenza di numerose variazioni litologiche in senso verticale, è stata considerata un'anisotropia verticale, attribuendo in tutto il dominio di modellazione valori di K_z inferiori di un ordine di grandezza rispetto alla permeabilità orizzontale.

Le distribuzioni delle permeabilità orizzontali attribuite ai layer del modello sono rappresentate nelle Figure 6.8, 6.9 e 6.10.

6.4.2 Distribuzione all'esterno del sito del Petrolchimico

Al momento, non si ha a disposizione alcuna informazione circa la struttura idrogeologica e le proprietà idrauliche delle aree esterne al sito del Petrolchimico. Per questa ragione, utilizzando un criterio puramente geometrico, la struttura idrogeologica rilevata all'interno del Petrolchimico è stata estesa all'esterno del sito mantenendo spessori uniformi degli strati del modello ed attribuendo loro valori di permeabilità mediamente pari a $5 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Nell'area immediatamente esterna al Petrolchimico è stata impostata un'area a permeabilità più alta ($1 \cdot 10^{-3}$ m/s), in corrispondenza della presenza di un possibile paleoalveo del canale Brenta, inserita per i motivi espressi nel prossimo capitolo.

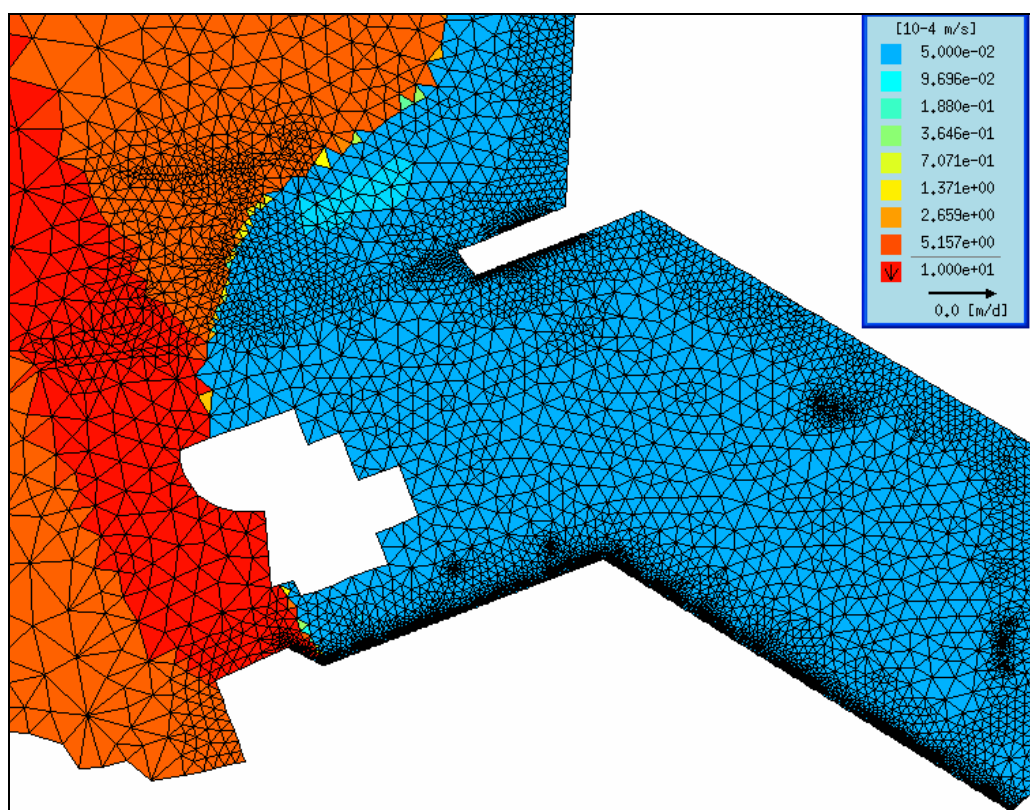


Figura 6.8 – Distribuzione della permeabilità orizzontale nel primo layer (riporto).

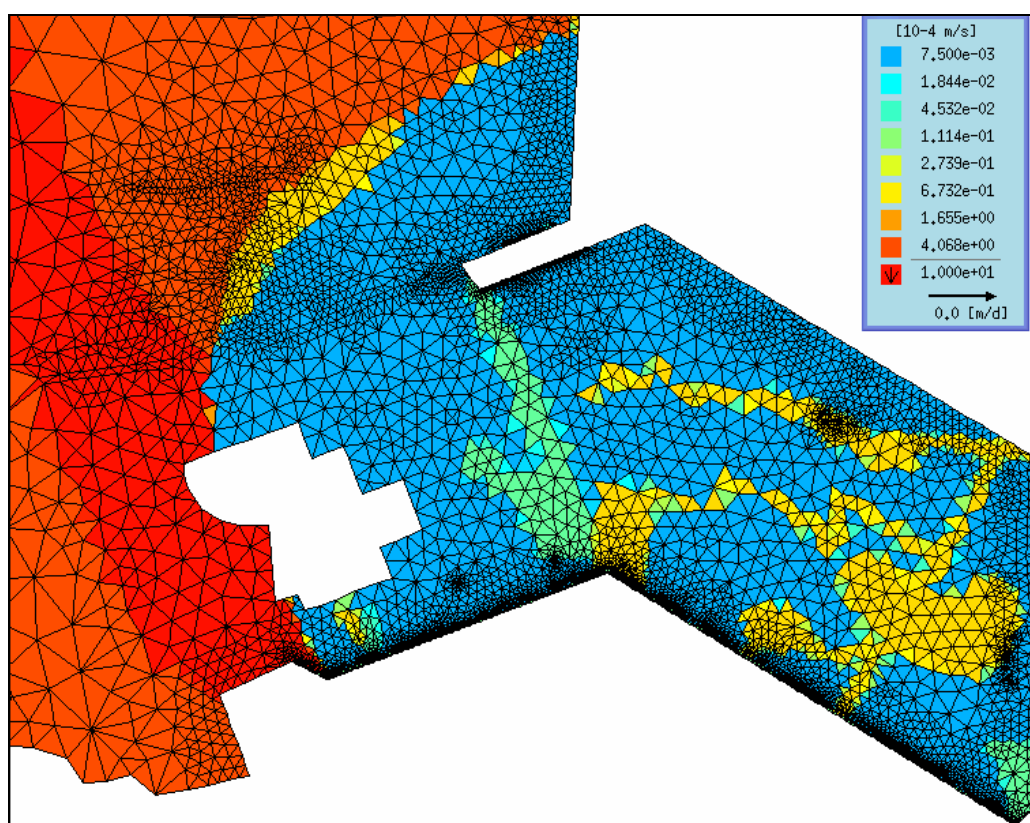


Figura 6.9 – Distribuzione della permeabilità orizzontale nel secondo layer (caranto).

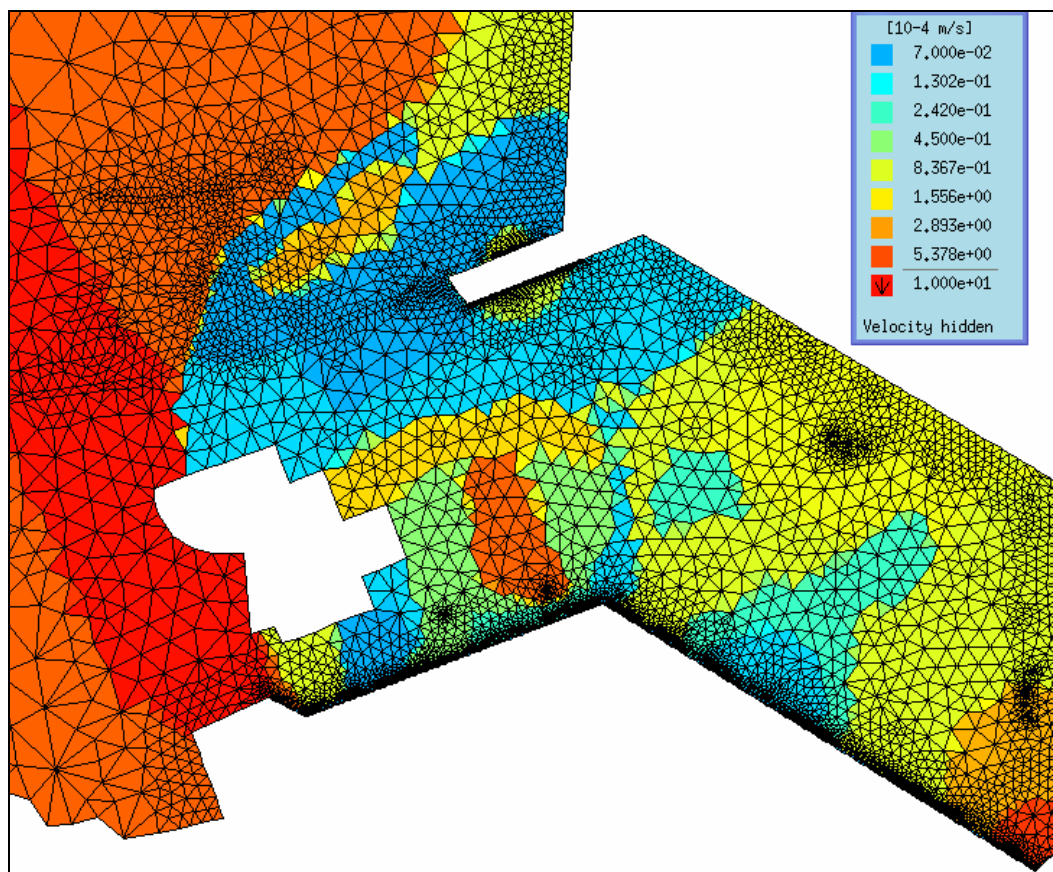


Figura 6.10 – Distribuzione della permeabilità orizzontale nel terzo e quarto layer (primo acquifero).

7 - CONDIZIONI AL CONTORNO

7.1 CONDIZIONI AI LIMITI DEL MODELLO

Per la determinazione delle condizioni da assegnare ai limiti del modello, ci si è basati sull'osservazione delle carte piezometriche freatiche realizzate su scala regionale in differenti periodi. Le piezometrie esaminate, a partire da quella del 1983, mostrano condizioni di deflusso simili in termini di direzione di deflusso e carichi misurati. La falda della pianura veneta a monte del Petrolchimico può essere assimilata ad una falda cilindrica, con gradiente costante.

Lungo il lato nord-occidentale del modello è stato quindi assegnato un valore di carico piezometrico costante, pari a tre metri: tale valore è prossimo a quello desunto dalla piezometria regionale riportata in Figura 7.1. Va rilevato che il valore di carico piezometrico riportato in tale piezometria è stato misurato su pozzi filtrati fino a 80 – 100 m, quindi a profondità superiori rispetto a quelle alle quali è stato rilevato il secondo livello impermeabile in prossimità del Petrolchimico. Il valore di carico piezometrico è quindi da ritenersi solamente indicativo del carico effettivamente presente nell'area esterna al Petrolchimico. La scelta di allontanare le condizioni al contorno considerando un dominio di modellazione ben più ampio del sito di interesse, è stata dettata proprio dalla mancanza di dati affidabili per le aree esterne allo stabilimento e dalla volontà di utilizzare una condizione al contorno che non influenzasse eccessivamente la soluzione numerica all'interno del Petrolchimico.

Lungo i lati nord-ovest e sud-ovest sono state imposte condizioni a flusso nullo, attribuite automaticamente dal codice in caso non venga assegnata alcuna condizione.

Il mare è stato rappresentato lungo tutto il perimetro bagnato del Petrolchimico come condizione a carico costante, con valore di carico idraulico di 0,0 m.

Le condizioni ai confini sono identiche in tutti i livelli del modello.

L'osservazione delle oscillazioni di marea e dei valori di carico piezometrico osservati nei piezometri lungo costa (carico medio di circa 20 cm s.l.m.), suggerisce che la quota media del mare sia superiore a 0,0 metri. In tal caso, l'utilizzo del valore di 0,0 m produce un incremento nel gradiente della falda e quindi un aumento delle portate di deflusso a mare.

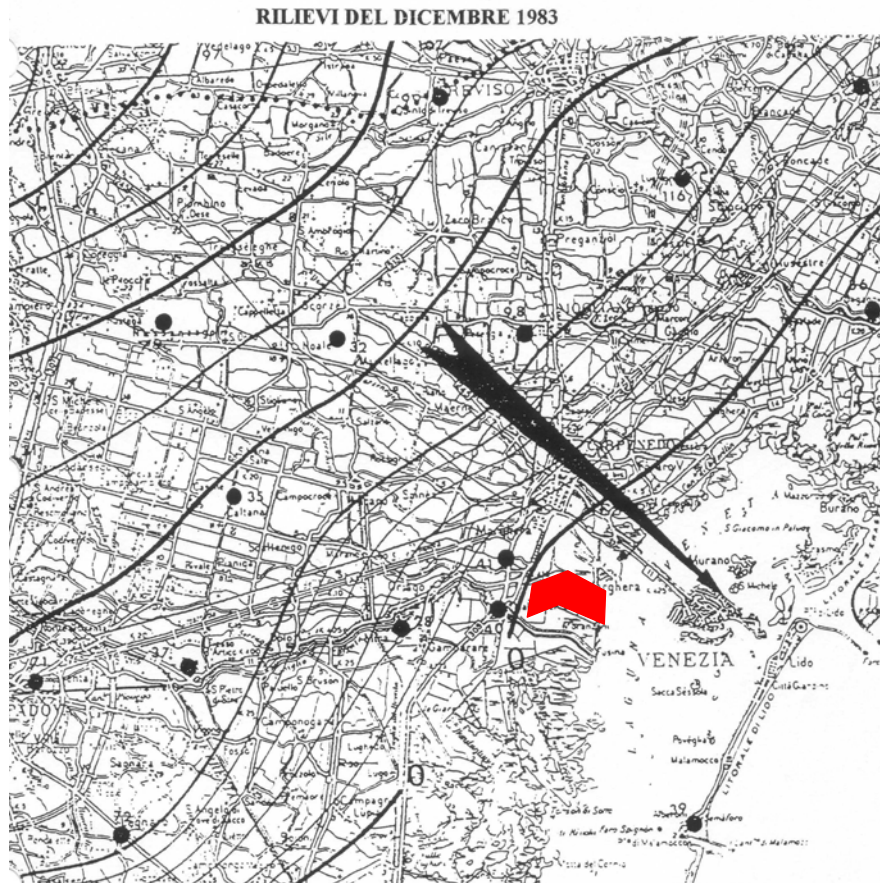


Figura 7.1 – Piezometria regionale basata su rilievi del 1983.

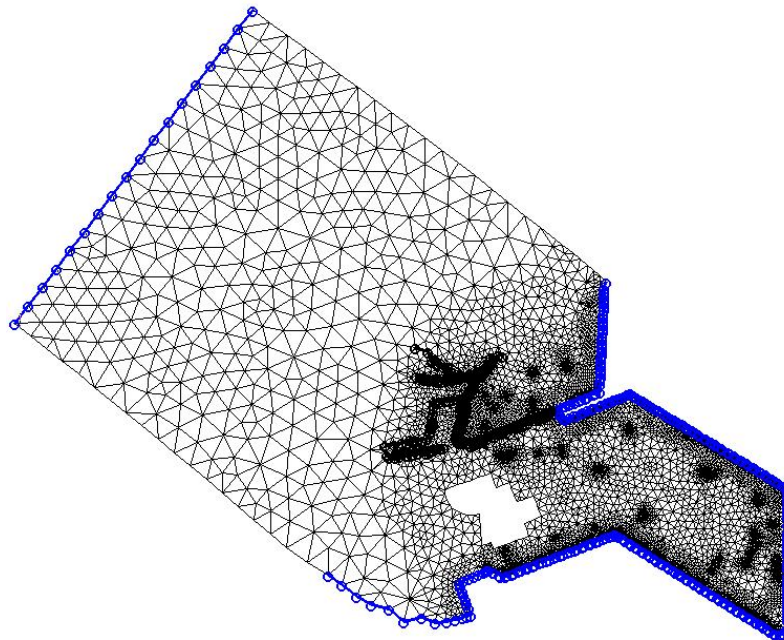


Figura 7.2 – Condizioni al contorno. In blu sono rappresentate le condizioni di carico costante adottate per il lato nord-occidentale del modello e lungo il "perimetro bagnato" dello stabilimento.

7.2 CANALI

Le più recenti piezometrie condotte all'interno del Petrolchimico mostrano un parziale deflusso delle acque verso l'esterno, in particolare nei pressi del Vecchio Petrolchimico.

L'acqua di falda in uscita giunge in parte direttamente nel canale Lusore-Brentelle, e quindi in laguna, mentre la restante aliquota devia immediatamente verso sud, costeggiando il confine dello stabilimento e raggiungendo quindi la Laguna in corrispondenza della testa del Canale Industriale Sud (Figura 8.4). Le evidenze disponibili dimostrano altresì che la presenza di alti piezometrici non comporta alcun andamento centrifugo della falda, ma determina al più, una minima deviazione locale rispetto alla direzione di flusso regionale della stessa che prende il sopravvento per effetto dell'azione di richiamo dei canali che di fatto drenano l'acqua derivante dall'alto piezometrico.

La loro presenza risulta d'aiuto nel rappresentare le condizioni di deflusso della prima falda osservate nelle piezometrie precedentemente misurate (si veda quella del dicembre 2003, in Figura 2.2). Il fenomeno è attribuibile a quattro possibili concause:

- il sollevamento dei livelli di falda determinato dalla realizzazione dell'opera di marginamento lungo il Canale Industriale Sud;
- la maggiore altezza topografica del sito del Petrolchimico rispetto all'area immediatamente esterna, dovuta ai passati lavori di imbonimento delle aree lagunari;
- la presenza, in zone immediatamente a monte dello stabilimento, di valori di permeabilità più alti rispetto a quelli rilevati nello stabilimento, che, sulla base di informazioni orali fornite dal MAV, potrebbero essere attribuiti alla presenza di un paleoalveo del canale Brenta, di cui si ipotizza la disposizione con andamento da nord-ovest a sud-est;
- l'effetto potenzialmente drenante provocato dall'estesa rete di canali presenti all'esterno del sito in relazione anche della presenza di due idrovore nelle immediate vicinanze del confine occidentale dello stabilimento.

Pertanto nell'intento di rappresentare nel modo più realistico possibile le condizioni di flusso e deflusso caratteristiche dell'area in esame, sono stati simulati alcuni canali irrigui presenti nella zona posta nelle immediate vicinanze del confine occidentale dello stabilimento.

I canali che si è scelto di rappresentare sono evidenziati in Figura 7.3: si tratta del canale Lusore-Brentelle, del Tron e dei canali Orlago e Fondi.

Allo stato attuale, la schematizzazione dei canali è stata interrotta a circa 850 metri dal confine del petrolchimico, in quanto si è considerato che questa fosse una distanza indicata per rappresentare l'influenza dei canali su tutta l'area occupata dallo stabilimento.

Dal punto di vista operativo, l'inserimento nel modello dei canali è stato realizzato mediante l'imposizione di una condizione di tipo *transfer* (flusso dipendente da carico) applicata a tutto il percorso dei canali nei primi due layers. In particolare è stato attribuito un valore di quota ad ogni nodo della griglia interessato dal percorso del canale, ed un valore di *transfer-rate* applicato a tutta l'area che ospita i corsi d'acqua.

Per la quota sono disponibili alcune misure effettuate sul Lusore-Brentelle e sul Tron tra novembre 2003 e gennaio 2004. Tali valori sono stati interpolati lungo i due canali e sono stati utilizzati, per estrapolazione, anche sugli altri canali. Le quote attribuite variano tra 0 e 0.21 metri s.l.m.

Il *transfer-rate* rappresenta la conduttanza del letto dei canali. In Feflow viene approssimato come rapporto tra la permeabilità del letto drenante ed il suo spessore. Circa questo dato, le uniche informazioni disponibili riguardano il tratto del Brentelle interno allo Stabilimento ("Tratto terminale del canale Brentelle – Caratterizzazione quali-quantitativa dei sedimenti e progettazione degli interventi di risanamento ambientale", redatto da Consorzio BASI nel novembre 1996). I rilievi sullo spessore dei sedimenti mostrano la presenza di circa due metri di residui intervallati da lenti di limo. Al momento, non si dispone di informazioni circa le condizioni del fondo degli altri canali. Si è quindi optato per una determinazione del *transfer rate* basato su una procedura di auto-calibrazione mediante il codice PEST, consentendo l'attribuzione di valori differenti al tratto interno del Brentelle rispetto agli altri canali. La procedura ha portato all'attribuzione del valore di $108 \cdot 10^{-4}$ giorni⁻¹ ai canali esterni e $1 \cdot 10^{-4}$ giorni⁻¹ al tratto interno del Brentelle. Considerando uno spessore del letto drenante di due metri, il valore attribuito assume una permeabilità equivalente di $2 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Al fine di ottenere una maggiore precisione computazionale, la mesh è stata precedentemente raffittita in corrispondenza del percorso dei canali, ottenendo una configurazione finale con elementi aventi lati compresi tra 30 e 40 metri.

In Figura 7.4 è visualizzata l'ubicazione dei nodi sui quali è stata imposta la condizione di tipo *transfer*.

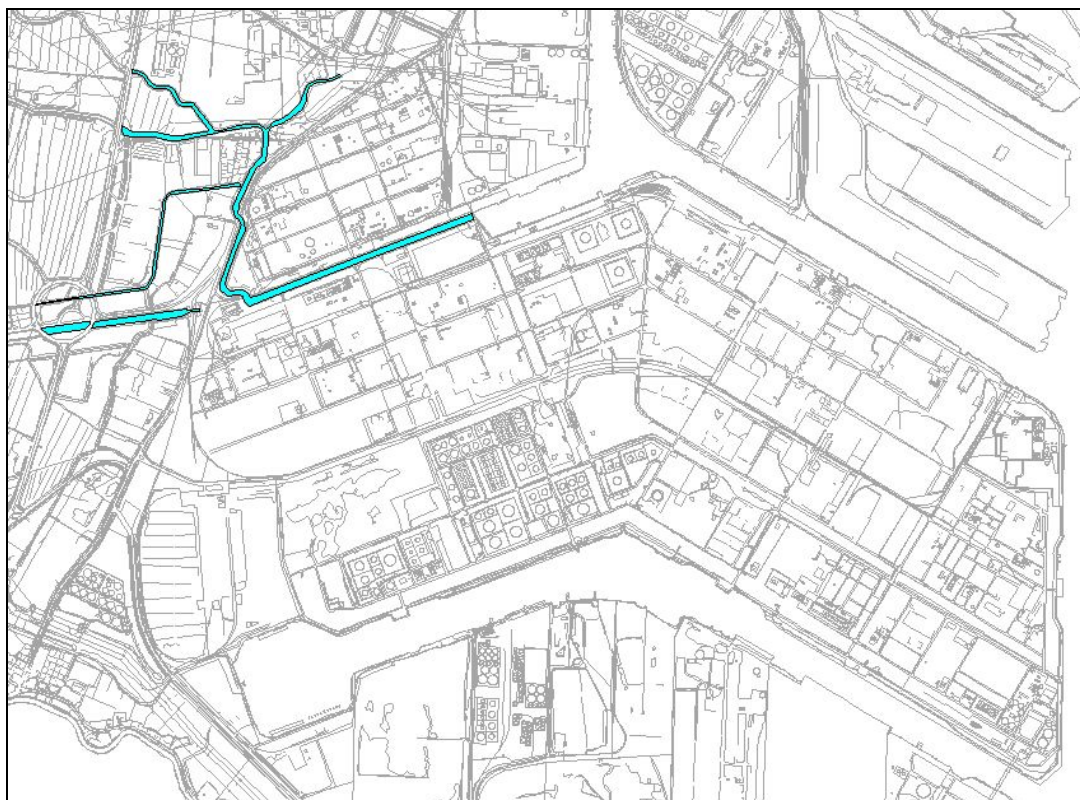


Figura 7.3 – Ubicazione dei canali schematizzati all'interno del modello.

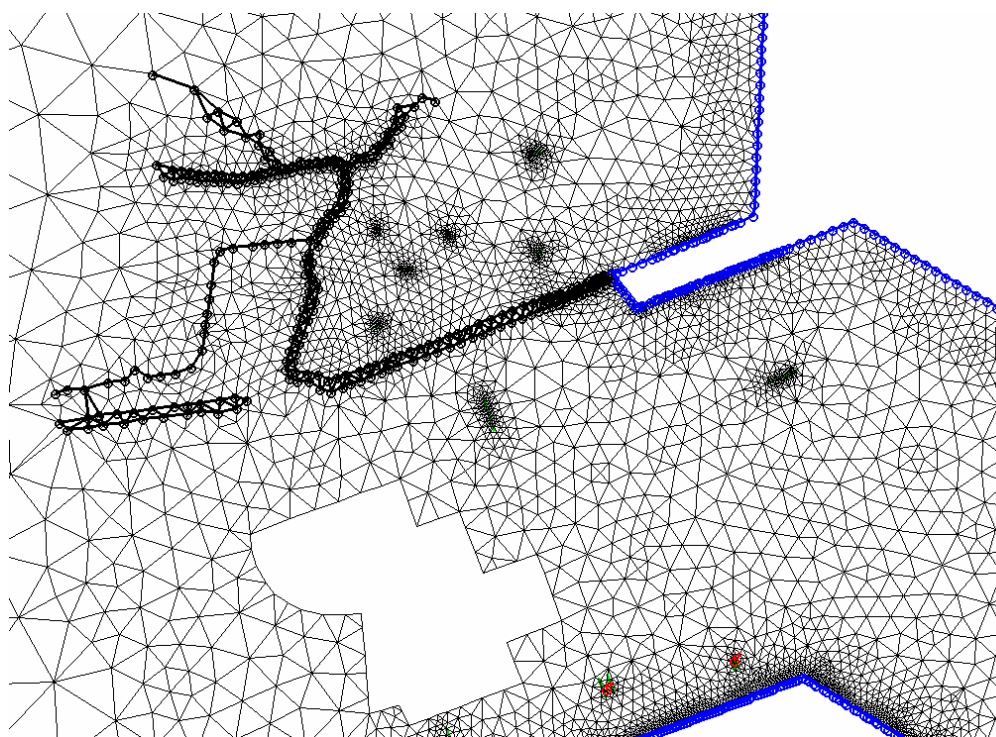


Figura 7.4 – Ubicazione dei nodi ai quali è stata imposta la condizione di tipo *transfer*: si può notare in corrispondenza di tali nodi (cerchi neri) il raffittimento della mesh implementato al fine di ottimizzare i calcoli.

7.3 ELEMENTI INTERNI ALLO STABILIMENTO

Per la simulazione della piezometria del dicembre 2003, sono stati inseriti gli elementi che concorrono a determinare la conformazione della piezometria delle acque di prima falda; tali interventi sono stati rappresentati attraverso l'imposizione di opportune condizioni al contorno.

All'interno dello stabilimento di Marghera gli interventi già realizzati sono costituiti dalla palancola situata lungo il Canale Industriale Sud e da due vasche di rilancio delle acque di stabilimento situate a sud dell'area serbatoi (vasche ATI e API): l'ubicazione di tali elementi è visualizzata in Figura 7.5.

La mesh è stata in precedenza sottoposta ad un opportuno raffittimento nelle aree di interesse, con lo scopo di migliorare l'accuratezza della rappresentazione. Disporre di un maggior numero di nodi nelle aree delle vasche consente inoltre di diminuire la dispersione numerica e di migliorare l'accuratezza dei dati di output disponibili.

La palancola lungo il Canale Industriale Sud è stata simulata attraverso l'assegnazione di un valore di permeabilità di $4.5 \cdot 10^{-9}$ m/s a tutti gli elementi della griglia che si affacciano sul canale, per tutti i quattro layers che costituiscono il dominio di studio (figura 7.6).



Figura 7.5 – Elementi inseriti nel modello: in blu è rappresentata la palancola lungo il Canale Industriale Sud, in rosso le due vasche di rilancio (vasche ATI e API), in verde le palancole in via di realizzazione.

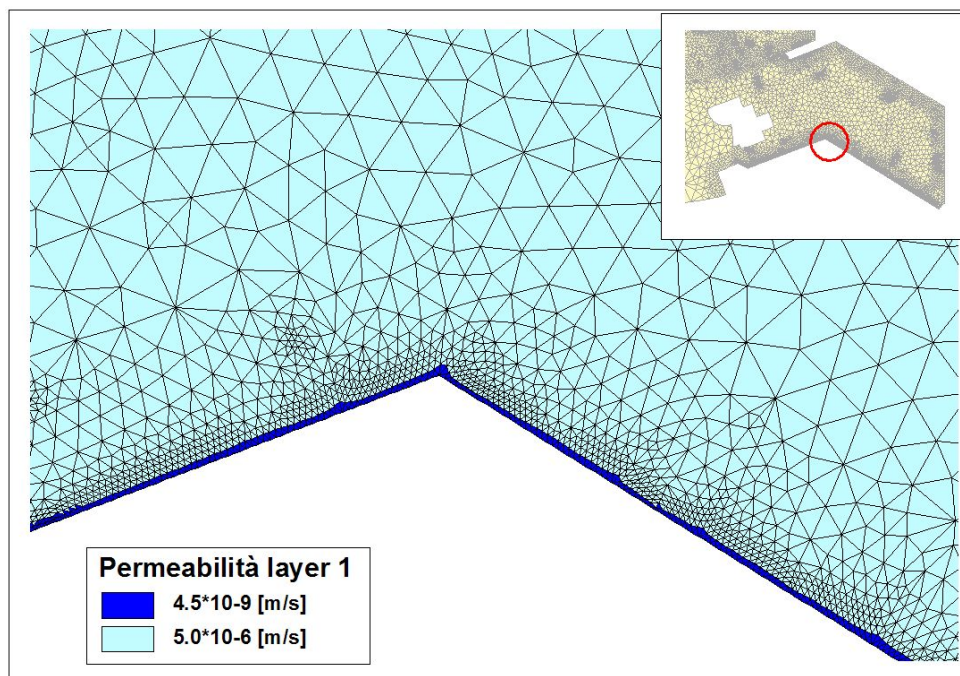


Figura 7.6 – Distribuzione di permeabilità applicata per la simulazione della palancola (in blu); in figura si nota l'infittimento della mesh implementato lungo la zona costiera.

Per quanto riguarda le vasche, si è scelto di simularle attraverso l'imposizione di due tipi diversi di condizioni al contorno. La vasca ATI, che drena acqua da riporto e primo acquifero, è stata rappresentata tramite una condizione di tipo *transfer rate*, ossia di flusso dipendente da carico: in questo modo è stato possibile simulare coerentemente il funzionamento della stessa, legando la quantità d'acqua che essa è in grado di drenare al carico idraulico. Attualmente, il monitoraggio delle portate drenate, attuato da tecnici Polimeri Europa nel periodo agosto – novembre 2004, mostra che le portate medie mensili drenate dalla vasca ATI si mantengono al di sotto di 1 litro/secondo, superando questo valore, come media giornaliera, in occasione di eventi piovosi, con una portata massima di 1,35 l/s.

Dalla vasca API vengono drenate solamente occasionalmente, e dal solo riporto, portate molto basse, e non è previsto nel futuro alcun utilizzo della vasca come parte del sistema di captazione, per cui nelle simulazioni degli scenari d'intervento l'elemento è stato eliminato. Si è scelto di rappresentare la vasca tramite una condizione di tipo *well*, più semplice da utilizzare rispetto alla condizione *transfer*, applicata alle prime due slices (le superfici di delimitazione

dei layer) del modello, con un drenaggio di 0,14 litri/secondo, valore desunto dall'osservazione dell'effetto sulla piezometria del dicembre 2003.

7.4 INTERVENTI IN PROGETTO O IN PREDISPOSIZIONE

Nell'area del Petrolchimico è prevista, ed in parte già in fase di realizzazione, la predisposizione di alcune tipologie di intervento sulle acque di falda.

Una prima tipologia di interventi è costituita dalla realizzazione di una serie di dreni aventi lo scopo di sottrarre all'acquifero quantità d'acqua altrimenti destinate a riversarsi al di fuori del perimetro dello Stabilimento.

L'area del Vecchio Petrolchimico è già stata oggetto di modellazione matematica, eseguita da consulenti della società Aquater (ora Snamprogetti), che ha portato alla definizione della migliore configurazione di posizionamento e drenaggio. In quest'area sono in via di realizzazione sei dreni orizzontali della lunghezza di 20 metri. L'ubicazione degli elementi è quindi stata riprodotta nel modello senza alcuna modifica.

Nell'area del Nuovo Petrolchimico è prevista la realizzazione di:

- sei dreni orizzontali della lunghezza di 40 metri, realizzati con le stesse tecnologie utilizzate per il Vecchio Petrolchimico;
- nove postazioni di drenaggio puntuali.

Un'altra tipologia di intervento da realizzarsi nel sito per la messa in sicurezza d'emergenza consiste nella conterminazione di parte della Darsena della Rana e di un tratto di costa lungo il Canale industriale Ovest mediante palancole, completate con sistemi di drenaggio alle spalle (vedi Figura 7.5).

Le palancole sono state inserite come celle a permeabilità molto bassa ($4,5 \cdot 10^{-9}$ m/s), con dimensioni delle celle analoghe a quelle utilizzate per la palanca lungo il lato del Canale Industriale Sud.

Alle spalle delle palancole in Darsena della Rana, i dreni previsti (due per la palanca a lato nord, undici presidi di valle per quella a lato sud) sono stati inseriti come elemento di drenaggio puntuale (elemento *well*), esteso sulle slices 3, 4 e 5. Le portate di drenaggio impostate hanno la duplice funzione di evitare l'innalzamento della falda alle spalle della palanca e di contribuire al drenaggio delle acque della prima falda.

La simulazione dei dreni orizzontali, sia di quelli nel Vecchio che nel Nuovo Petrolchimico, è avvenuta tramite l'applicazione di condizioni al contorno di tipo *well*. Ogni dreno è stato simulato su cinque nodi in fila, posti sulla quarta e sulla quinta slice: in questo modo è possibile simulare in modo realistico il drenaggio d'acqua costante che ogni dreno esercita lungo tutta la sua estensione.

I drenaggi puntuali sono stati inseriti come condizione di tipo *well*, applicate sulle slices 3, 4 e 5 del modello, corrispondenti all'intera estensione del primo acquifero. Le portate da drenare da ogni singolo drenaggio sono state stabilite in fase di simulazione, tenendo conto dei valori massimi di drenaggio realizzabili in base alle prove di campo già eseguite nel sito. Le posizioni dei dreni puntuali sono state decise dai consulenti delle rispettive società, sulla base dell'ubicazione delle aree a maggiore inquinamento o per contenere il deflusso verso laguna delle acque di falda. Qualora si verificasse l'impossibilità per qualche drenaggio puntuale di ottenere le portate indicate in fase di modellazione, si provvederà allo studio di interventi alternativi in grado di raggiungere i medesimi risultati.

L'ubicazione di tutti gli elementi di drenaggio è mostrata nel Capitolo 9.

7.5 RICARICA SUPERFICIALE

Al fine di valutare i valori di ricarica determinato dalle piogge nei confronti della falda freatica, vengono di seguito analizzati i dati climatologici relativi alla stazione pluviometrica di Mestre considerati con buona approssimazione, rappresentativi dell'intera area di studio. I valori medi di pioggia e temperatura mensili del periodo 1968-2003 sono stati elaborati tramite il metodo sviluppato da Thornthwaite che permette di ottenere il bilancio idrologico del terreno agrario.

7.5.1 Determinazione dell'evapotraspirazione

Per valutare l'evapotraspirazione dell'area in esame è stata utilizzata la schematizzazione introdotta da Thornthwaite e successivamente modificata da altri Autori.

Il primo passo consiste nel valutare l'evapotraspirazione potenziale (ETP), ovvero quel fenomeno per il quale si ha perdita d'acqua dal terreno per il contemporaneo realizzarsi dell'evaporazione e della traspirazione da parte della vegetazione, nell'ipotesi che quest'ultima abbia a disposizione un rifornimento idrico infinito.

La formula di Thornthwaite per il calcolo della ETP è la seguente:

$$E_{P_j} = 16b_j \left(\frac{10t_j}{I} \right)^\alpha$$

ove: t_j = temperatura media del mese j-esimo espressa in gradi centigradi;

b_j = coefficiente correttivo dipendente dal mese che si considera e dalla latitudine del luogo esprimendo l'insolazione media mensile (vedi Tabella 7.1);

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \text{ somma degli Indici Termici Mensili ognuno dato dall'equazione } i_j = \left(\frac{t_j}{5} \right)^{1.514};$$

$$\alpha = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

Lat. N	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
48	0.76	0.8	1.02	1.14	1.31	1.3	1.34	1.23	1.05	0.93	0.77	0.7
47	0.77	0.8	1.02	1.14	1.3	1.3	1.33	1.22	1.04	0.93	0.78	0.7
46	0.79	0.81	1.02	1.13	1.29	1.3	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.7
45	0.8	0.81	1.02	1.13	1.28	1.3	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.8

Tabella 7.1 – Valori del coefficiente b_j in funzione della latitudine.

Il secondo passo consiste nel calcolo della EP, per il quale si è assunta una condizione iniziale di invaso pari alla capacità di campo (U).

Si definisce quindi:

- $A(t)$ = “volume” d’acqua invasato nelle zone di terreno interessate dall’evapotraspirazione, contato a partire dall’istante $t=0$ in cui l’intensità di precipitazione diviene inferiore a quella di ETP (espresso in mm);
- $P(t)$ = intensità di precipitazione, misurata in mm/mese;
- $ETP(t)$ = intensità di evapotraspirazione potenziale espressa in mm/mese;
- $ET(t)$ = intensità di evapotraspirazione effettiva espressa in mm/mese;
- A_{max} = volume massimo invasato nel terreno, che al più è pari alla capacità di campo U misurata in mm.

Considerando l’istante $t=0$, inizio del periodo secco, avremo che il volume potenzialmente perso dal terreno sarà:

$$L(t) = P(t) - E_p(t)$$

mentre quello effettivamente perso sarà espresso da:

$$B(t) = A_{\max} - A(t)$$

ammettendo la validità della relazione

$$-\frac{dB}{dt} / \frac{dL}{dt} = \left(\frac{A}{U}\right)^m \quad [7.1]$$

il che equivale ad ammettere che la perdita d'acqua effettiva del terreno è funzione di quella potenziale e della quantità d'acqua effettivamente contenuta nel terreno secondo una legge parametrizzata attraverso l'esponente m.

Definiti

$$\alpha = \frac{A(t)}{U}; \quad \lambda = \frac{L(t)}{U}$$

L'espressione 3.1 può essere scritta come:

$$\frac{d\alpha}{d\lambda} = \alpha^m \quad [7.2]$$

Ipotizzato che $U = A_{\max}$ e $m = 1$ (detta II ipotesi di Thornthwaite), all'istante $t = 0$, si ha:

$$\alpha = \frac{A_{\max}}{U} = \alpha_{\max}; \quad \lambda = 0$$

da cui l'integrale della 7.2 vale:

$$\alpha = \alpha_{\max} e^{\lambda} \quad [7.3]$$

Nella soluzione pratica del calcolo di EP, fissato l'istante iniziale in corrispondenza del primo mese in cui si abbia un deficit idrologico potenziale (L negativo), si ricava il valore corrispondente di λ ; questo, inserito nella 7.3 permette di ricavare α il cui valore moltiplicato per U fornisce il valore A(t) corrispondente al volume invasato nel terreno al termine del mese preso in considerazione (Tabella 7.2).

7.5.2 Calcolo del valore di ricarica

Sono stati analizzati singolarmente gli anni dal 1968 al 2003.

Per il calcolo dell'evapotraspirazione reale è stata adottata la II ipotesi di Thornthwaite ($m=1$), secondo cui esiste una diretta proporzionalità tra il valore di saturazione del terreno e l'EP.

Sulla base della Tabella 7.2 e del grafico in Figura 7.7 è stata effettuata la scelta della capacità di campo (U) da utilizzarsi per l'area di studio.

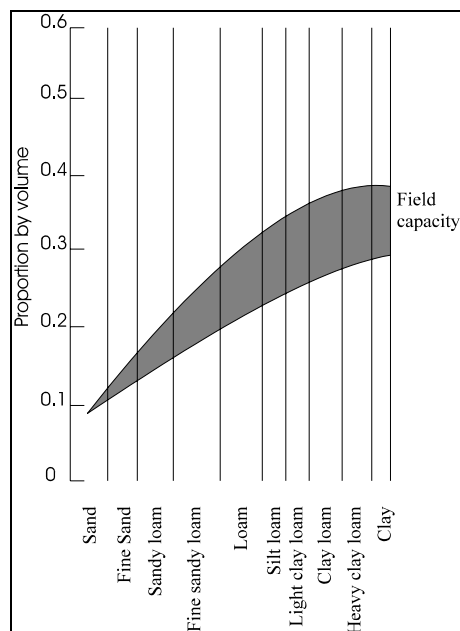


Figura 7.7 – Campo di variazione della capacità di campo dei terreni in funzione della loro granulometria (fonte: U.S. Department of Agriculture, 1955).

I terreni considerati presentano nell'ambito dei primi metri di profondità una granulometria fine variabile tra la sabbia fine limosa ed il limo. Si ritiene quindi che un valore di U pari al 10% sia da ritenersi mediamente rappresentativo dell'intera area in esame. Dalla Tabella 7.2 risulta una disponibilità di acqua immagazzinata nel terreno non saturo di 100 mm.

Vegetation	Soil texture	Field capacity (%)	Rooting depth (m)	Field capacity (mm)
Moderately deep rooted crops	Fine sand	10	0.75	75
	Fine s. loam	15	1.0	150
	Silt loam	20	1.0	200
	Clay loam	25	0.8	200
	Clay	30	0.5	150

Tabella 7.2 – Valori proposti di capacità di campo in funzione della tessitura del suolo e del tipo di vegetazione (THORNTHWAITE AND MATHER, 1957).

L'applicazione di Thornthwaite-Mather ha consentito di calcolare, in base ai valori medi mensili dell'ultimo trentennio, i valori di evapotraspirazione potenziale (ETP), evapotraspirazione reale (ET) e di surplus (S) idrico (Figura 7.8). Quest'ultimo termine

costituisce la lama d'acqua che resta a disposizione sul terreno e di cui parte dà luogo al ruscellamento superficiale e parte s'infiltra nel sottosuolo. Il calcolo esatto dell'aliquota che ruscella è piuttosto complesso per la sua dipendenza da numerosi fattori quali intensità di pioggia, pendenza del terreno, permeabilità dei livelli più superficiali, grado di umidità del terreno insaturo. Attualmente, per il sito in esame, non sono a disposizione con sufficiente dettaglio dati di questo tipo che possano consentire l'applicazione di modelli d'infiltrazione più complessi se non a patto di accettare un margine d'errore, dovuto all'incertezza dei parametri di input, piuttosto consistente. Per tale ragione, per il presente studio si è assunto un intervallo del valore di infiltrazione reale compreso tra il 30% e il 50% del surplus idrico, intervallo che eventualmente in futuro potrà essere verificato con apposite indagini di campo. Tale intervallo rappresenta il campo di variabilità entro il quale, in sede di calibrazione del modello del flusso idrico sotterraneo, si è fatta variare la condizione di ricarica applicata al dominio di modellazione. La scelta dell'intervallo 30 – 50% è frutto dell'esperienza accumulata dagli scriventi nell'affrontare problemi simili nelle aree pianeggianti della pianura lombarda.

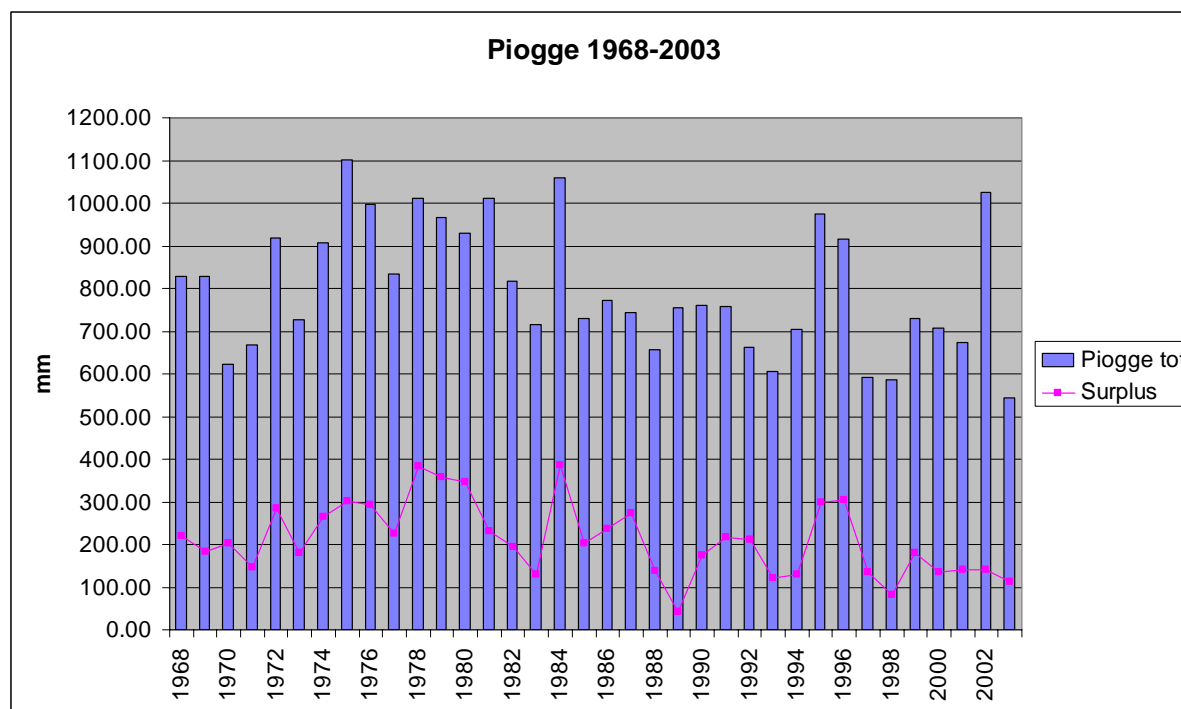


Figura 7.8 – Rappresentazione dei valori di pioggia e di surplus idrico cumulati per ogni singolo anno calcolati su base mensile mediante Thornthwaite-Mather.

Sulla base della serie di dati termo-pluviometrici 1968-2003 a disposizione, l'applicazione di Thornthwaite-Mather su dati mensili di ogni singolo anno ha permesso di valutare in 211,28 mm/a il surplus idrico medio, pari ad un valore di 0,579 mm/g (Tabella 7.3). Al termine della

calibrazione il coefficiente d'infiltrazione applicato è risultato essere paria a circa il 35%, pertanto nel modello previsionale basato sulla media trentennale alle aree a verde è stato applicata una ricarica di 0,190 mm/g. Le aree con edifici o manto stradale non sono state considerate completamente prive di ricarica ed il valore applicato è stato di 0,040 mm/g. Pertanto, nell'ambito della modellazione revisionale, la ricarica applicata all'intera area del Petrolchimico è risultata essere pari a 8,4 l/s.

ANNO	Ptot	S	CIP 50%	CIP 35%	CIP 30%
1968	827.50	220.61	110.3065	77.21451886	66.18387331
1969	826.90	184.00	91.99805	64.39863562	55.19883053
1970	621.30	201.70	100.8501	70.59506028	60.51005167
1971	666.40	146.08	73.03794	51.12655567	43.822762
1972	918.50	284.50	142.2501	99.57506937	85.35005946
1973	725.90	180.21	90.10729	63.07510326	54.06437422
1974	908.40	263.83	131.9152	92.34060846	79.14909296
1975	1100.20	300.25	150.126	105.0881788	90.07558187
1976	996.30	293.52	146.7619	102.7333244	88.05713522
1977	832.90	225.28	112.6383	78.84684325	67.5830085
1978	1010.70	384.00	192.0009	134.4006182	115.2005299
1979	967.20	356.68	178.3405	124.8383337	107.004286
1980	928.30	347.28	173.6387	121.547061	104.1831951
1981	1012.50	230.31	115.1527	80.60686362	69.09159739
1982	817.70	195.24	97.62105	68.33473285	58.57262815
1983	716.00	128.78	64.38802	45.07161303	38.63281117
1984	1058.90	384.79	192.396	134.6771841	115.4375863
1985	728.30	203.04	101.5195	71.0636583	60.91170712
1986	771.00	235.67	117.8341	82.48384321	70.70043704
1987	745.00	273.30	136.6524	95.65667972	81.99143976
1988	655.00	138.04	69.02143	48.31500367	41.41286029
1989	754.50	41.67	20.83588	14.58511645	12.50152838
1990	760.80	175.76	87.88088	61.51661297	52.7285254
1991	758.20	217.62	108.8095	76.16666865	65.28571599
1992	661.90	211.78	105.8881	74.12166214	63.53285326
1993	605.30	121.04	60.51833	42.36282997	36.31099712
1994	703.60	129.48	64.74094	45.31865458	38.84456107
1995	976	298.58	149.2918	104.50429	89.57510572
1996	914.6	305.1989	152.5995	106.819625	91.55967853
1997	591.2	134.2482	67.12411	46.986879	40.27446772
1998	584.9	81.32085	40.66043	28.462298	24.39625543
1999	729.5	181.3628	90.6814	63.47698284	54.40884243
2000	707.5	134.2767	67.13834	46.99684011	40.28300581
2001	672.2	141.7285	70.86425	49.60497349	42.51854871
2002	1025.3	141.5907	70.79534	49.55673575	42.47720207
2003	542.4	113.4046	56.70231	39.69161512	34.02138439
media68-03	786.35	211.28	105.64	73.95	63.38

Tabella 7.3 – Risultati (mm/anno) dell'applicazione di Thornthwaite-Mather alla serie storica 1968-2003 per un valore di U pari a 100.

In Figura 7.9 è rappresentata la distribuzione adottata per la ricarica superficiale, attribuita alla prima slice del modello.

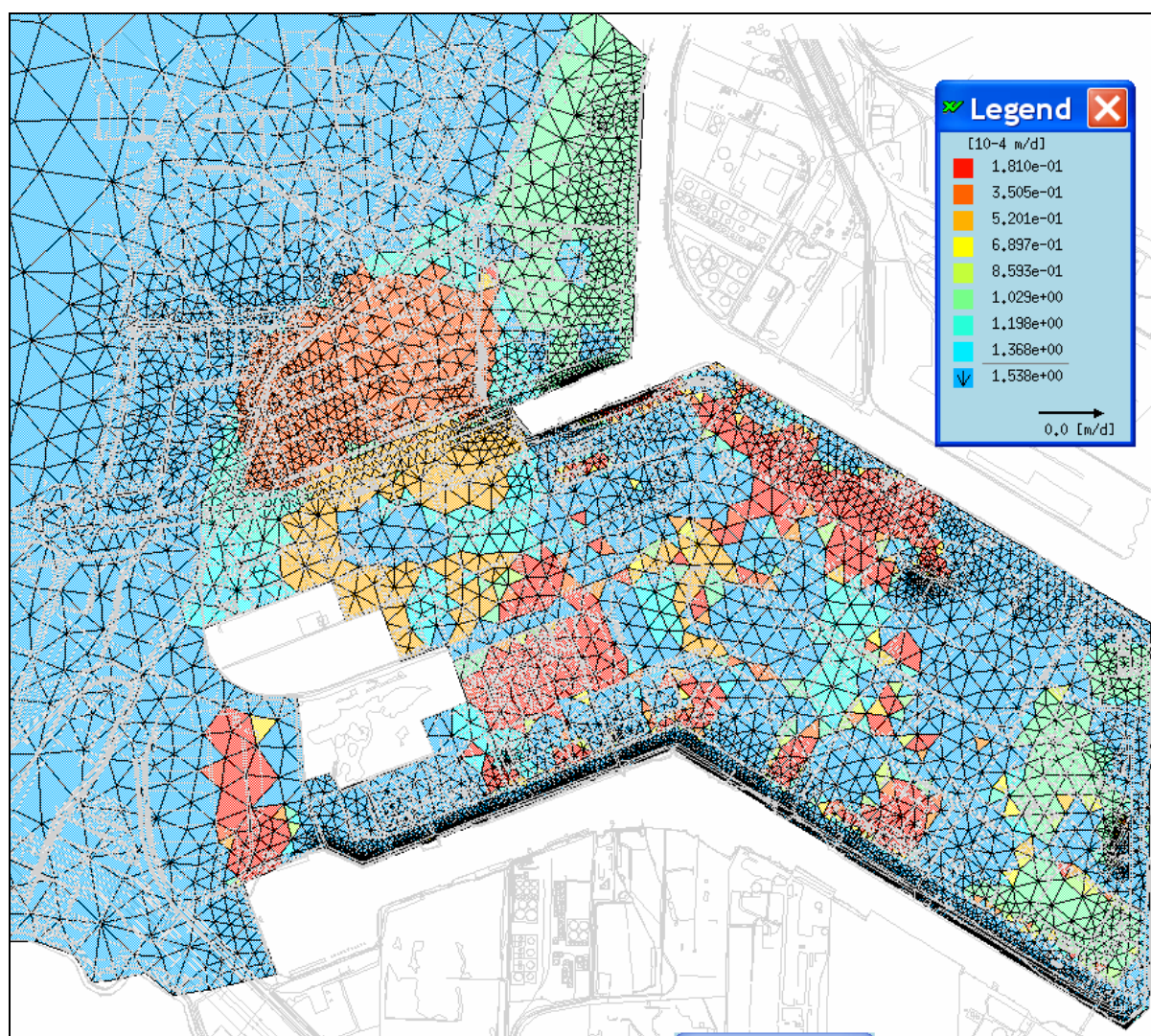


Figura 7.9 – Rappresentazione dei valori di ricarica applicati al modello matematico (valori in 10⁻⁴ m/d).

8 - CALIBRAZIONE DEL MODELLO

La calibrazione del modello di flusso è stata eseguita sulla base dei rilievi piezometrici sulla prima falda effettuati il 18 dicembre 2003 su tutto il sito del Petrolchimico. Pertanto tale modello rappresenta le condizioni del deflusso della falda riscontrate nel 2003, basate sui valori di ricarica e di distribuzione dei carichi piezometrici reali misurati in tale anno presso l'area di studio.

L'elenco delle 111 misure utilizzate è mostrato in Tabella 8.1. Non sono state considerate le misure prese da piezometri all'interno delle discariche in messa in sicurezza permanente.

I parametri sensibili utilizzati per la calibrazione sono stati:

- ricarica superficiale;
- permeabilità nelle aree esterne al Petrolchimico;
- permeabilità nell'area del Petrolchimico, nel caranto e nel primo acquifero;
- condizione di carico costante al limite nord-ovest;
- valore di *transfer rate* alla vasca ATI.

La calibrazione è stata eseguita utilizzando in sequenza due modalità differenti. Anzitutto è stata utilizzata una procedura di autocalibrazione mediante il codice PEST, disponibile come modulo aggiuntivo all'interno di Feflow. In questo modo è stata valutata l'entità della risposta del modello alle variazioni dei valori di ricarica superficiale.

Questa procedura ha consentito di stabilire dei valori ottimali per la ricarica per ogni tipologia di copertura del suolo, e di validare la distribuzione delle permeabilità attribuite al riporto. La ricarica totale sul sito, come riportato nel bilancio di massa (Tabella 8.2), è di 6,4 litri/secondo.

SIGLA	X	Y	Hmis	Hsim	Hmis-Hsim	Ass(Hmis-Hsim)
M0076	2302111.6	5036650.3	0.575	0.729	-1.54E-01	1.54E-01
M30E1	2302290.8	5036435.1	1.230	1.014	2.16E-01	2.16E-01
VP_P26	2302301.3	5037119.0	0.694	0.603	9.06E-02	9.06E-02
M1003	2302340.5	5037259.5	1.095	0.631	4.64E-01	4.64E-01
N_3168	2302362.4	5036690.9	1.076	1.088	-1.19E-02	1.19E-02
N_3028	2302404.6	5036895.5	0.847	0.864	-1.67E-02	1.67E-02
M1004	2302431.2	5036786.3	0.947	1.051	-1.04E-01	1.04E-01
M0015	2302451.4	5036075.4	1.191	0.122	1.07E+00	1.07E+00
VP_P30	2302466.7	5037041.7	1.001	0.833	1.68E-01	1.68E-01
N_2750	2302573.8	5037293.7	0.944	0.855	8.92E-02	8.92E-02
N_3030	2302574.5	5036875.4	0.880	1.019	-1.39E-01	1.39E-01
M0071	2302593.3	5037118.8	0.978	0.886	9.19E-02	9.19E-02
N_3310	2302600.0	5036495.0	1.089	1.094	-4.90E-03	4.90E-03
M0070	2302602.4	5037411.4	0.852	0.843	8.56E-03	8.56E-03
N_2610	2302614.9	5037488.6	0.575	0.853	-2.78E-01	2.78E-01
VP_P4	2302655.4	5037015.3	0.889	0.979	-9.00E-02	9.00E-02
M0013	2302710.6	5035625.2	0.746	0.277	4.69E-01	4.69E-01
N_10001	2302735.5	5035503.6	0.654	0.204	4.50E-01	4.50E-01
M0060	2302778.2	5036586.7	1.121	1.060	6.08E-02	6.08E-02
N_3032	2302786.1	5036909.4	1.051	1.109	-5.79E-02	5.79E-02
N_3452	2302787.0	5036320.0	1.057	0.522	5.35E-01	5.35E-01
N_2892	2302789.7	5037109.7	1.127	0.941	1.86E-01	1.86E-01
N_3312	2302800.0	5036507.0	-0.306	0.729	-1.04E+00	1.04E+00
N_2612	2302801.6	5037497.4	0.824	0.989	-1.65E-01	1.65E-01
M0066	2302851.3	5037266.5	0.945	0.961	-1.61E-02	1.61E-02
M0057	2302934.8	5036963.0	0.957	0.965	-7.84E-03	7.84E-03
N_3874	2302966.6	5035688.8	1.166	0.839	3.27E-01	3.27E-01
N_2894	2302970.6	5037115.8	0.807	0.849	-4.18E-02	4.18E-02
N_3314	2302982.3	5036487.8	0.826	0.471	3.55E-01	3.55E-01
N_3174	2302982.9	5036712.2	1.001	0.992	9.24E-03	9.24E-03
M1001	2302985.4	5037768.6	0.985	1.143	-1.58E-01	1.58E-01
N_2474	2303001.8	5037712.3	0.793	1.160	-3.67E-01	3.67E-01
N_2614	2303007.5	5037488.0	0.904	1.040	-1.36E-01	1.36E-01
M1002	2303058.6	5037280.0	1.031	0.883	1.48E-01	1.48E-01
M0123	2303097.5	5035638.2	1.306	0.506	8.00E-01	8.00E-01
M0044	2303145.9	5036364.3	0.147	0.272	-1.25E-01	1.25E-01
M0018	2303150.0	5035979.5	0.186	0.002	1.84E-01	1.84E-01
PSS_P10	2303169.5	5035911.5	-0.540	-0.098	-4.42E-01	4.42E-01
N_3036	2303196.0	5036896.1	1.034	0.685	3.49E-01	3.49E-01
N_2756	2303230.1	5037293.1	0.685	0.656	2.87E-02	2.87E-02
M0088	2303250.8	5036864.9	1.048	0.639	4.09E-01	4.09E-01
M0020	2303272.1	5035794.1	0.061	-0.102	1.63E-01	1.63E-01
M0054	2303344.0	5036949.4	0.688	0.361	3.27E-01	3.27E-01
N_3598	2303357.8	5036115.7	-0.968	-0.385	-5.83E-01	5.83E-01
N_2898	2303411.8	5037082.0	0.153	0.082	7.11E-02	7.11E-02
N_3458	2303427.7	5036289.2	-0.384	-0.162	-2.22E-01	2.22E-01
M0055	2303446.8	5036519.4	-0.023	0.160	-1.83E-01	1.83E-01
M0114	2303452.8	5037264.4	0.562	0.038	5.24E-01	5.24E-01
M0096	2303497.3	5035805.8	-0.796	-1.054	2.58E-01	2.58E-01
M0021	2303516.1	5036175.4	-0.764	-0.400	-3.64E-01	3.64E-01
M0053	2303526.0	5037060.7	0.381	0.222	1.59E-01	1.59E-01
PSS_P14	2303563.1	5035929.2	-2.099	-3.038	9.39E-01	9.39E-01
N_2760	2303584.4	5037312.6	0.582	0.010	5.72E-01	5.72E-01
N_3600	2303586.7	5036131.4	-0.166	-0.522	3.56E-01	3.56E-01
N_3320	2303592.9	5036491.5	0.567	0.309	2.58E-01	2.58E-01
N_3040	2303594.4	5036888.7	0.707	0.772	-6.53E-02	6.53E-02
N_3460	2303624.2	5036337.3	-0.126	0.120	-2.46E-01	2.46E-01
N_10061	2303641.5	5037476.6	0.447	0.035	4.12E-01	4.12E-01
M0098	2303667.0	5035875.6	-0.362	-1.344	9.82E-01	9.82E-01
N_3182	2303793.8	5036691.0	0.713	0.705	8.33E-03	8.33E-03
N_3322	2303805.4	5036510.1	0.146	0.576	-4.30E-01	4.30E-01
N_3462	2303805.5	5036327.9	0.029	0.526	-4.97E-01	4.97E-01

SIGLA	X	Y	Hmis	Hsim	Hmis-Hsim	Ass(Hmis-Hsim)
N_3602	2303812.3	5036105.1	0.170	0.326	-1.56E-01	1.56E-01
M0045	2303874.1	5036618.7	0.523	0.727	-2.04E-01	2.04E-01
M0023	2303885.5	5035963.5	0.173	0.608	-4.35E-01	4.35E-01
M0051	2303892.8	5037285.3	1.231	0.042	1.19E+00	1.19E+00
M0047	2303897.6	5036870.9	0.631	1.039	-4.08E-01	4.08E-01
N_2834	2303963.0	5037202.2	1.409	0.379	1.03E+00	1.03E+00
N_3604	2303968.3	5036140.1	0.551	0.771	-2.20E-01	2.20E-01
M1010	2303990.0	5036203.2	0.558	0.804	-2.46E-01	2.46E-01
N_3464	2304000.0	5036293.0	0.746	0.844	-9.84E-02	9.84E-02
N_3324	2304000.0	5036500.0	0.609	0.893	-2.84E-01	2.84E-01
M0122	2304037.4	5035765.4	0.888	1.091	-2.03E-01	2.03E-01
M0043	2304170.0	5036471.0	0.983	0.979	4.11E-03	4.11E-03
N_2906	2304182.2	5037088.9	0.657	0.364	2.93E-01	2.93E-01
N_3186	2304184.8	5036690.9	0.569	0.762	-1.93E-01	1.93E-01
N_3466	2304194.0	5036278.7	0.797	1.065	-2.68E-01	2.68E-01
N_3746	2304199.0	5035928.7	0.834	1.129	-2.95E-01	2.95E-01
N_3468	2304397.4	5036265.4	0.605	1.036	-4.31E-01	4.31E-01
N_3748	2304399.0	5035900.0	0.594	1.267	-6.73E-01	6.73E-01
N_3608	2304409.9	5036104.2	0.731	1.172	-4.41E-01	4.41E-01
M0026	2304484.0	5035542.9	1.133	1.227	-9.41E-02	9.41E-02
M0033	2304486.7	5035877.2	0.847	1.257	-4.10E-01	4.10E-01
M0093	2304583.2	5036170.3	0.867	1.014	-1.47E-01	1.47E-01
N_3050	2304600.0	5036910.1	0.224	0.056	1.68E-01	1.68E-01
N_3330	2304600.3	5036501.4	0.638	0.712	-7.37E-02	7.37E-02
N_3892	2304800.0	5035700.0	0.830	0.801	2.85E-02	2.85E-02
N_4172	2304819.2	5035298.5	0.509	0.651	-1.42E-01	1.42E-01
M0040	2304922.5	5036012.8	0.652	0.823	-1.71E-01	1.71E-01
M0028	2304928.5	5035258.8	0.701	0.529	1.72E-01	1.72E-01
M0032	2304956.1	5035600.6	0.501	0.642	-1.41E-01	1.41E-01
N_3754	2304988.7	5035910.2	0.744	0.734	9.36E-03	9.36E-03
N_3894	2304995.2	5035679.9	0.669	0.639	2.98E-02	2.98E-02
N_3474	2305000.0	5036300.0	0.241	0.103	1.38E-01	1.38E-01
N_3194	2305000.0	5036670.7	0.548	0.666	-1.18E-01	1.18E-01
M2007	2305132.5	5035571.7	0.501	0.444	5.68E-02	5.68E-02
M0029	2305160.9	5035105.7	0.596	0.204	3.92E-01	3.92E-01
N_3756	2305188.4	5035894.8	0.747	0.564	1.83E-01	1.83E-01
N_4176	2305201.6	5035343.7	0.627	0.275	3.52E-01	3.52E-01
N_3616	2305206.5	5036100.3	0.740	0.519	2.21E-01	2.21E-01
N_3896	2305220.4	5035696.4	0.516	0.429	8.71E-02	8.71E-02
N_10018	2305382.0	5036429.3	0.237	0.061	1.76E-01	1.76E-01
N_4038	2305383.0	5035497.8	0.496	0.211	2.85E-01	2.85E-01
M0036	2305391.4	5035453.5	0.592	0.230	3.62E-01	3.62E-01
N_3478	2305398.0	5036314.4	0.704	0.189	5.15E-01	5.15E-01
N_3618	2305399.5	5036089.2	0.741	0.359	3.82E-01	3.82E-01
N_4458	2305403.4	5034942.8	0.185	0.062	1.23E-01	1.23E-01
N_3758	2305418.8	5035891.8	0.693	0.325	3.68E-01	3.68E-01
M0037	2305430.0	5035691.8	0.504	0.228	2.76E-01	2.76E-01
M0039	2305498.2	5035906.5	0.626	0.208	4.18E-01	4.18E-01
N_10015	2305540.9	5036093.0	-0.914	0.023	-9.37E-01	9.37E-01

Tabella 8.1 – Elenco dei piezometri rilevati nella campagna del 18/12/2003 (P.E.: Polimeri Europa).

La distribuzione delle permeabilità del secondo layer (caranto) e del primo acquifero è stata ottimizzata mediante la metodologia “trial and error”, consistita nel variare, entro un intervallo prefissato, i valori delle permeabilità per ogni area individuata e studiando le variazioni dei carichi misurati nei punti di controllo.

Un ulteriore elemento sensibile è il *transfer rate* attribuito alla vasca ATI, parametro rappresentativo delle pareti della vasca, attraversate da fuori attraverso cui fluisce l'acqua di falda. Il codice PEST ha fornito per tale parametro il valore di 161 giorni⁻¹. La portata drenata dalla vasca, così come determinata dal modello, è di 1,88 l/s. Tale valore appare essere in linea con quanto valutato, da parte di tecnici Snamprogetti, tramite calcoli analitici basati sulla piezometria rilevata nel dicembre 2003. Il monitoraggio attualmente a disposizione (periodo di agosto – novembre 2004) fornisce valori medi pari a 0,9 l/s e valori massimi di 1,35 l/s (valutazioni di Polimeri Europa). Pertanto, solo sulla base dei risultati di un monitoraggio prolungato nel tempo sarà possibile valutare con maggiore precisione la capacità drenante della vasca ed eventualmente ottimizzare tale aspetto nell'ambito modellistico.

Purtroppo, nel codice PEST non è prevista l'autocalibrazione utilizzando come parametro le condizioni al contorno attribuite ai nodi (*flow boundaries*). Pertanto, la condizione di carico costante imposto al limite nord-ovest del modello è stata soggetta ad una determinazione basata sull'attribuzione di differenti valori e sull'analisi della risposta del modello rispetto alla piezometria misurata. A titolo esemplificativo, sono riportati i risultati per le simulazioni con tre differenti valori di carico: 2,25 m, 3 m e 3,75 m. I risultati (Figura 8.1) mostrano che il valore di carico più corretto è di 3 metri, valore poi utilizzato nelle simulazioni.

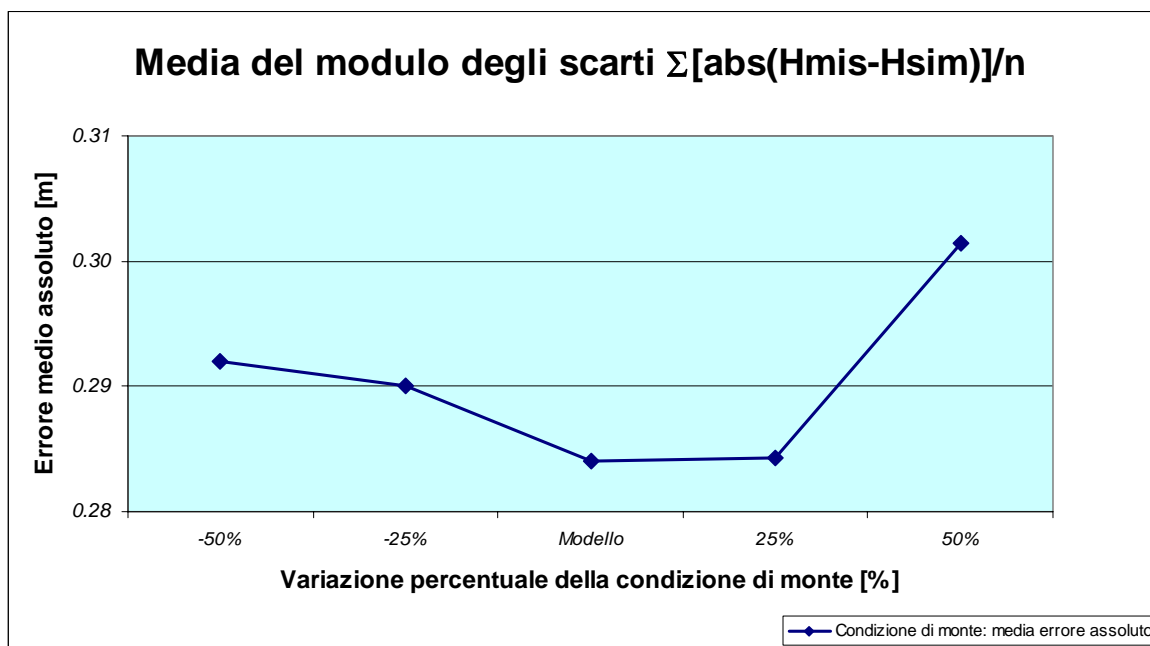


Figura 8.1 - Scarti medi assoluti in relazione alla variazione percentuale della condizione di monte.

La correttezza dei valori di ricarica associati alle diverse aree del sito è stata verificata tramite un'analisi di sensitività. A questo scopo sono state eseguite alcune simulazioni, in cui la ricarica è stata uniformemente incrementata del 10% e del 25% e ridotta delle stesse percentuali.

Per ognuna di queste simulazioni è stata calcolata la media del modulo degli scarti; i risultati di questa elaborazione sono riportati in Figura 8.2 e mostrano che i valori di ricarica efficace migliori sono quelli con ricarica di 5,8 l/s (errore medio assoluto di 0.280 m) e 6,4 l/s (0.284 m). Si è scelto di mantenere il valore di 6,4 l/s in quanto corrispondente al valore derivante dai dati pluviometrici.

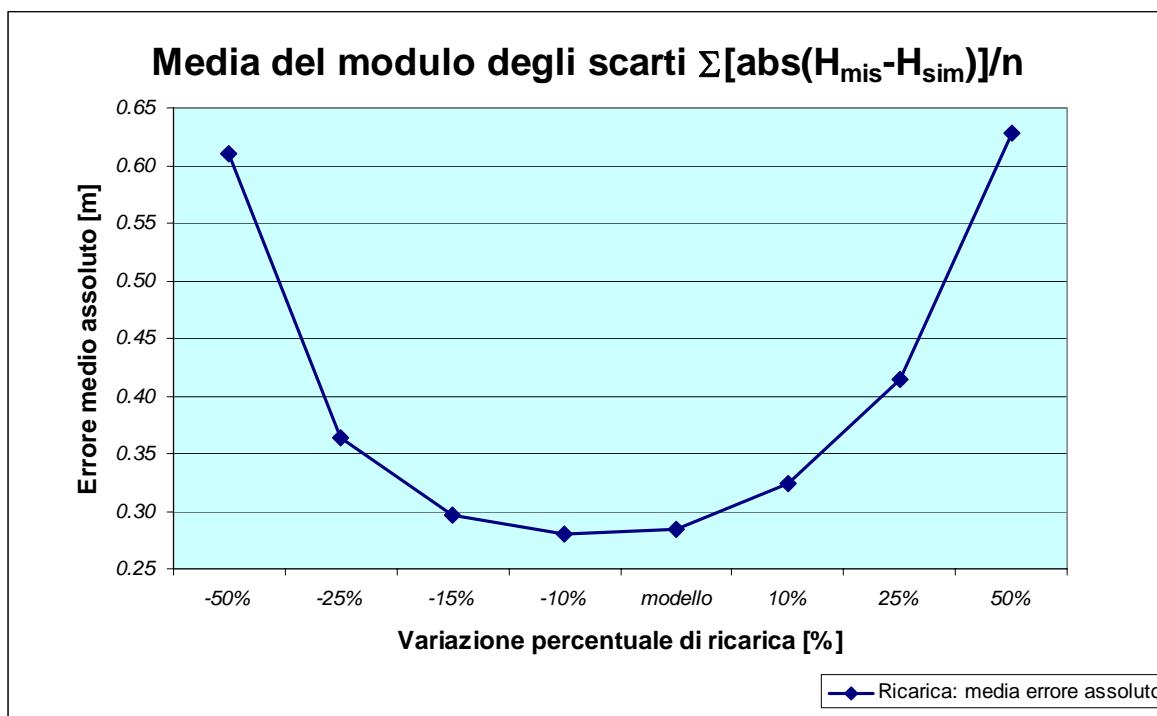


Figura 8.2 – Scarti medi assoluti in relazione alla variazione percentuale di ricarica superficiale.

Al termine delle procedure di calibrazione, la media degli scarti (differenza carico misurato – carico simulato) è risultata di 5,5 centimetri. L'errore medio sul modulo degli scarti è di 28,4 centimetri. Il grafico in Figura 8.3 mostra la dispersione dei valori di carico misurato (posti in ordinata) rispetto al carico simulato (in ascissa).

La Figura 8.4 mostra le distribuzioni degli scarti sui target utilizzati. Si nota, lungo la linea di costa del Nuovo Petrolchimico, uno scostamento generale dei valori misurati da 13 a 19 centimetri in più rispetto ai valori simulati. Si ritiene che il motivo possa consistere nell'aver imposto per il mare un valore di quota di 0,0 m, anziché 0,20 m come era stato previsto per la calibrazione della versione precedente del modello matematico, realizzato con il codice Modflow (V.1_04). Tuttavia, non avendosi a disposizione il mareogramma del periodo, e non essendo al momento noti con precisione i meccanismi di propagazione della marea all'interno dell'acquifero, si è preferito impostare il mare allo stesso valore di carico piezometrico utilizzato anche nelle simulazioni, valore che comporta una sovrastima delle portate in uscita verso la laguna e che pertanto risulta a favore di sicurezza.

Si rileva la presenza di alcuni valori anomali misurati in piezometri isolati, quali N_3312, M0123 e N10015. Si suppone che il rilevamento di misure molto discoste rispetto a quelle rilevate in altri piezometri vicini sia dovuta alla presenza di anomalie molto localizzate oppure ad errori nella misura o nella quotatura del piezometro.

Altri scostamenti rilevanti nella piezometria si rilevano lungo il lato nord della Darsena della Rana, dove i sondaggi M0114 e N_2760, posti a circa 10 metri di distanza dalla costa, mostrano valori di carico superiori a 0,5 metri s.l.m.. Nella valutazione dell'errore nei punti di controllo fronte laguna è necessario tenere presente che, dato il numero elevato di piezometri presenti nel sito, durante la campagna piezometrica le misura vengono svolte nell'arco di alcune ore, pertanto, data la marcata influenza della marea sui livelli piezometrici di tali piezometri (Figura 8.5), è possibile che si abbiano valori anomali o differenze marcate legate a questo fattore.

Il piezometro M0015 dà uno scarto di oltre un metro, attribuibile presumibilmente alle particolare condizioni di deflusso che si instaurano nell'area immediatamente ad ovest dell'area discariche.

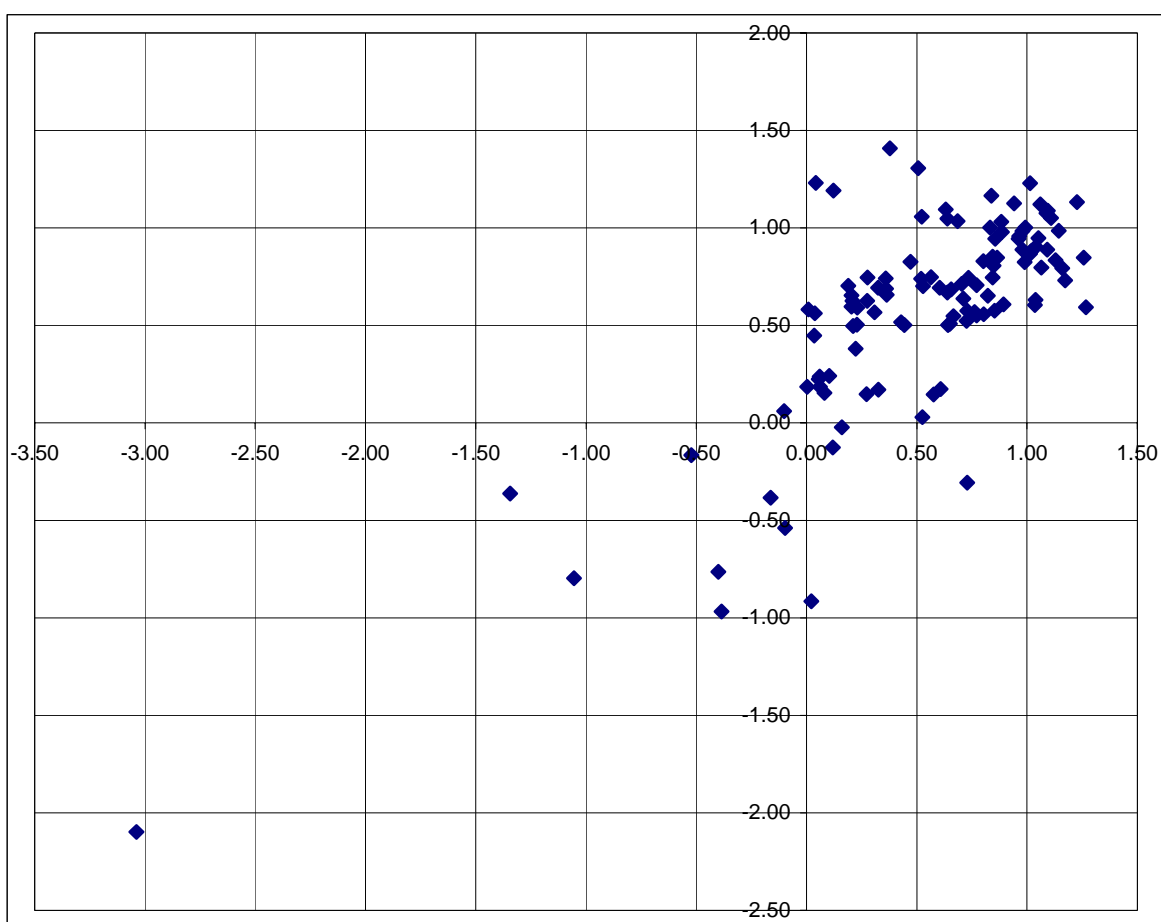


Figura 8.3 – Calibrazione dicembre 2003 –Plot dei valori di carico misurato (ordinate) e simulato (ascisse).

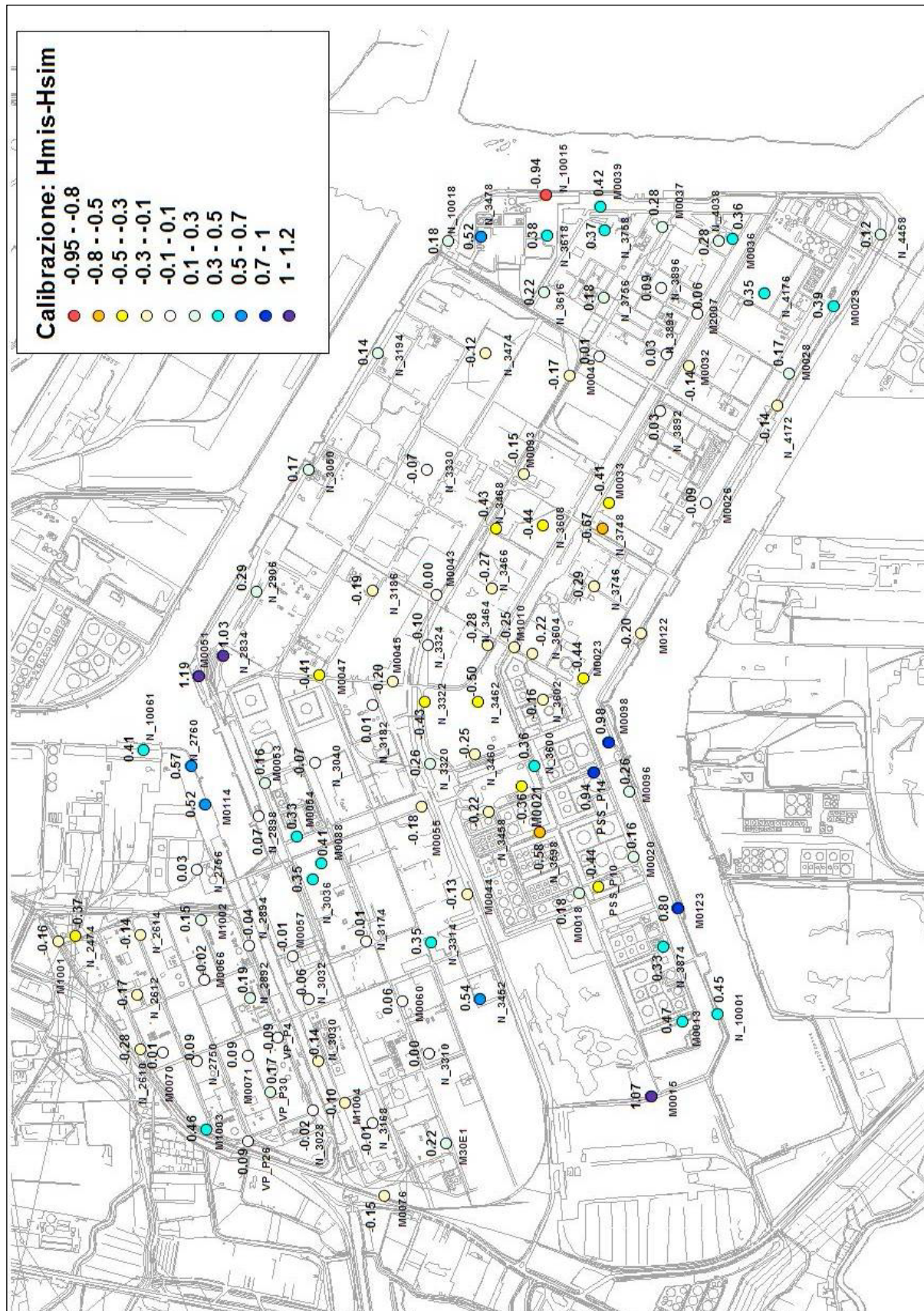


Figura 8.4 – Calibrazione dicembre 2003 – Differenza tra valori di carico misurati e simulati.

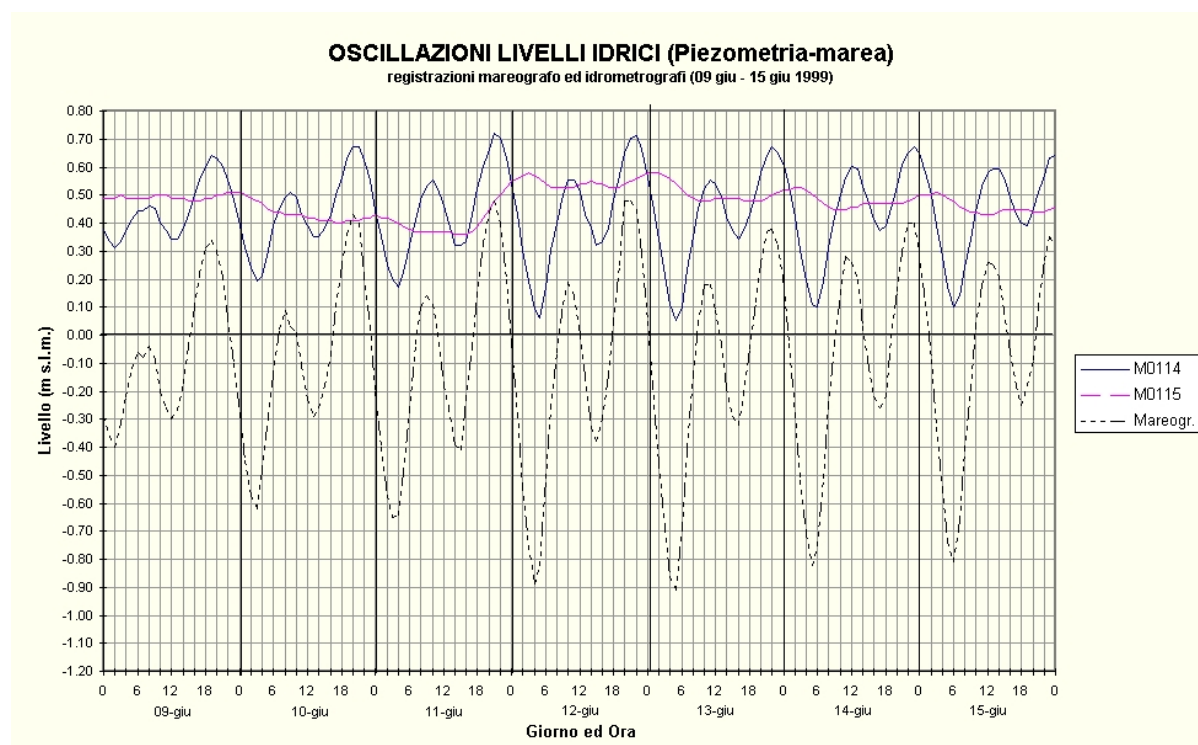


Figura 8.5 – Oscillazioni dei livelli misurati nei piezometri M0114 (prima falda) e M0115(riporto) in relazione alle oscillazioni della marea registrate dal mareografo.

La piezometria simulata è riportata in Figura 8.6. L'area segnata in rosso non è interessata dalle opere di messa in sicurezza d'emergenza oggetto del presente documento, in quanto società non aderente al Protocollo di intesa tra le aziende coinsediate del Petrolchimico e all'Accordo di Programma per la Chimica di Porto Marghera.

Per un confronto con la piezometria misurata nello stesso periodo di riferimento, si faccia riferimento a quella rappresentata in Figura 2.2. Entrambe le piezometrie sono riportate anche nelle Tavole allegate.

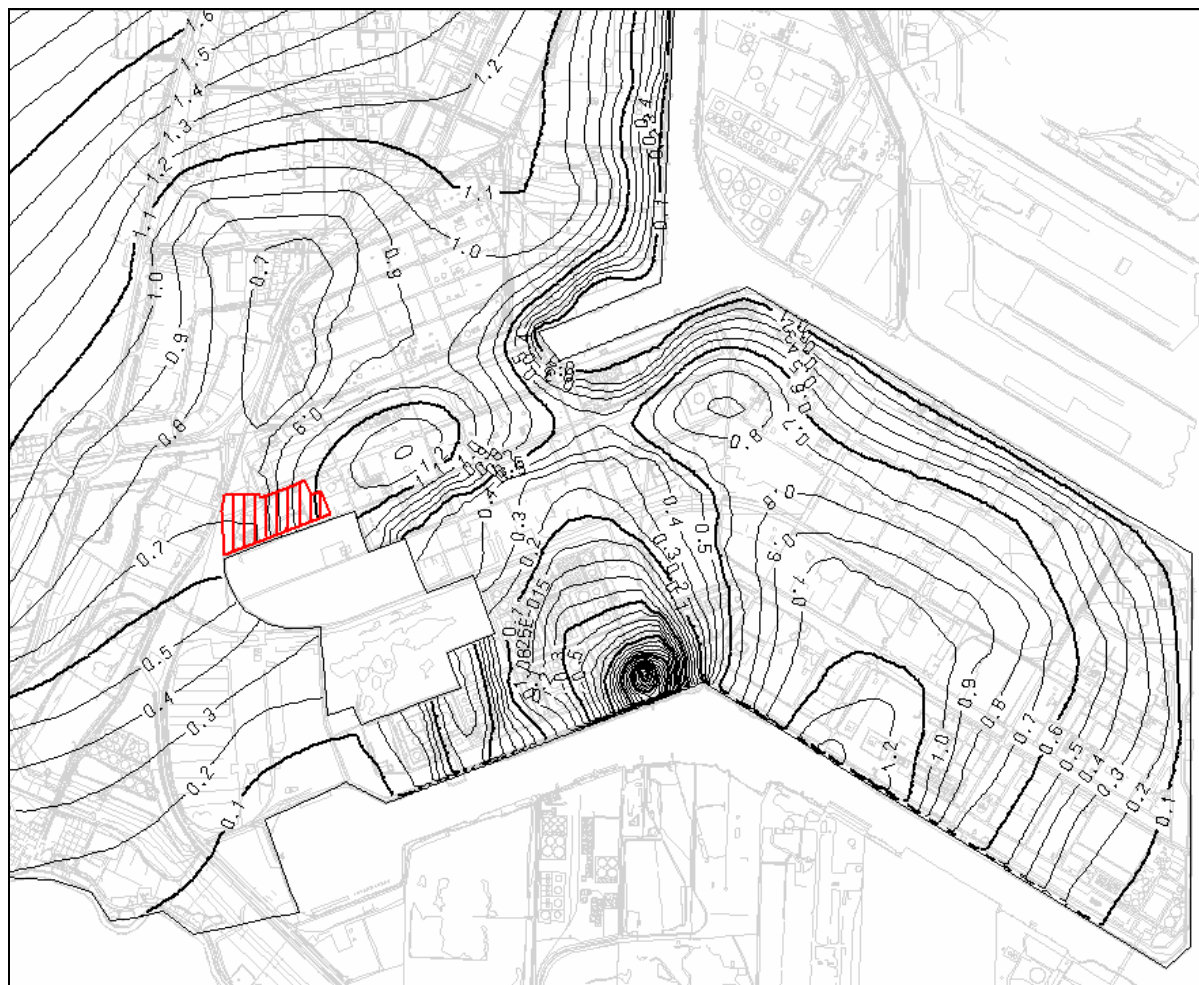


Figura 8.6 – Calibrazione dicembre 2003 – Piezometria simulata della prima falda.

Si descrive di seguito il bilancio di massa per il modello calibrato sulla base delle condizioni di deflusso reali osservate nel 2003.

Il termine di entrata più consistente è rappresentato dalla ricarica (R) che è stato impostato, sulla base delle elaborazioni analitiche condotte sui dati termo-pluviometrici relativi al 2003, pari a 6,4 l/s (Tabella 8.2). Nell'ambito delle voci di uscita, il deflusso verso laguna ammonta a 3,84 l/s, mentre quello verso l'entroterra risulta essere pari a 0,61 l/s. Il flusso in uscita risulta essere legato a tre aree: l'Isola 46, l'Isola 33 e alla porzione del Vecchio Petrolchimico costeggiato esternamente dal canale Lusore-Brentelle. Mentre in quest'ultimo caso l'acqua di falda in uscita entra direttamente nel Lusore-Brentelle, e quindi in laguna, negli altri due casi la piezometria indica che le acque defluiscono verso sud, costeggiando il confine dello Stabilimento e raggiungendo quindi la laguna in corrispondenza della testa del Canale Industriale Sud (Figura 8.8). Le evidenze disponibili dimostrano altresì che la presenza di alti piezometrici non determina alcun andamento centrifugo della falda, ma al più una minima deviazione locale rispetto alla direzione di flusso regionale della stessa, che prende il

sopravvento per effetto dell'azione di richiamo dei canali che di fatto drenano l'acqua derivante dall'alto piezometrico.

Complessivamente quindi il quantitativo di acqua che raggiunge la laguna, recapito naturale delle acque di falda, risulta essere pari a 4,56 l/s (quantitativo dato dalla somma dell'uscita diretta in Laguna, verso l'entroterra e verso il canale Lusore Brentelle).

(Valori in l/s)	USCITE	ENTRATE
Ricarica (R)	-	6.4
Vasca API	0.14	-
Vasca ATI	1.88	-
Laguna	3.84	-
Entroterra	0.61	0.18
Lusore Brentelle	0.11	-
TOT	6.58	6.58

Tabella 8.2 – Elementi del bilancio di massa del modello calibrato sulla base dei dati reali osservati nel 2003.

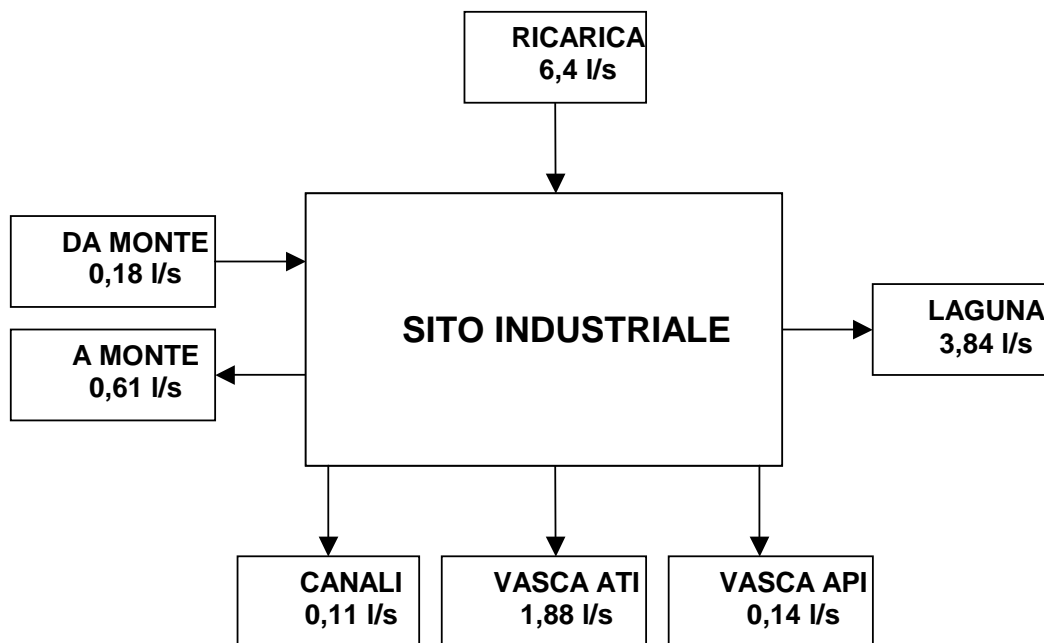


Figura 8.7 – Rappresentazione schematica degli elementi del bilancio di massa del modello calibrato sulla base delle condizioni di deflusso reali osservate nel 2003.

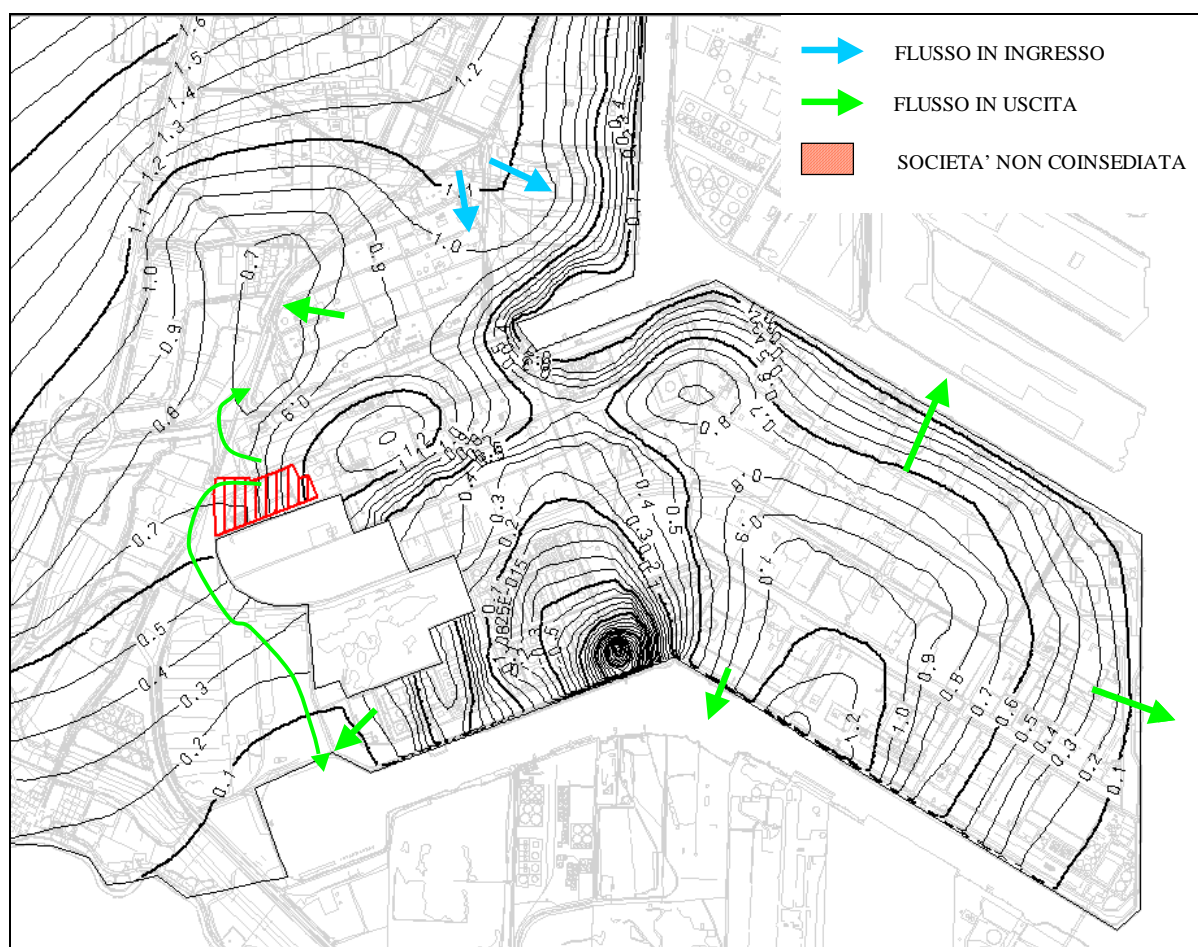


Figura 8.8 – Piezometria simulata dal modello calibrato sulla base delle condizioni di deflusso reali osservate nel 2003.

9 - SIMULAZIONE DEGLI INTERVENTI DI DRENAGGIO A MARGINAMENTO PARZIALE

9.1 INTRODUZIONE

Gli interventi in progetto nel sito del Petrolchimico richiedono, a causa dell'estensione e della complessità del sito, l'utilizzo di metodologie di intervento differenti, i cui periodi di esecuzione e di attività si estendono su diversi anni. Gli interventi oggetto di questa relazione hanno due scopi:

- effettuare il drenaggio dell'intera porzione della prima falda che afferisce a mare o comunque all'esterno dello stabilimento;
- scongiurare, una volta completata la conterminazione dell'intero perimetro dello stabilimento, l'instaurarsi di carichi idraulici in grado di minare la stabilità della palancolata;
- eseguire il disinquinamento delle acque di falda oggetto di drenaggio, ed in questo modo anche dei terreni.

Questa prima simulazione ha lo scopo di definire la posizione e la portata indicativa da drenare dalla prima falda tramite opere di drenaggio orizzontali e puntuali, al fine di inibire la fuoriuscita delle acque della prima falda ai canali lagunari.

Il funzionamento di tali opere è previsto anche per il periodo in cui sarà completata la conterminazione dello Stabilimento, con lo scopo di mantenere uniforme il carico della falda scongiurando il pericolo di innalzamenti eccessivi. Le simulazioni eseguite con tale configurazione idraulica sono descritte nel capitolo successivo.

E' utile chiarire che l'oggetto del presente capitolo è una simulazione previsionale condotta ai soli fini della progettazione delle opere di bonifica della prima falda, da non confondersi con la simulazione di calibrazione (modello calibrato) che rappresentava i dati reali di deflusso della falda. Infatti la simulazione previsionale è fondata sull'adozione di un fattore di sicurezza basato cautelativamente su un termine di ricarica derivato dalla media trentennale dei dati termo-pluviometrici disponibili per il Petrolchimico.

Pertanto, tale modello non rappresenta le reali uscite ed entrate dal sistema attualmente osservate (riportate nel Capitolo 8), ma quelle adottate cautelativamente solo ai fini del dimensionamento delle opere in progetto, che devono essere in grado di garantire il buon

funzionamento del sistema di drenaggio anche in condizioni eccezionali e sostanzialmente differenti rispetto a quelle osservate.

9.2 ELEMENTI DI DRENAGGIO

E' stata implementata una simulazione che tiene conto del funzionamento delle opere già messe in opera (palancolatura con dreni in zona Darsena della Rana, lati nord e sud; palancolatura lungo il Canale Industriale Sud; vasca ATI) e che ha portato alla determinazione della migliore configurazione per quanto riguarda gli interventi integrativi, i quali comportano, nel complesso, un drenaggio pari a 13 l/s, ripartito tra i diversi interventi, come riportato in Tabella 9.1.

Più nel dettaglio, lo scenario simulato prevede, oltre alle opere già realizzate di cui si è detto, i seguenti interventi di drenaggio:

- due punti immediatamente a sud della discarica 45-48 (P2);
- un dreno al confine tra le aree comuni Sud-Est e l'area Cracking (D3);
- sette punti fronte laguna in area DOW (P4);
- tre punti alle spalle dell'area Edison (P5);
- sette punti in area Montefibre (P6);
- un dreno in area AS (D7);
- due dreni in area AC-NO (D8 e D9);
- due dreni in area centrale della penisola Nuovo Petrolchimico (D10 e D11);
- quattro punti di drenaggio in area TDI (P12);
- sei dreni in area Vecchio Petrolchimico (V1, V2, ..., V6);
- un dreno in area Transped (DT).

L'ubicazione di tali opere è visualizzata in Figura 9.1.

	l/s tot	l/s ogni punto
P2	0.6	0.3
D3	1.2	
P4	0.24	0.034
P5	0.3	0.1
P6	1.4	0.2
D7	0.37	
D8	0.3	
D9	0.3	
D10	0.4	
D11	0.4	
P12	0.6	0.15
DT	0.45	
V1	1.5	
V2	1	
V3	0.6	
V4	0.25	
V5	0.35	
V6	0.2	
Dreni NR	0.4	0.2
Dreni SR	0.35	0.03
Vasca ATI	1.8	
TOTALE	13.01	

Tabella 9.1 – Interventi di drenaggio simulati.

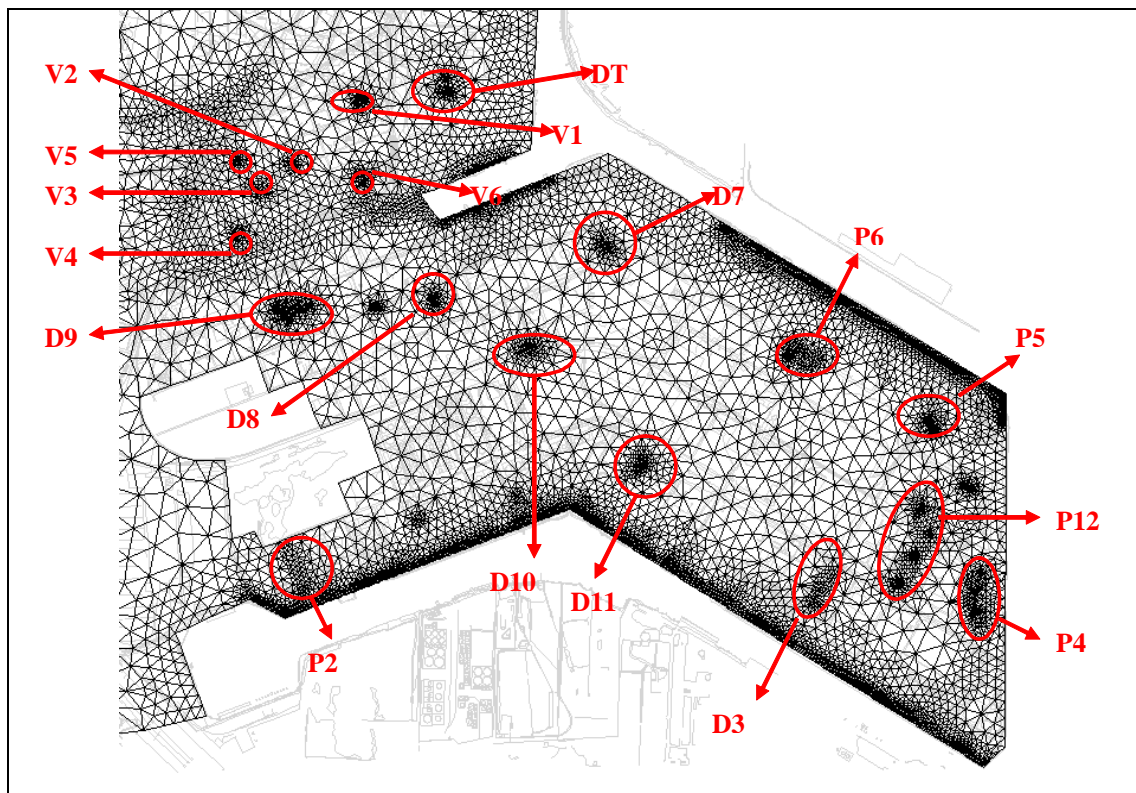


Figura 9.1 – Ubicazione degli interventi di progetto considerati per la simulazione.

9.3 PIEZOMETRIA SIMULATA DELLA PRIMA FALDA

In Figura 9.2 è riportata la ricostruzione della superficie piezometrica della prima falda, come risultante dalla simulazione effettuata.

Gli elementi di drenaggio consentono di intercettare l'intero flusso della falda diretto verso la laguna. Come si vede, lungo tutta l'area prospiciente i canali, ove non presente la palancola, si ha inversione di flusso, con un conseguente, seppur limitato, richiamo di acqua dalla laguna. L'inversione del flusso idrico è necessaria al fine di chiudere idraulicamente il sito, evitando la presenza di stagnazioni o deflussi residui ai canali.

I valori di portata utilizzati nella simulazione sono stati determinati in modo da non generare abbassamenti del livello di falda superiori a tre metri, che potrebbero causare cedimenti del terreno.

In corrispondenza del dreno in area Transped, l'abbassamento risultante è maggiore (3,6 metri circa) in quanto per garantire la chiusura in quell'area non è possibile drenare una portata inferiore a 0,45 l/s.

Va da sé che i valori di portata suggeriti per le postazioni di drenaggio dovranno essere necessariamente validati una volta messe in opera. In tale occasione, una revisione dei valori di permeabilità utilizzati per le aree interessate potrà portare ad una revisione delle portate da emungere, in modo da ottimizzare il drenaggio evitando l'instaurarsi di carichi piezometrici troppo bassi.



Figura 9.2 – Piezometria simulata della prima falda.

9.4 SIMULAZIONE PREVISIONALE: BILANCIO DI MASSA

Nel presente paragrafo viene presentato il bilancio di massa per la simulazione previsionale condotta ai fini della progettazione delle opere di bonifica della prima falda, fondata sull'adozione di un fattore di sicurezza che tiene conto operativamente di un termine di ricarica derivato dalla media pluriennale (1968 – 2003) dei dati termo-pluviometrici disponibili e non rappresenta le uscite ed entrate medie del sistema osservate nell'ultimo decennio (riportate nel capitolo 8), ma quelle adottate cautelativamente solo ai fini del dimensionamento delle opere in progetto.

Il termine di entrata più consistente è rappresentato dalla ricarica (R) che è stata impostata, sulla base delle elaborazioni analitiche presentate nel paragrafo 7.5, pari a 8,43 l/s. Nell'ambito delle voci di uscita quella più consistente è invece rappresentata dai drenaggi operati attraverso

le opere in progetto che, sommati al drenaggio della vasca ATI, che si prevede di mantenere in esercizio, risultano ammontare a 13,0 l/s.

Nelle condizioni di drenaggio previste dal progetto le fuoriuscite di acqua dall'area del Petrolchimico risultano pressoché nulle:

- 0,03 l/s fuoriescono verso laguna (con un decremento del 99,5% rispetto alla situazione senza sistemi di drenaggio attivi) e sono determinati dalle perdite legate al sistema di palancolatura realizzato dal MAV;
- 0,22 l/s fuoriescono verso monte (con un decremento dell'80% rispetto alla situazione senza sistemi di drenaggio attivi) nei pressi dell'Isola 33, di proprietà di Società non facente parte delle Società firmatarie del presente progetto, dove si ha una locale circolazione idrica legata all'alto piezometrico che si crea in questo punto (Figura 9.3).

La piezometria simulata indica che le acque deviano immediatamente verso sud, costeggiando il confine dello stabilimento e raggiungendo quindi la laguna in corrispondenza della testa del Canale Industriale Sud (Figura 8.4). Le evidenze disponibili dimostrano altresì che la presenza di alti piezometrici non comporta alcun andamento centrifugo della falda, ma determina al più, una minima deviazione locale rispetto alla direzione di flusso regionale della stessa che prende il sopravvento per effetto dell'azione di richiamo dei canali che di fatto drenano l'acqua derivante dall'alto piezometrico.

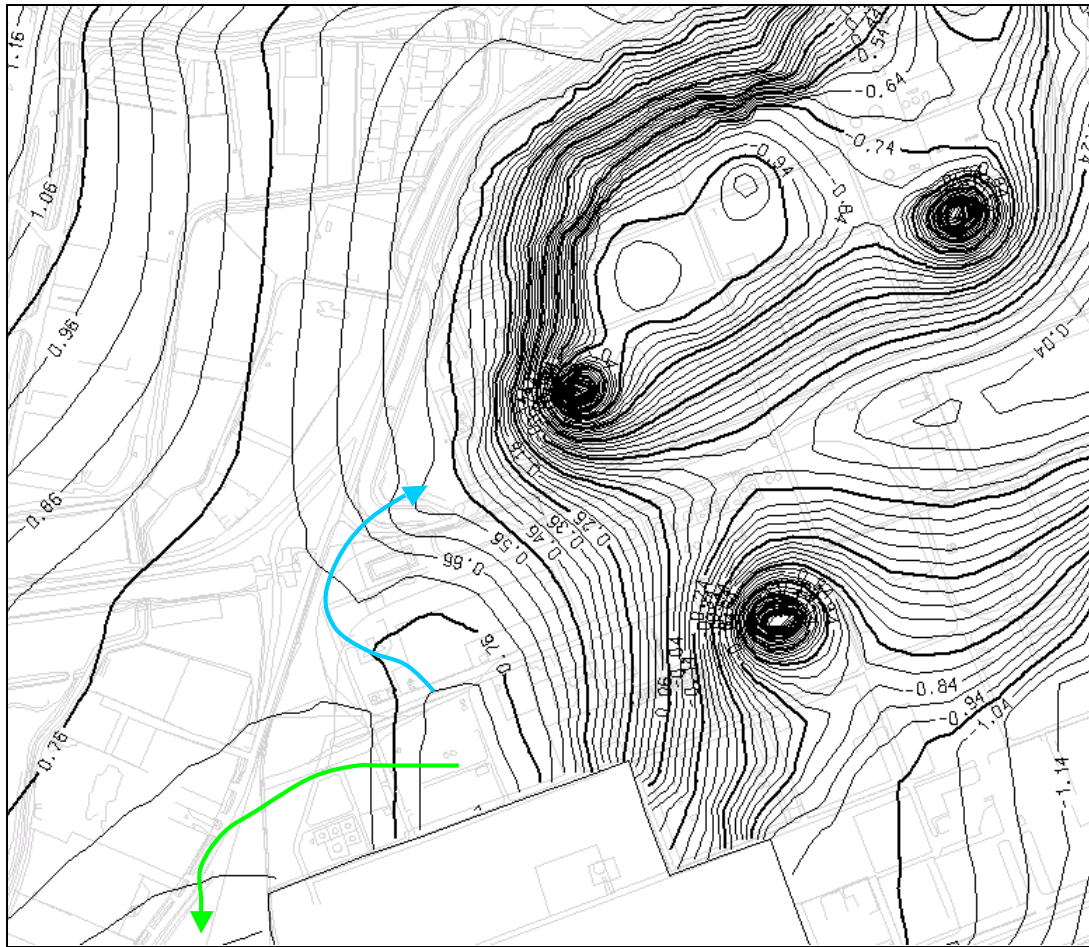


Figura 9.3 – Dettaglio della piezometria presso l’Isola 33, di proprietà altrui, e tracciamento delle linee di flusso che da questa fuoriescono verso l’entroterra proseguendo verso sud raggiungendo la testa del Canale Industriale Sud.

(Valori in l/s)	USCITE	ENTRATE
Ricarica (R)	-	8.43
Drenaggi	11.20	-
Vasca ATI	1.79	-
Laguna	0.03	1.33
Entroterra	0.22	3.53
Lusore Brentelle	0.04	-
TOT	13.29	13.29

Tabella 9.2 – Elementi del bilancio di massa con sistemi di drenaggio attivi nello scenario di simulazione basato su ricarica stimata su base trentennale.

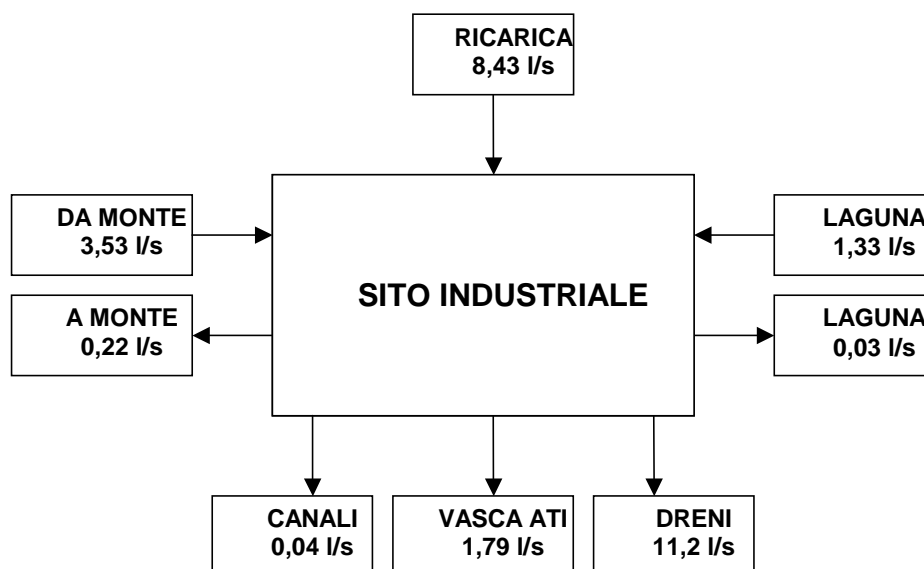


Figura 9.4 – Rappresentazione schematica degli elementi del bilancio di massa con sistemi di drenaggio attivi nello scenario di simulazione basato su ricarica stimata su base trentennale.

La differenza tra il quantitativo di acqua che s’infiltra nel sottosuolo (R) e il quantitativo drenato è legato all’inversione del flusso naturale della falda che viene determinato dalla messa in funzione dei sistemi di drenaggio: a sistemi attivi la fuoriuscita di acqua verso la laguna e verso l’entroterra risulta pressoché nullo (Tabella 9.2), ma viene richiamata dai canali lagunari (1,33 l/s) e dall’entroterra (3,53 l/s) verso il Petrolchimico (Figura 9.5). Infatti il raggiungimento degli obiettivi del sistema di drenaggio progettato può essere conseguito, per le condizioni del sistema idrogeologico dotato di scarsissime proprietà idrauliche, solo forzando le condizioni naturali di flusso ovvero richiamando acqua dai canali lagunari e dall’entroterra.

Tale inversione del flusso seppur inevitabile, trattandosi di un sistema di barriera idraulica, è stato minimizzato attraverso una disposizione ottimale dei sistemi di drenaggio studiati attraverso il modello matematico presentato nei precedenti paragrafi.

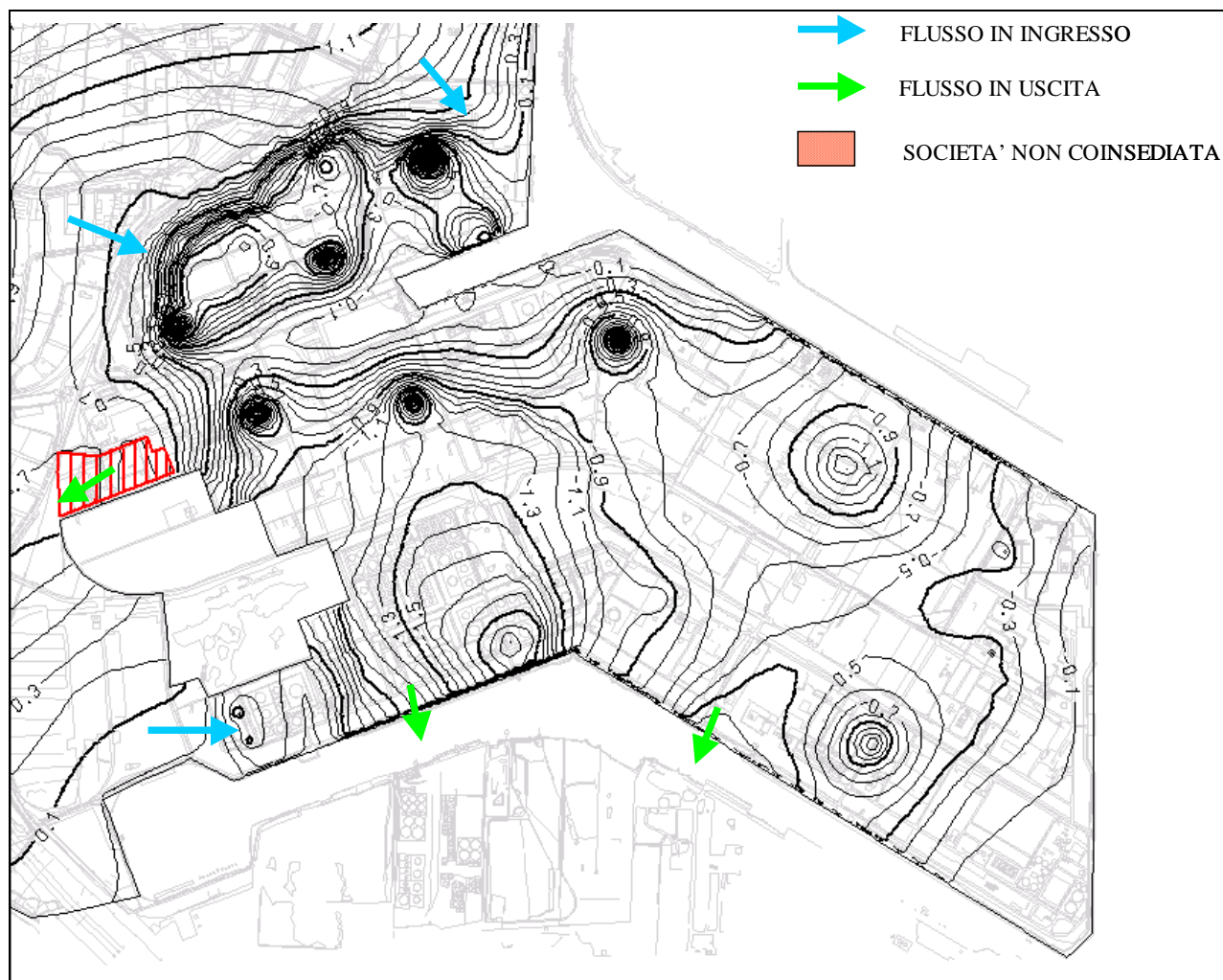


Figura 9.5 - Piezometria con sistemi di drenaggio attivi ed indicazione della direzione di scambio idrico tra il Petrolchimico e l'ambiente esterno.

10 - SIMULAZIONE DEGLI INTERVENTI DI DRENAGGIO A MARGINAMENTO COMPLETO

10.1 INTRODUZIONE

Le simulazioni descritte in questo capitolo assumono quale ipotesi di lavoro il completamento del marginamento sia lungo le sponde lagunari che sul lato ovest dello stabilimento (retromarginamento).

Scopo di tali simulazioni è prevedere i quantitativi d'acqua che sarà necessario estrarre attraverso i drenaggi una volta isolata completamente la penisola del Petrolchimico dall'ambiente esterno.

E' stata eseguita una prima simulazione a sistema chiuso, mantenendo però il medesimo numero di opere di drenaggio e la medesima ubicazione prevista per il sistema con marginamento parzialmente completato.

Si è pertanto agito solo sulle portate drenate dalle singole opere , in generale abbassandole, giungendo a una portata di drenaggio complessiva pari a 9 l/s (contro i 13 l/s con marginamento parzialmente completato), ripartita tra i diversi elementi di drenaggio come riportato in Tabella 10.1.

La Figura 10.1 mostra il sistema di marginamento, così come impostato nel modello matematico.

L'ubicazione di tali opere è visualizzata in Figura 10.2.

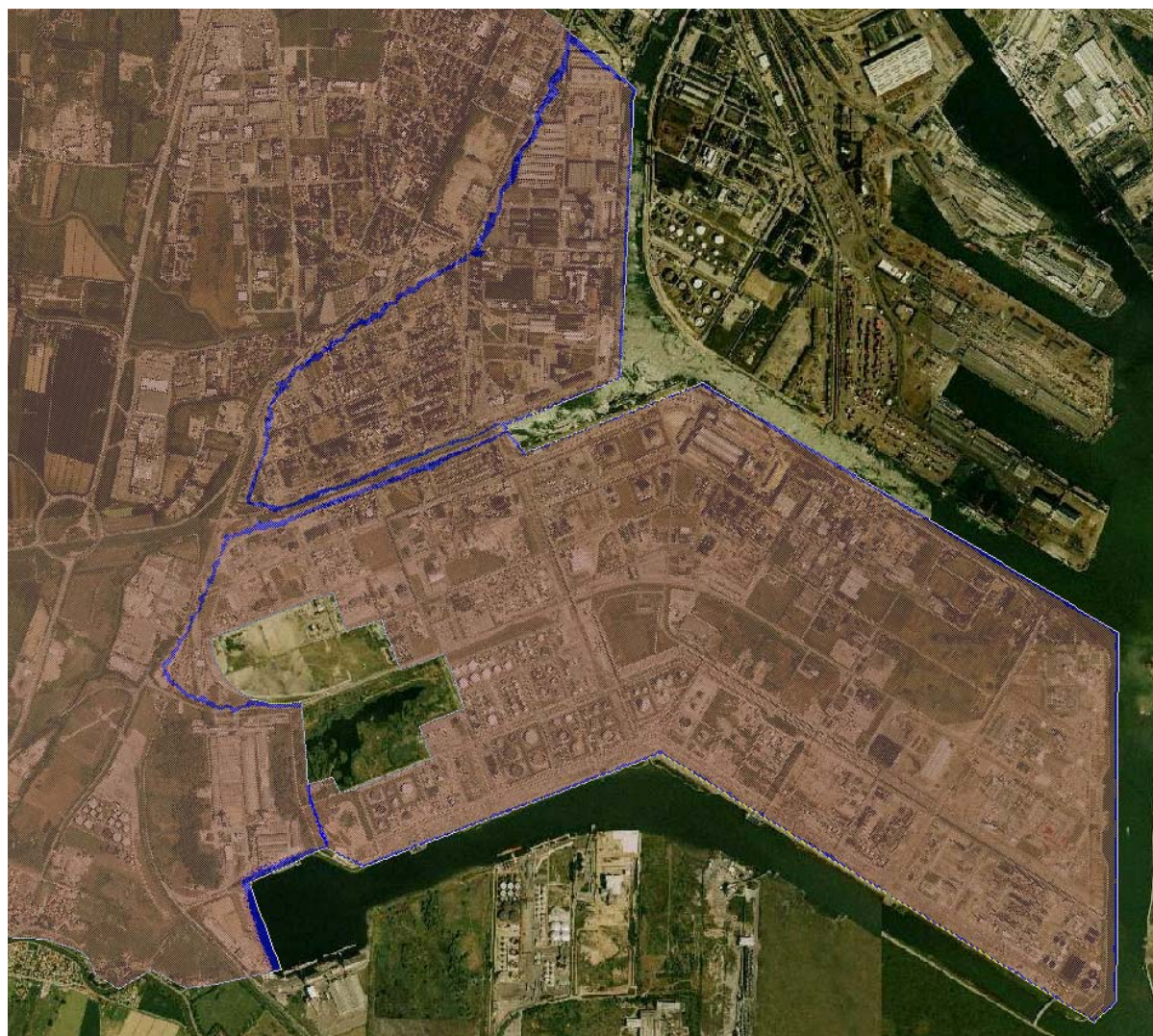


Figura 10.1 – Dettaglio del modello matematico con l'area dello Stabilimento – in blu gli elementi che simulano il sistema di marginamento.

	l/s tot	l/s ogni punto
P2	0.23	0.116
D3	1.04	
P4	0.19	0.026
P5	0.23	0.077
P6	1.04	0.149
D7	0.23	
D8	0.20	
D9	0.41	
D10	0.38	
D11	0.38	
P12	0.52	0.130
DT	0.28	
V1	0.15	
V2	0.15	
V3	0.15	
V4	0.15	
V5	0.15	
V6	0.15	
Dreni NR	0.30	0.150
Dreni SR	0.60	0.046
Vasche ATI/API	2.09	
TOTALE	9.00	

Tabella 10.1 – Interventi di drenaggio simulati.

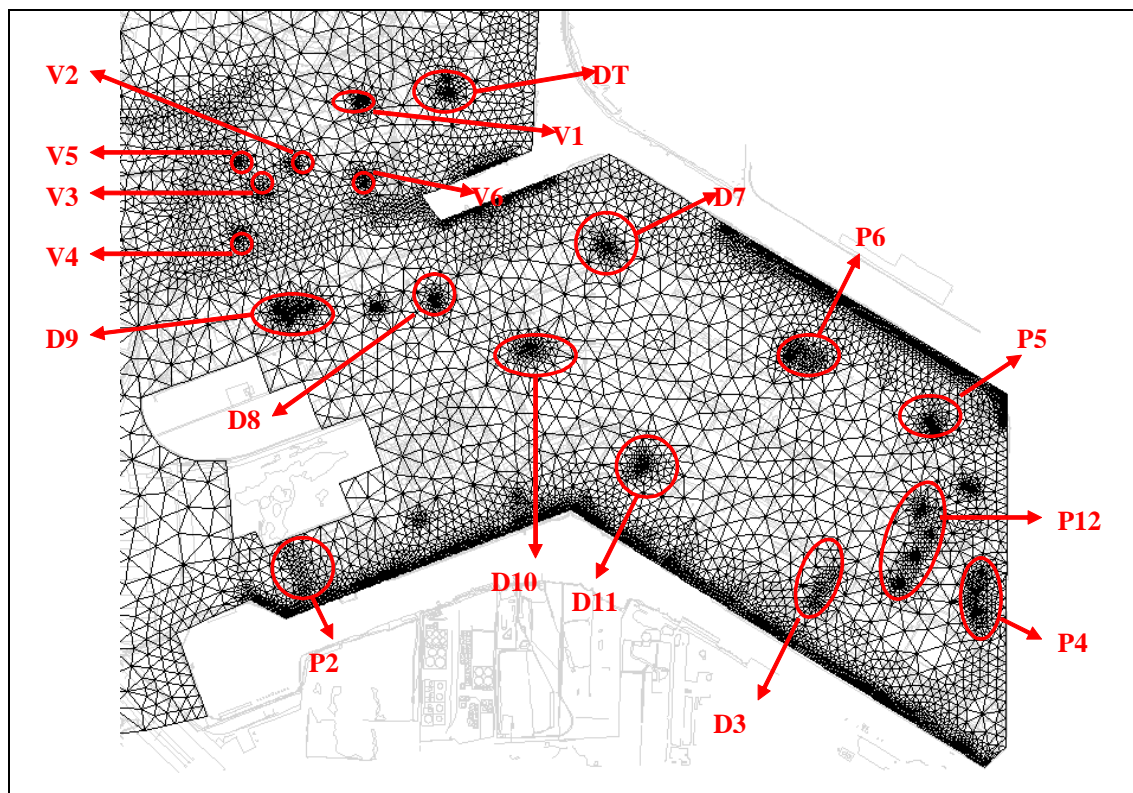


Figura 10.2 – Ubicazione degli interventi di progetto considerati per la simulazione.

10.2 PIEZOMETRIA SIMULATA DELLA PRIMA FALDA

In Figura 10.3 è riportata la ricostruzione della superficie piezometrica della prima falda, come risultante dalla simulazione effettuata.

Come per la precedente simulazione, le portate sono state attribuite ai diversi elementi in modo da contenere gli abbassamenti del livello di falda al di sotto di tre metri rispetto alla piezometria indisturbata, in modo tale da scongiurare la sopravvenienza di fenomeni di subsidenza del terreno; al contempo, si è cercato di contenere l'innalzamento del carico piezometrico: non potendo più defluire naturalmente, le acque di falda tendono ad aumentare di pressione o di livello all'interno dello stabilimento.

A questo proposito si evidenzia la presenza di un'area, situata a nord-ovest rispetto alla discarica – ex isole 31 – 32, (Figura 10.4), nella quale si ha un innalzamento anomalo della superficie piezometrica, la quale giunge nel modello fino a livelli superiori a 5,5 m s.l.m., superando la quota di piano campagna. Il fenomeno è causato dalla geometria dell'area, delimitata su tre lati da opere di impermeabilizzazione del sottosuolo (retromarginamento e discariche in sicurezza permanente), oltre che dalle basse permeabilità attribuite al primo acquifero nella porzione a ridosso del canale Lusore – Brentelle.

La postazione di drenaggio più prossima all'area è la D9, che drena una portata massima di 0,4 litri/secondo, oltre la quale gli abbassamenti indotti nei pressi dell'area di drenaggio risulterebbero eccessivi. Inoltre, la postazione è troppo lontana per poter influire efficacemente sulla piezometria dell'area dove si verificherebbe l'innalzamento eccessivo.

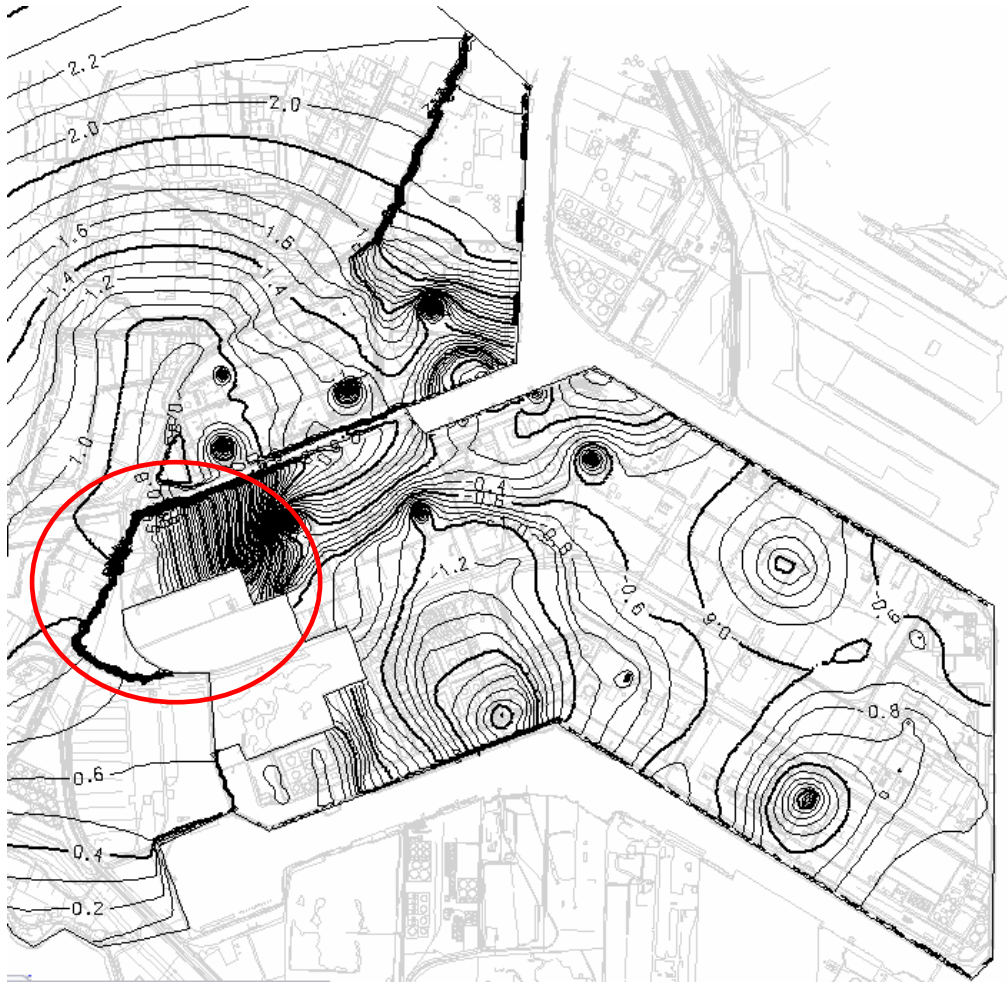


Figura 10.3 – Piezometria simulata della prima falda; cerchiata in rosso l'area caratterizzata dal forte innalzamento della superficie piezometrica.



Figura 10.4 – Dettaglio della piezometria nell'area in cui si registra l'innalzamento della falda.

Le osservazioni riportate hanno evidenziato la necessità di una seconda simulazione che preveda un intervento ad hoc, avente lo scopo di drenare la porzione delle acque di pioggia che s'infiltra nel sottosuolo e, non potendo più defluire secondo i percorsi naturali, si accumula nell'area.

La nuova simulazione prevede l'aggiunta di un ulteriore punto di prelievo (denominato con la sigla P13) che consenta di limitare l'innalzamento della superficie piezometrica nell'area situata a nord-ovest delle aree in messa in sicurezza permanente, limitando la sovrapposizione degli effetti con quelli prodotti dal dreno D9.

Alla nuova opera è stata attribuita una portata di drenaggio di 0,29 l/s.

La nuova configurazione (Figura 10.5) prevede un drenaggio totale pari a 9,18 l/s, suddivisi tra le diverse opere come specificato in tabella 10.2.

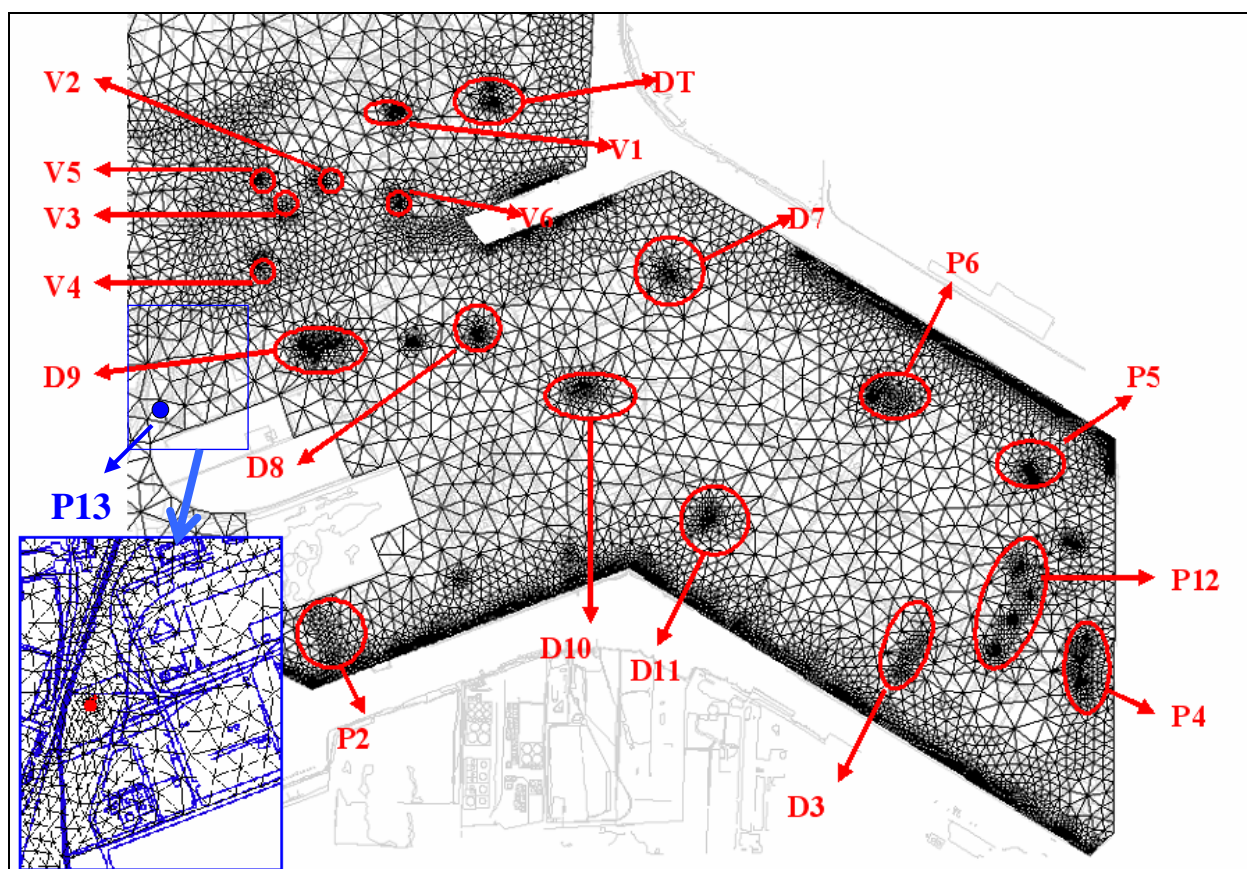


Figura 10.5 – Configurazione finale degli interventi di drenaggio simulati: in blu la postazione aggiunta (P13).

	Prelievo totale [l/s]	Prelievo singolo punto [l/s]
<i>P2</i>	0.23	0.116
<i>D3</i>	1.04	
<i>P4</i>	0.19	0.026
<i>P5</i>	0.23	0.077
<i>P6</i>	1.04	0.149
<i>D7</i>	0.23	
<i>D8</i>	0.20	
<i>D9</i>	0.29	
<i>D10</i>	0.38	
<i>D11</i>	0.38	
<i>P12</i>	0.52	0.130
<i>P13</i>	0.29	
<i>DT</i>	0.28	
<i>V1</i>	0.15	
<i>V2</i>	0.15	
<i>V3</i>	0.15	
<i>V4</i>	0.15	
<i>V5</i>	0.15	
<i>V6</i>	0.15	
<i>Dreni NR</i>	0.30	0.150
<i>Dreni SR</i>	0.60	0.046
<i>Vasche ATI/API</i>	2.09	
TOTALE		9.18

Tabella 10.2 – Interventi di drenaggio nella simulazione finale.

Si può osservare che la quantità d'acqua drenata nella nuova configurazione resta pressoché invariata rispetto alla precedente: l'introduzione di una postazione di drenaggio, tuttavia, consente di ottenere una distribuzione migliore dei carichi piezometrici.

La postazione P13, infatti, consente da un lato di diminuire la portata d'acqua drenata in D9, contenendo l'abbassamento del carico piezometrico nell'area circostante; dall'altro permette di mantenere i livelli piezometrici all'interno dell'area a sud del canale Lusore – Brentelle su valori simili a quelli attuali.

La superficie piezometrica di prima falda ricostruita tramite la nuova simulazione viene mostrata in Figura 10.6.



Figura 10.6 – Piezometria della prima falda, ricostruita sulla base della simulazione finale.

Va da sé che i valori di portata suggeriti per le postazioni di drenaggio dovranno essere necessariamente validati tramite test idraulici opportunamente previsti. In tale occasione, una revisione dei valori di permeabilità attribuiti al modello matematico potrà portare ad una parziale revisione delle portate di drenaggio, in modo da portare tutte le opere ai massimi livelli di efficacia.

10.3 SIMULAZIONE PREVISIONALE: BILANCIO DI MASSA

Nel presente paragrafo viene presentato il bilancio di massa per la simulazione previsionale condotta ai fini della progettazione delle opere di bonifica della prima falda, fondata sull'adozione di un fattore di sicurezza che tiene conto operativamente di un termine di ricarica derivato dalla media pluriennale (1968 – 2003) dei dati termo-pluviometrici disponibili e non rappresenta le uscite ed entrate medie del sistema osservate nell'ultimo decennio, ma quelle adottate cautelativamente solo ai fini del dimensionamento delle opere in progetto.

Il termine di entrata più consistente è rappresentato dalla ricarica (R) che è stata impostata al valore di 8,18 l/s, sulla base delle elaborazioni analitiche riportate nel paragrafo 7.5.

Il valore è leggermente inferiore poiché, sugli elementi del modello costituenti la palancolata, la ricarica è stata azzerata. Il termine di ingresso dall'entroterra (0,61 l/s) è rappresentato dalle acque provenienti dalla zona a nord dell'area Transped – Ex San Marco, in quanto il retromarginamento in questo settore non è stato progettato in corrispondenza del confine del Petrolchimico, ma diverse centinaia di metri a nord, poiché comprende un'altra area industriale. (Figura 10.1).

Come nelle simulazioni precedenti, per l'opera di marginamento è stato ipotizzata una permeabilità molto bassa; tuttavia si prevede, nelle condizioni stazionarie in cui è impostato il modello, che i dreni siano in grado di richiamare dalla laguna circa 0,5 l/s di acqua.

Nell'ambito delle voci di uscita, quella più consistente, e pressoché l'unica, è rappresentata dai drenaggi operati attraverso le opere in progetto che, sommati al drenaggio delle vasche ATI e API, che si prevede di mantenere in esercizio, risultano ammontare a 9,18 l/s¹.

Nelle condizioni di drenaggio previste dal progetto, con la chiusura totale del sito tramite palancolatura, le fuoriuscite di acqua dall'area del Petrolchimico risultano pressoché nulle:

- 0,01 l/s fuoriescono verso laguna (con un decremento del 99,8% rispetto alla situazione senza sistemi di drenaggio attivi) e sono determinati dalle perdite legate al sistema di palancolatura realizzato dal MAV;
- il canale Lusore – Brentelle, le cui sponde saranno cinte da palancole, drena una portata di 0,06 litri/secondo.

Tali valori sono così ridotti che possono, nel limite della variabilità con cui vengono attribuiti i parametri delle opere di marginamento all'interno del modello matematico, essere considerati nulli.

Il MAV prevede l'installazione di un sistema di drenaggio delle acque di impregnazione del riporto lungo l'intera estensione del sistema di marginamento. Tale struttura, che non è stata inserita nel modello matematico, contribuirà alla diminuzione delle portate drenate dai sistemi interni e degli scambi idrici con la laguna.

¹ - Le acque drenate, unitamente a quelle derivanti dagli interventi di bonifica dei suoli, saranno coltate verso l'impianto TAF previsto dal Progetto Definitivo di Bonifica delle acque di falda ovvero saranno gestite in ottemperanza alle vigenti normative in materia di rifiuti e convogliate verso idoneo impianto di trattamento

(Valori in l/s)	USCITE	ENTRATE
Ricarica (R)	-	8,18
Drenaggi	7,09	-
Vasca ATI	2,09	-
Laguna	0,01	0,46
Entrotterra	-	0,61
Lusore Brentelle	0,06	0,00
TOT	9,25	9,25

Tabella 10.3 – Elementi del bilancio di massa sulla porzione del modello occupata dallo Stabilimento – Sistemi di drenaggio attivi – Scenario di simulazione basato su ricarica stimata su base trentennale.

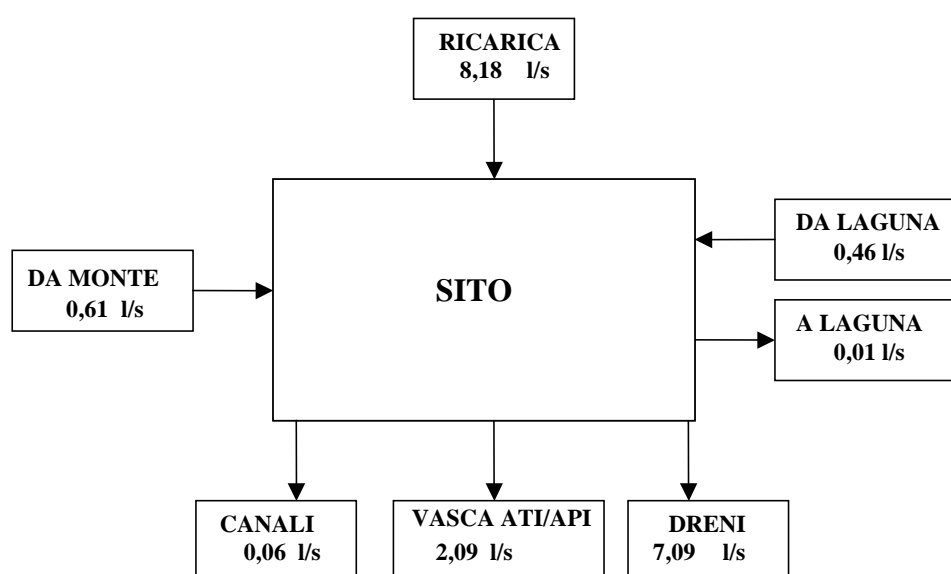


Figura 10.7 – Rappresentazione schematica degli elementi del bilancio di massa sulla porzione del modello occupata dallo Stabilimento – Sistemi di drenaggio attivi – Scenario di simulazione basato su ricarica stimata su base trentennale.

In conclusione, il modello matematico evidenzia la validità del sistema di drenaggio previsto per lo scenario con parziale completamento dell'opera di marginatura, anche nella configurazione con chiusura idraulica completa del sito. L'unica modifica da attuare, oltre all'adeguamento delle portate, riguarda l'introduzione di un nuovo punto di drenaggio (P13) che ha lo scopo di drenare le acque di pioggia che si accumulano nell'area tra le discariche (ex isole 31 e 32), la palancolata lungo il lato sud del canale Brentelle ed il retromarginamento.

Il deflusso di acqua in laguna viene ulteriormente ridotto, e passa da 0,03 l/s con parziale completamento dell'opera di marginatura, a 0,01 l/s con sistema chiuso. È necessario sottolineare che valori così prossimi allo zero possono essere considerati come un deflusso nullo. Infatti, valori di portata dell'ordine dei centilitri a secondo sono intrinsecamente legati alla variabilità propria delle condizioni al contorno e delle proprietà idrogeologiche, in particolar modo su un dominio così esteso.