



roselectra

**VALUTAZIONE DELLE INTERAZIONI TRA LE COSTRUZIONI  
INTERRATE DELLA NUOVA CENTRALE TURBOGAS DI ROSIGNANO  
SOLVAY E LA FALDA SOTTOSTANTE E LIMITROFA**

*A cura di  
Dr. Paolo Squarci  
Dr. Stefano Lorenzini  
Geologi*

**Gennaio 2005**



## **ELENCO DELLE TAVOLE E DEGLI ALLEGATI**

1. Tavola 1 - Idrogeologia dell'area dello stabilimento Solvay di Rosignano
2. Tavola 2 - Ricostruzione della base dell'acquifero in curve di livello in metri rispetto al livello mare.
3. Tavola 3 - Isopieze medie nell'acquifero dei depositi sabbioso – arenacei del Pleistocene superiore in corrispondenza dell'area interessata dal nuovo impianto.
4. Tavola 4 - Dimensioni delle strutture e immorsamento in falda.
5. Tavola 5 - Sezione idrogeologica attraverso la zona dove le strutture sono poste sotto alla superficie di falda.

**ALLEGATO 1** : Prove di portata per la determinazione dei parametri idraulici dell'acquifero.

**ALLEGATO 2**: Modello matematico di flusso dell'acquifero presente nell'area dell'impianto turbogas a Rosignano Solvay (LI).

## Indice

<b>1.Introduzione .....</b>	<b>3</b>
<b>2. L'assetto idrogeologico dell'area dello Stabilimento Solvay di Rosignano .....</b>	<b>4</b>
2.1 Elementi di geologia in relazione alle caratteristiche dei terreni presenti nel sottosuolo.....	4
2.2 La situazione idrogeologica .....	5
<b>3.Elementi per la valutazione dell'interferenza tra i manufatti interrati e la falda presente nel sottosuolo dell'area della nuova centrale turbogas. .....</b>	<b>6</b>
3.1 Il sistema idrogeologico e l'interferenza con i manufatti.....	6
3.2 Il modello matematico (Allegato 2) .....	8
<b>4.Conclusioni .....</b>	<b>9</b>

## **1.Introduzione**

Su incarico di Roselectra S.p.A è stata eseguita un'indagine idrogeologica per verificare se potevano esistere interferenze tra i manufatti interrati della nuova centrale che, in una zona molto limitata definita in pianta nelle TAVOLE 3 e 4, potevano interessare la falda, dovendo raggiungere una profondità superiore a 3 m dal piano campagna.

Con il presente studio si sono valutati prima in maniera qualitativa, poi in maniera quantitativa con modellizzazione numerica, gli effetti dei manufatti immersi in falda sul flusso naturale di questa e sulle interferenze con eventuali futuri interventi di bonifica idraulica da eseguirsi in aree limitrofe.

Per eseguire quanto premesso si sono raccolti tutti i dati relativi all'idrogeologia dell'area in esame per dare una prima valutazione della problematica e fornire dati affidabili alla modellizzazione numerica del flusso di falda in situazione naturale e in situazione modificata dalle strutture interrate.

I risultati dell'indagine sono illustrati attraverso una serie di tavole che sintetizzano l'assetto idrogeologico dell'area, una descrizione di questo assetto e le conclusioni che, utilizzando i risultati del modello matematico, quantificano gli effetti dei manufatti sulla circolazione idrica naturale.

Le variazioni messe in evidenza dallo studio sono modestissime, dell'ordine di +1 cm immediatamente a monte e -1cm immediatamente a valle delle fondazioni, valori del tutto trascurabili per quanto si riferisce alle variazioni di flusso nel vasto acquifero presente nel sottosuolo.

## **2. L'assetto idrogeologico dell'area dello Stabilimento Solvay di Rosignano**

### ***2.1 Elementi di geologia in relazione alle caratteristiche dei terreni presenti nel sottosuolo***

Il dettaglio stratigrafico locale deriva dalle indagini geognostiche realizzate per la progettazione della nuova centrale e da tutti i dati esistenti raccolti in precedenti indagini su questo territorio. In TAVOLA 1 viene rappresentata la distribuzione delle formazioni affioranti, accorpate a seconda delle caratteristiche geologico-tecniche ed idrogeologiche..

A partire dalle formazioni più profonde conosciute dalla geologia di superficie (TAVOLA 1) e con i numerosi sondaggi realizzati sul territorio a vari scopi, la successione è la seguente:

1. Argille ad Arctica islandica del Pleistocene inferiore: costituiscono il substrato ben stabilizzato di tutta la pianura costiera e sono presenti nel sottosuolo dell'area interessata dagli interventi per uno spessore di circa trecento metri.

*Hanno buone caratteristiche geotecniche essendo in genere sovraconsolidate. Avendo bassissima permeabilità costituiscono il livello di base principale della circolazione idrica freatica (o artesiani) nel sottosuolo della piana di Vada e Rosignano, compresi anche gli acquiferi legati ai depositi alluvionali del Fiume Fine.*

2. Sabbie, arenarie ("panchina") e conglomerati del Pleistocene Superiore.

Questo livello geologico è stato riconosciuto in numerosi sondaggi per scopi geognostici e per ricerche d'acqua nella piana di Vada e Rosignano. Come prima accennato giace sopra il substrato argilloso del Pleistocene inferiore ed è legato ad una complessa storia geologica che si sviluppa in tre episodi trasgressivi - regressivi a partire da 120 mila anni fa.

*Dal punto di vista geotecnico ha discrete qualità di portanza anche se la disomogenea cementazione che lo caratterizza fa sì che abbia caratteristiche litotecniche variabili da luogo a luogo. Ha caratteristiche di media permeabilità ( $K = 10^{-4}$  m/sec) e può contenere una falda acquifera.*

3. Sabbie limo sabbiose rosse (Sabbie di Donoratico) (Pleistocene superiore)

Al di sopra della "panchina" sono presenti su tutta la pianura costiera suoli sabbiosi di origine colluviale od eolica. Si tratta di terreni coesivi generalmente scarsamente permeabili, con spessore di circa 1-2m.

4. *Riperti di natura carbonatica che interessano tutta l'area industriale per uno spessore da 1 a 2. Si tratta di un livello addensato caratterizzato da elevata permeabilità*

## **2.2 La situazione idrogeologica**

Come prevedibile dalle conoscenze acquisite in studi precedentemente condotti all'interno dell'area dello Stabilimento Solvay i dati raccolti in corrispondenza dell'area della nuova centrale turbogas mostrano la presenza di un acquifero compreso nei sedimenti detritici del Pleistocene. Si tratta di una successione di strati di varia granulometria e vario grado di cementazione con sabbie ed arenarie, ghiaie sciolte e conglomerati ai quali si intercalano talora sottili strati di argille limose, discontinue.

L'acquifero è costituito dalle litologie più grossolane (sabbie, arenarie, ghiaie e conglomerati) caratterizzati nell'insieme da buona permeabilità e porosità

I dati esistenti hanno consentito la ricostruzione (in curve di livello s.l.m.) della base dell'acquifero (TAVOLA 2), corrispondente al tetto delle argille praticamente impermeabili del Pleistocene superiore. Questa ricostruzione, unitamente alla quota del piano campagna (generalmente +8,50 s.l.m.) consente di valutare su tutta l'area dello stabilimento ed in particolare nella zona della nuova centrale turbogas lo spessore dell'acquifero.

Le potenzialità idriche di questo acquifero non sono importanti nell'economia del rifornimento idrico a scopi civili ed industriali. L'acquifero è scarsamente protetto verso la superficie per la presenza di un suolo mediamente permeabile.

Attraverso la misura del livello di falda in vari pozzi privati ed in molti piezometri nell'area industriale è stato ricostruito l'andamento della superficie piezometrica, descritto con linee isopieze in m rispetto al livello mare (TAVOLE 1 e 3).

Si può notare che la superficie piezometrica ha una debole pendenza verso mare con un gradiente idraulico variabile, da monte a valle, mediamente di 1,3% fino all'altezza della Via Aurelia e 0,6% da qui alla linea di costa. La direzione di scorrimento della falda, ortogonale alle linee isofreatiche, è all'incirca da NE verso SO, con drenaggio principale naturalmente verso mare.

Considerando le quote della base dell'acquifero e della superficie piezometrica si può valutare lo spessore dell'acquifero saturo al di sotto della centrale che risulta essere di circa 9 metri.

Le prove di portata eseguite in un pozzo prossimo all'area in esame, realizzato nelle stesse condizioni idrogeologiche (vedi documentazione ed elaborati nell'allegato 1) mostrano valori di trasmissività caratteristici di formazioni sabbiose che variano tra  $1,08$  e  $1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$  per uno spessore d'acquifero di circa 9 metri.

### **3. Elementi per la valutazione dell'interferenza tra i manufatti interrati e la falda presente nel sottosuolo dell'area della nuova centrale turbogas.**

#### ***3.1 Il sistema idrogeologico e l'interferenza con i manufatti***

Gli elementi raccolti consentano di descrivere la geometria del sistema manufatto - acquifero. Nella TAVOLA 4 sono evidenziate le dimensioni delle aree nelle quali si ha

interferenza con la falda e l'entità dell'immorsamento in falda dei manufatti mentre nella TAVOLA 5 è data, con una sezione attraverso l'area d'intervento, la sintesi dei rapporti tra gli elementi prima detti.

Di seguito si fornisce una sintesi degli elementi necessari alla valutazione degli effetti delle costruzioni interrato sul flusso idrico sotterraneo.

- L'acquifero, in condizioni di ricarica abbondante come quella attuale (gennaio 2005) è saturo per uno spessore di circa 9 metri. Il livello statico di falda misurato è ora a 3m dal piano campagna.
- La trasmissività  $T$  dell'acquifero (data dal prodotto dello spessore dell'acquifero saturo  $h$  per la conducibilità idraulica  $k$ ) per 9 m di saturazione risulta, dalle misure eseguite attraverso prove di portata di  $1,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- L'immorsamento in falda risulta essere il seguente:
  - 1) 2,70 m per una superficie di 18,5m x 11 con acquifero libero sottostante di 6,30m
  - 2) 0,85 m per una superficie di 10 m x 8 m; con acquifero libero sottostante 8,15m
  - 3) 4.5 m per una superficie di 2m x 2 m; con acquifero libero sottostante 4.5m
  - 4) 1,30 m per una superficie di 22 m x 6,2 m; con acquifero libero sottostante 7,70m
  
- La presenza dei manufatti determina in pratica una variazione dello spessore dell'acquifero saturo  $h$  pari all'immorsamento nell'acquifero stesso. Dal punto di vista idraulico al variare di  $h$  corrisponde una variazione della trasmissività idraulica. Per le tre zone si hanno i seguenti valori di trasmissività:
  - 1)  $T = 0,88 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
  - 2)  $T = 1.14 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
  - 3)  $T = 0.63 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
  - 4)  $T = 1.08 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Questi valori sono indicativi di una modestissima variazione dei parametri idraulici dell'acquifero su superfici altrettanto modeste rispetto alle dimensioni dell'acquifero circostante.

Si deve inoltre notare (vedi sezione idrogeologica di TAVOLA 5) che la continuità idraulica sotto la nuova centrale turbogas resterà in pratica integra anche a seguito degli interventi.

### ***3.2 Il modello matematico (Allegato 2)***

Per una verifica quantitativa degli effetti delle opere interraste, che già dalle osservazioni puramente idrogeologiche qualitative risultano essere di modesta entità e tali da non determinare variazioni significative del flusso naturale, è stato implementato un modello numerico (Allegato 2). In questo è stata introdotta la geometria dell'acquifero, con le caratteristiche idrauliche naturali determinate con prove di portata (Allegato 1) variandone le caratteristiche di trasmissività (e conseguentemente della conducibilità idraulica) nei tratti interessati dai manufatti.

Per la realizzazione del modello è stato utilizzato il software FEFLOW 4.9, prodotto dalla WASI, Institute for Water Resources Planning and Systems Research Ltd. di Berlino (D). La metodologia adottata e i risultati ottenuti sono dettagliatamente riportati nell'Allegato 2.

La valutazione degli effetti dei manufatti è stata ottenuta eseguendo un confronto tra il quadro piezometrico stazionario-indisturbato del sito e quello modificato dagli interventi previsti, simulato a distanza di un anno e di dieci anni dalla realizzazione delle opere. I risultati emersi, sia dal punto di vista degli assetti piezometrici generali sia da quello dei livelli di falda in 23 punti di controllo simulati dal modello nell'intorno delle opere, hanno evidenziato quanto segue:

- passando dallo stato "Indisturbato"(0) allo stato "Modificato (A) ad 1 anno" si registrano variazioni massime del quadro piezometrico locale comprese tra + 11 mm e - 9 mm;

- già ad un anno dalla realizzazione, tali modifiche sono peraltro da ritenersi ampiamente consolidate, come indicato dal fatto che il successivo confronto “Indisturbato (0) - Modificato (A) a 10 anni” ripropone differenze analoghe alle precedenti (con variazioni massime dell’ordine del decimo di millimetro).

Dal punto di vista dell’assetto piezometrico generale la distribuzione delle isolinee evidenzia, al contempo, i seguenti elementi:

- la presenza delle opere determina, a monte di queste, un rigonfiamento del profilo di falda che raggiunge valori massimi di appena +11 mm in adiacenza alle strutture;
- contemporaneamente, a valle dei manufatti interrati, la superficie freatica si presenta invece più depressa rispetto a quella di riferimento, evidenziando abbassamenti massimi di soli 9mm localizzati immediatamente a ridosso delle opere;
- in entrambi i casi, allontanandosi dai manufatti, si rileva una decisa tendenza della superficie a raccordarsi con il profilo di equilibrio indisturbato, seguendo modalità che circoscrivono nell’ordine degli 80 m il raggio di influenza delle perturbazioni indotte dai manufatti interrati.

## 4. Conclusioni

Il complesso degli studi eseguiti ha messo in evidenza i seguenti elementi:

- La serie degli interventi previsti andrà ad inserirsi in un contesto idrogeologico in cui è presente un acquifero freatico, prevalentemente sabbioso del Pleistocene superiore, presente nei primi 12 m dal p.c. e che presenta il livello di falda a circa 3 m dal piano campagna;
- Gli interventi previsti sono costituiti da 4 strutture delle quali la più estesa ha dimensioni massime 18,5x11 m che andranno ad interagire con il a falda per

altezze comprese tra 0.85 e 2.7 m, a fronte di un acquifero saturo con spessore 9 m.

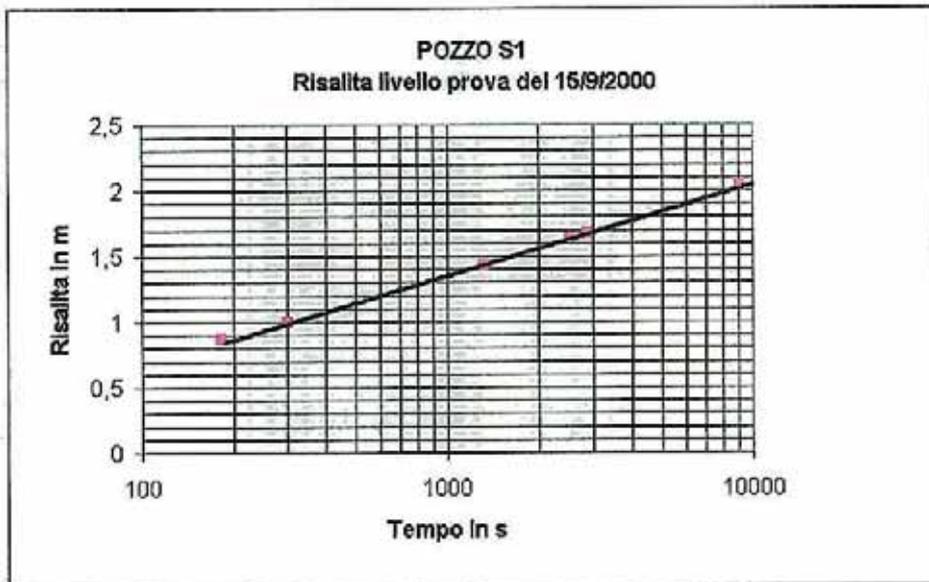
- I dati idrogeologici disponibili sull'area in esame hanno consentito di implementare un modello matematico di flusso della falda freatica in esame e di simulare le variazioni provocate dagli interventi sul quadro idrodinamico locale. Il modello ha evidenziato che l'ostacolo al deflusso della falda indotto dalla presenza dei manufatti comporterà una perturbazione minima e localizzata del quadro piezometrico dell'area, inducendo variazioni nel livello di falda comprese tra +11mm, a monte degli interventi, e -9 mm subito a valle degli stessi; variazioni che tendono ad annullarsi nel raggio di poche decine di metri dalle strutture.

In sintesi, considerando l'entità dell'immorsamento e l'estensione delle superfici coinvolte in rapporto alla superficie della pianura in esame ed allo spessore della falda è da ritenere del tutto trascurabile l'effetto di tali opere sul sistema acquifero locale, la cui continuità idraulica resterà in pratica integra anche a seguito degli interventi.

Tutto questo consente anche di affermare che le opere in oggetto non determineranno interferenza con eventuali futuri interventi di bonifica da eseguirsi in aree limitrofe.

**ALLEGATO 1**

**PROVE DI PORTATA PER LA DETERMINAZIONE DEI  
PARAMETRI IDRAULICI DELL'ACQUIFERO.**

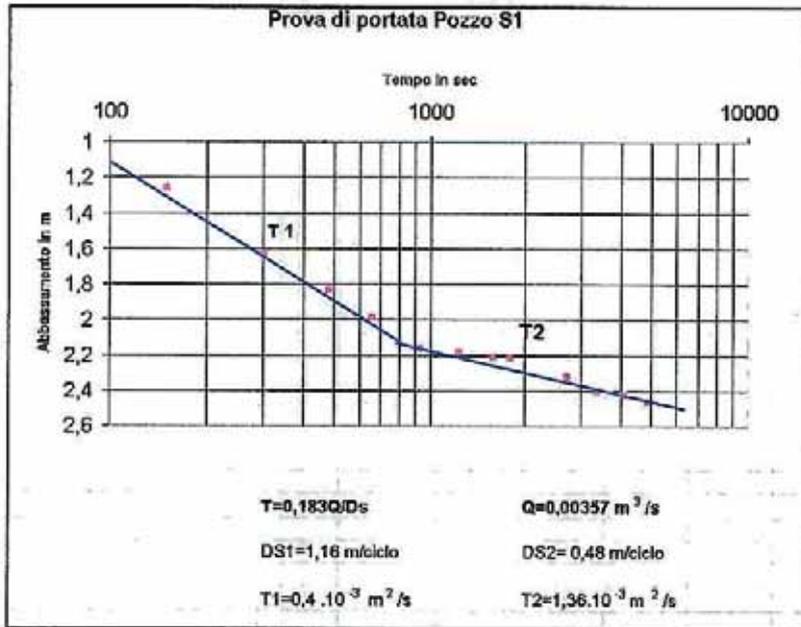


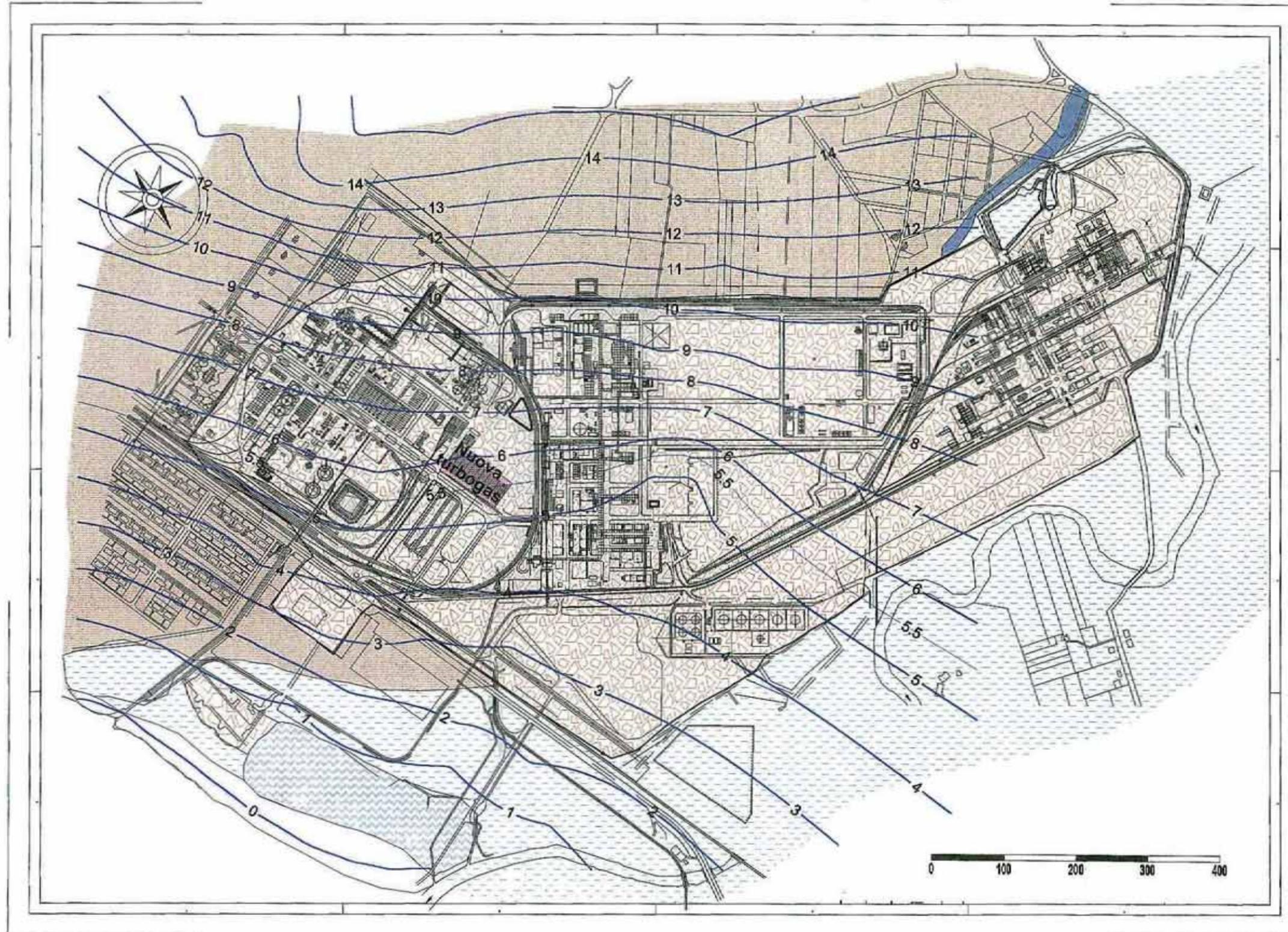
$$T=0,183Q/Ds$$

$$Q=0,00367 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Ds=0,60\text{m/ciclo}$$

$$T=1,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$





Isopieze medie nell'acquifero dei depositi sabbioso-arenacei del Pleistocene superiore (in m s.l.m.)

 Discarica bonificata - Praticamente impermeabile

 Riporti generalmente carbonatici - Permeabili all'interno di aree industriali Solvay

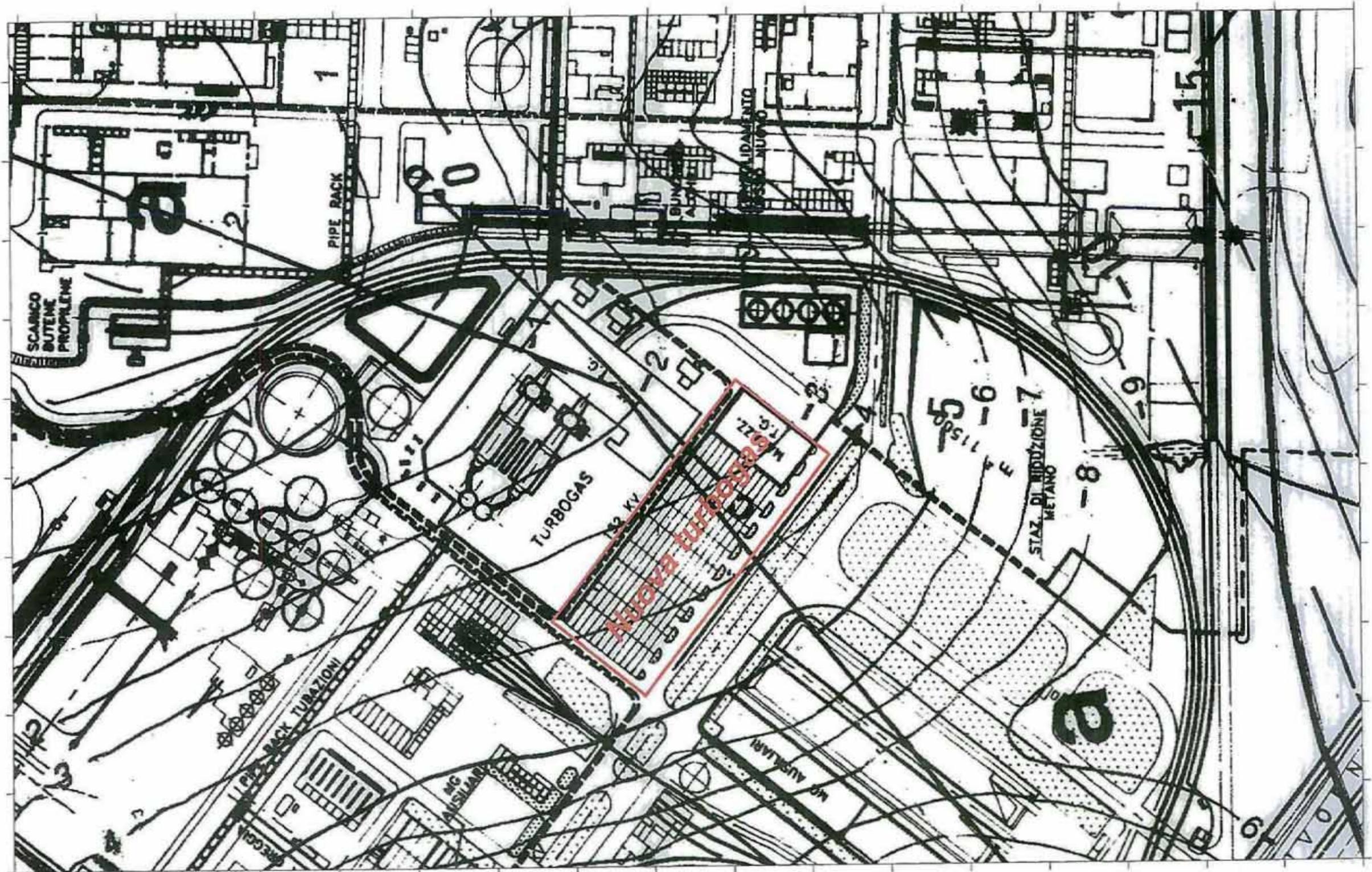
 Sabbie di spiaggia attuale e dune recenti - Permeabili

 Depositi alluvionali del F. Fine (olocene). Formazione generalmente argilloso-limosa (impermeabile) con livelli di ghiaie intercalate (permeabili)

 Depositi sabbiosi marini e continentali - Permeabili del Pleistocene superiore-Olocene

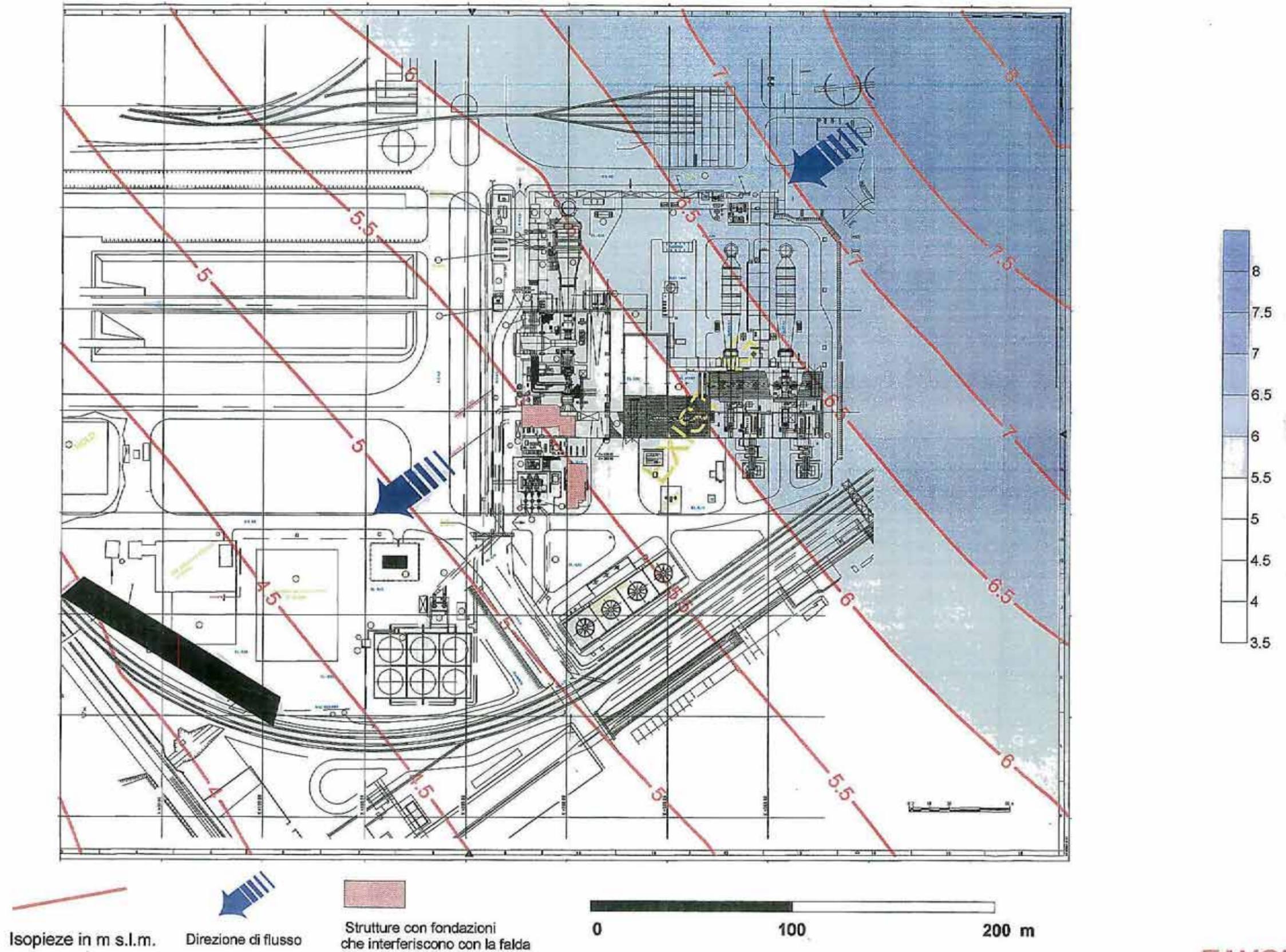
 Argille marine del Pleistocene inferiore - Praticamente impermeabili

Ricostruzione della base dell'acquifero con curve di livello in m s.l.m.

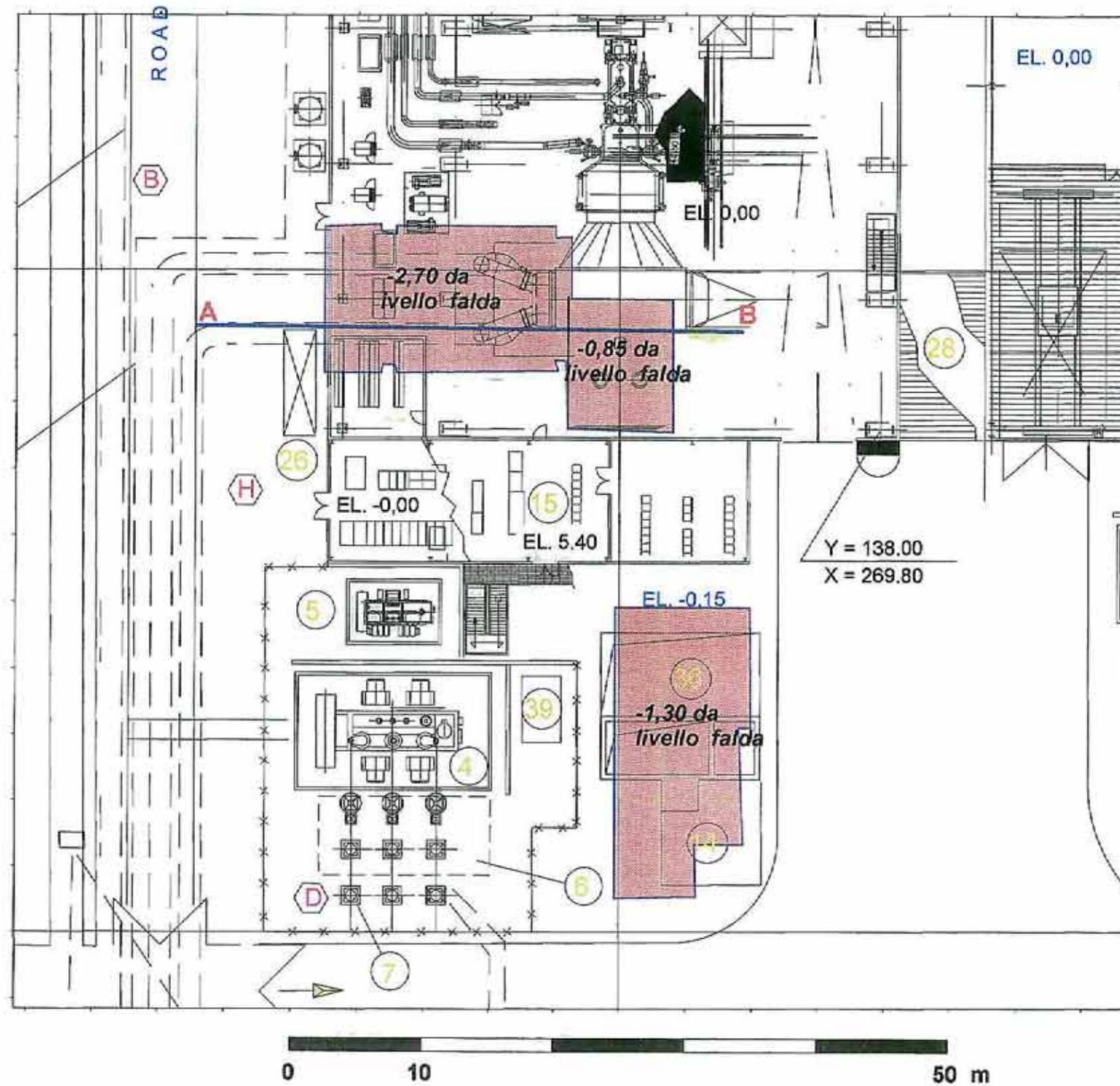


### Elementi per la realizzazione del modello

**Isopieze medie nell'acquifero dei depositi sabbioso-arenacei del Pleistocene superiore in corrispondenza dell'area interessata dal nuovo impianto (in m s.l.m.)**



Elementi per la realizzazione del modello: dimensioni delle strutture e immersione in falda



-0,85 da  
livello falda

Strutture che interferiscono con la falda e relativo immersionamento

A — B Traccia sezione idrogeologica di Tav.5

Sezione idrogeologica attraverso la zona dove le strutture sono poste al di sotto della superficie di falda

