

Snamprogetti	<b>CLIENTE</b> Syndial e Società coinsediate	<b>COMMESSA</b> 1265Q0	<b>UNITA'</b> RISAMB		
	<b>LOCALITA'</b> Porto Marghera (VE)	<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>			
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> Progetto definitivo di bonifica della falda	Fg. 1 di 41	<b>Rev.</b>		
			1		

*Stabilimento Petrolchimico di Porto Marghera (VE)*

**PROGETTO DEFINITIVO DI BONIFICA  
DEL SITO SYNDIAL (DM 471/99)**

**PROGETTO DEFINITIVO DI BONIFICA DELLA FALDA**

*Syndial e Società Coinsediate*

**VOLUME VII**

*FATTORI AMBIENTALI*

*Relazione tecnica*

1	Emissione	Molinelli	Pieroni	D'Emilio	11/10/05
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 2 di 41	Rev.
	1

**INDICE**

<b>1</b>	<b><u>INTRUSIONE SALINA .....</u></b>	<b><u>3</u></b>
1.1	LOG DI CONDUCEBILITÀ ELETTRICA.....	3
1.2	MONITORAGGIO DELLA CONDUCEBILITÀ ELETTRICA POST-INTERVENTO .....	10
1.2.1	FASI DI MONITORAGGIO .....	13
1.2.2	MODALITÀ DI ESECUZIONE DEL CONTROLLO DELLA CONDUCEBILITÀ ELETTRICA .....	14
1.3	PROGRAMMA DI ATTIVITÀ IN CASO DI EVIDENTE SALINIZZAZIONE DEL PRIMO ACQUIFERO .....	15
<b>2</b>	<b><u>CEDIMENTI .....</u></b>	<b><u>17</u></b>
2.1	PREMESSA .....	17
2.2	INDAGINE GEOGNOSTICA .....	19
2.3	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA .....	19
2.4	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI .....	21
2.4.1	DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA <i>INTERAZ</i> .....	22
2.4.2	RISULTATI OTTENUTI .....	24
2.5	CONCLUSIONI E MONITORAGGI .....	27
	<b><u>ANNESI.....</u></b>	<b><u>30</u></b>
	<b>ANNESSO 1: “ABBASSAMENTO DELLA FALDA DI 1,1÷1,2 M NEL PUNTO DI DRENAGGIO” .....</b>	<b>30</b>
	<b>ANNESSO 2: “STRATIGRAFIA DEL SONDAGGIO SA3 E DIAGRAMMI DELLE PROVE PENETROMETRICHE CPT13, CPT14 E CPT15” .....</b>	<b>37</b>

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 3 di 41	Rev.
	1

## 1 INTRUSIONE SALINA

Gran parte del Petrolchimico è nata per imbonimento di un'area barenale con rifiuti provenienti dalla prima zona Industriale intrappolando, quindi, acque lagunari che, tra l'altro, interessavano in origine anche i terreni dell'attuale prima falda.

Con il tempo l'infiltrazione di acqua dolce dalla superficie ha ridotto i tenori di salinità, soprattutto nelle acque di impregnazione del riporto più direttamente soggette a tale fenomeno.

Con la messa in funzione dei sistemi di drenaggio, che agiscono su acqua già di per sé salmastra, potrà essere richiamata dell'acqua lagunare ma, in tal modo, si restaureranno semplicemente le condizioni originarie pre-costruzione della penisola del Petrolchimico.

Complessivamente, tenuto conto anche del basso tenore dei drenaggi, non dovrebbero verificarsi significativi mutamenti nell'assetto qualitativo della falda verso l'entroterra.

In ogni caso si provvederà ad un opportuno monitoraggio dei parametri idrochimici per tenere sotto controllo il fenomeno.

### 1.1 Log di conducibilità elettrica

Nel mese di ottobre 2004 è stata eseguita una campagna di log di conducibilità elettrica (CE) in prima falda e nei livelli idrici di saturazione del riporto nel Nuovo e nel Vecchio Petrolchimico.

Scopo della campagna è stato quello di verificare, prima dell'entrata in funzione delle opere definitive di drenaggio, lo stato di salinità delle acque sotterranee (**bianco di riferimento**).

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 4 di 41	Rev.
	1

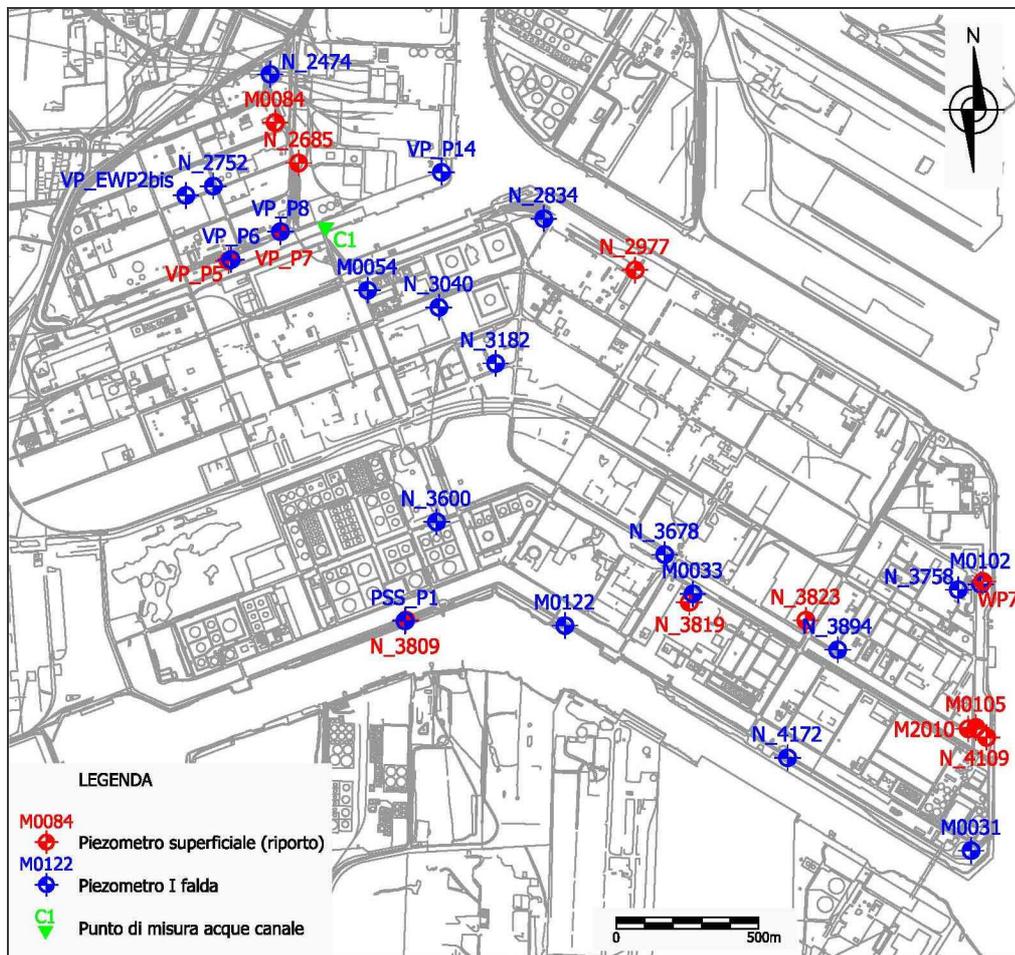


Fig. 1.1/A – Ubicazione dei piezometri monitorati

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 5 di 41	Rev.
	1

Lo studio ha permesso di verificare, nelle acque della prima falda del NP, un incremento della conducibilità elettrica con la profondità, con valori, nella parte basale del piezometro controllato, superiori a 20 mS/cm.

Nel VP, come atteso, i valori di conducibilità elettrica sono decisamente più bassi rispetto a quelli misurati nel NP. I piezometri controllati mostrano un *trend* crescente con la profondità, con valori tendenzialmente <10 mS/cm; i massimi si sono registrati nel piezometro VP\_P8 (20 mS/cm).

Le **Figure 1.1/B1-B2 e 1.1/C** illustrano la ricostruzione dei log per le acque di prima falda; in ordinate è riportata la profondità in metri dal livello statico (LS) dell'acqua nel piezometro, mentre in ascisse è riportato il valore CE in  $\mu$ S/cm.

Le acque di saturazione del riporto, alimentate direttamente dalle precipitazioni meteoriche, mostrano valori di conducibilità elettrica tendenzialmente inferiori a 6 mS/cm. Fanno eccezione le acque di due piezometri fronte laguna (C1, localizzato nei pressi di Darsena della Rana sponda nord e N\_4109, localizzato in area MASI) che mostrano valori di CE variabili con la profondità e con massimi >15-20 mS/cm.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 6 di 41	Rev.
	1

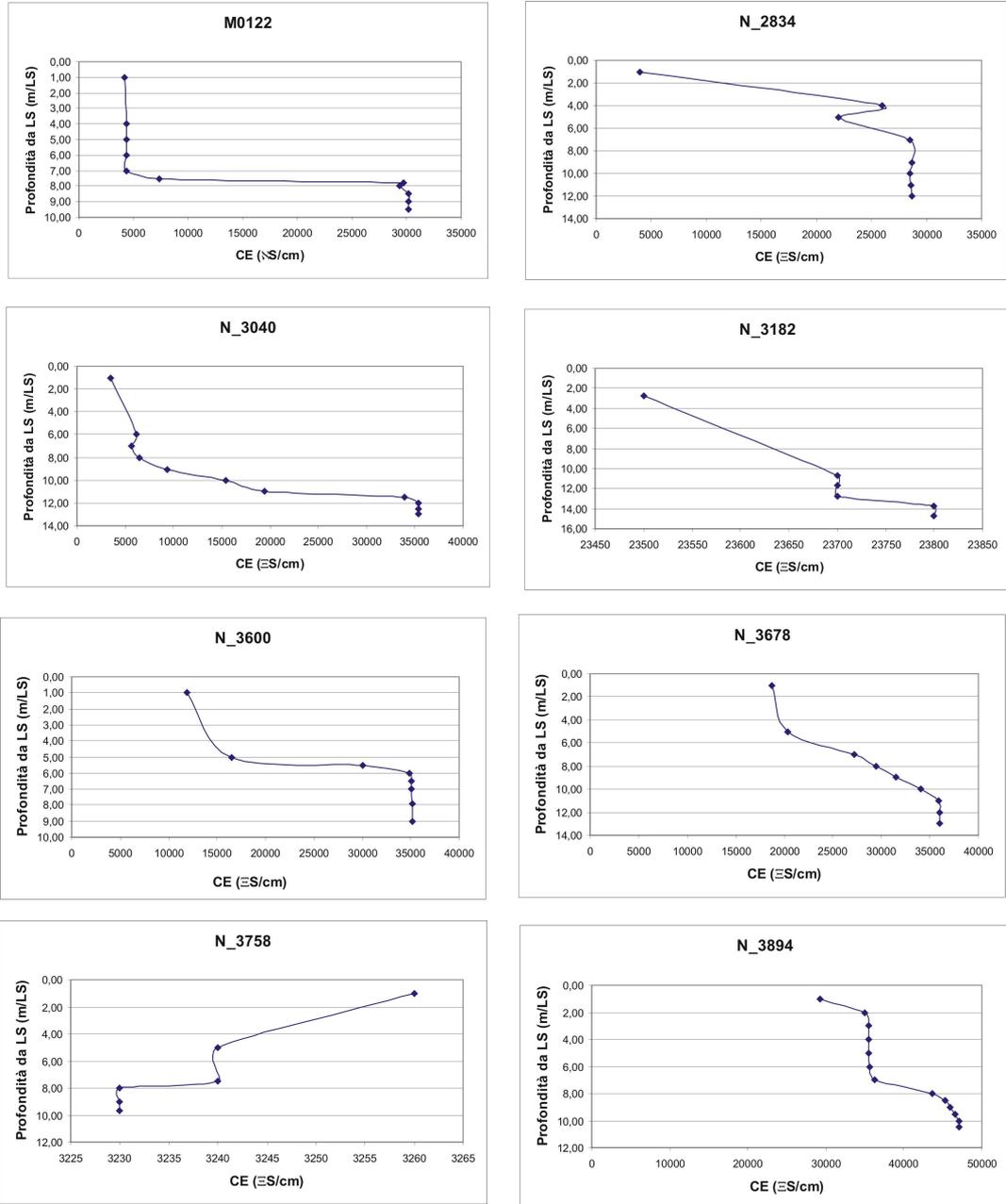
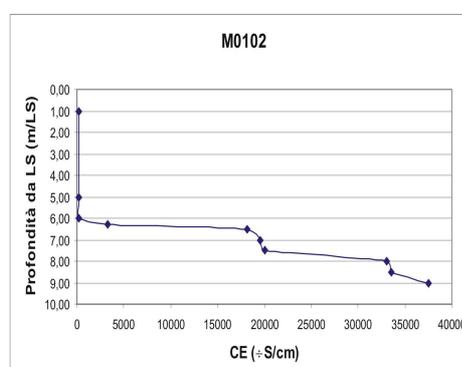
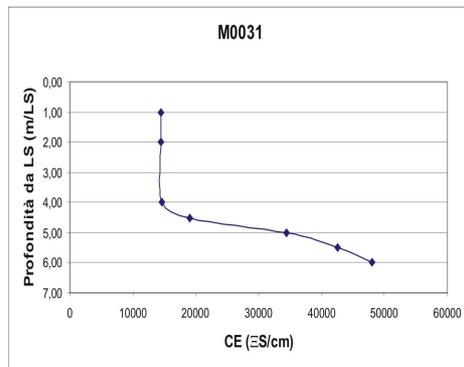
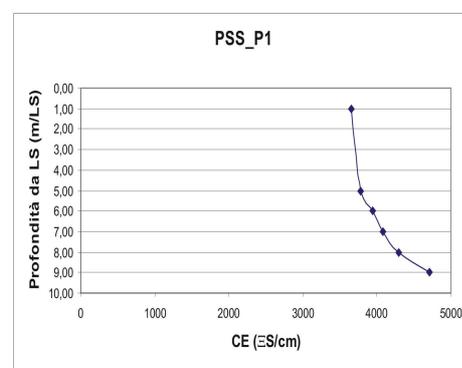
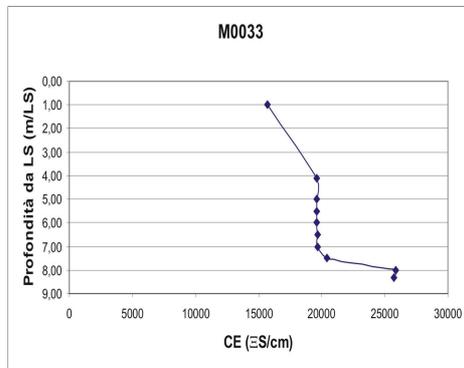
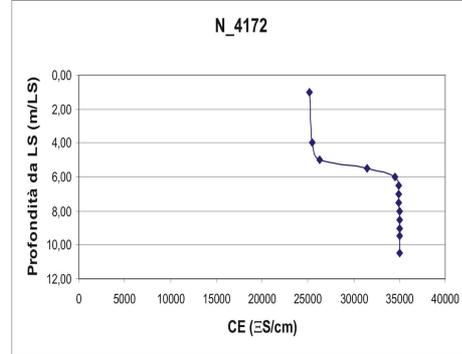
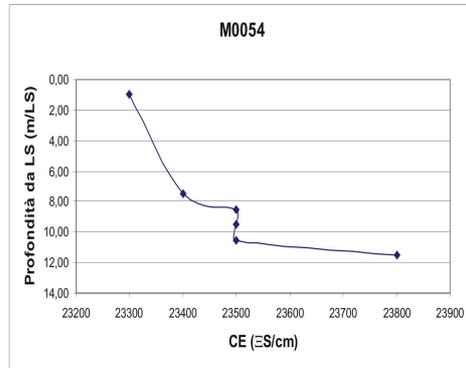


Fig. 1.1/B1 – Log di conducibilità elettrica nei piezometri di prima falda (NP)

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 7 di 41	Rev.
	1



**Fig. 1.1/B2 – Log di conducibilità elettrica nei piezometri di prima falda (NP)**

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 8 di 41	Rev.
	1

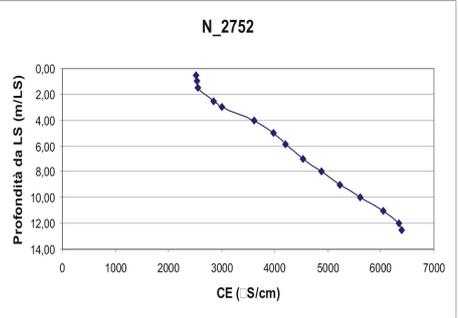
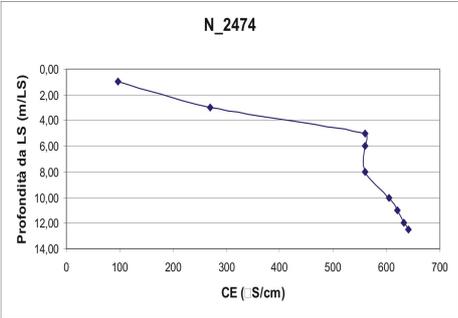
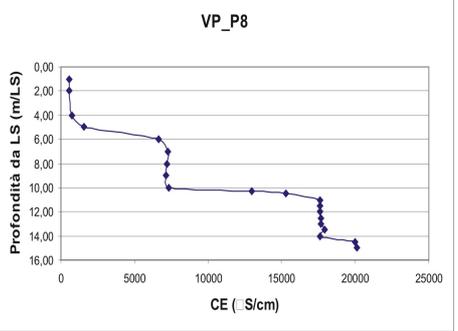
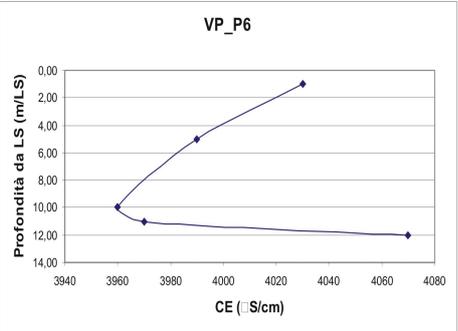
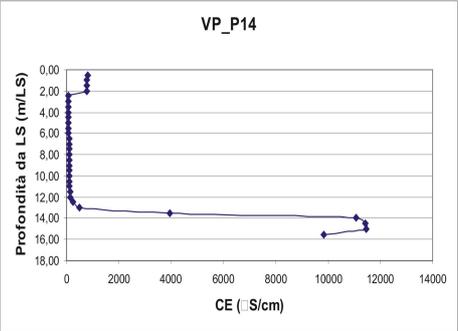
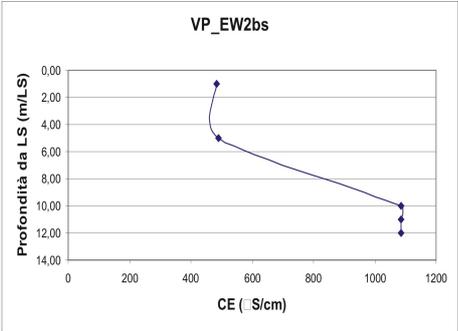


Fig. 1.1/C – Log di conducibilità elettrica nei piezometri di prima falda (VP)

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 9 di 41	Rev.
	1

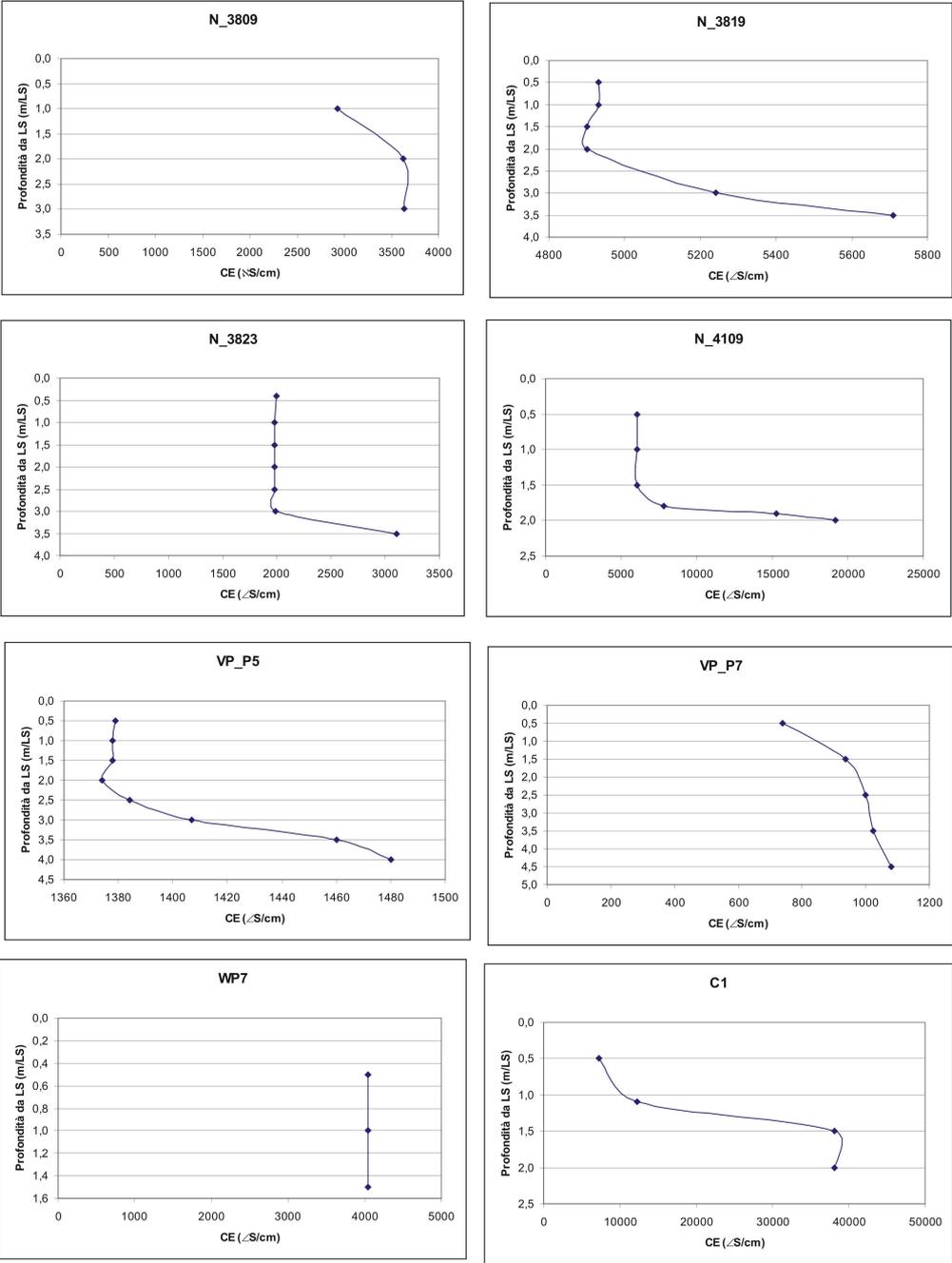


Fig. 1.1/D – Log di conducibilità elettrica nei piezometri del riporto (VP e NP)

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 10 di 41	Rev.
	1

## 1.2 Monitoraggio della Conducibilità Elettrica post-intervento

La potenziale salinizzazione dell'acquifero primario è un aspetto che occorre considerare all'interno di un progetto di drenaggio da realizzare su uno Stabilimento che si affaccia fronte laguna.

Il progetto di bonifica (DCS) prevede la realizzazione di opere di drenaggio in posizione decentrata rispetto alla linea di costa con le seguenti finalità:

- *aumentare l'efficienza delle stesse;*
- *ridurre i quantitativi di acqua lagunare in entrata nel sistema idrogeologico;*
- *ridurre i pericoli di una eccessiva salinizzazione del sistema con richiamo di un fronte salino all'interno dello Stabilimento, creando situazioni di potenziale avanzamento anche verso l'entroterra.*

Evidentemente, anche se le opere previste con il DCS permetteranno di ridurre questo fenomeno indesiderato rispetto a postazioni drenanti fronte laguna, non è da escludersi, con il tempo e con l'allargarsi del cono di influenza del drenaggio operato dalle opere medesime, un richiamo di una data aliquota d'acqua salmastra verso l'interno dello Stabilimento.

La chiusura perimetrale di parte della linea di costa, già in essere prima dell'entrata a regime delle opere di drenaggio (cinturazione MAV), limiterà considerevolmente il fenomeno, almeno in alcune parti dello Stabilimento.

Occorre inoltre sottolineare che la particolare configurazione della penisola del NP che può, a tutti gli effetti, essere considerato un sistema idrogeologico semichiuso a monte (per la cinturazione esistente nelle isole 31-32 e 45-46), rende praticamente trascurabile questo fenomeno. In altre parole una salinizzazione della penisola del NP, del resto già esistente, rimarrebbe un fenomeno localizzato all'interno della stessa.

Al contrario per il VP, in cui il sistema idrogeologico risulta aperto verso l'entroterra, un richiamo di acque salate, prima dell'avvenuta cinturazione MAV, potrebbe portare ad un'indesiderata salinizzazione del sistema e ad una potenziale migrazione del cuneo salino verso l'entroterra.

Le attività di seguito descritte hanno pertanto la finalità di monitorare questo importante parametro, programmando una serie di verifiche da eseguirsi durante e successivamente alla messa a regime delle opere di drenaggio.

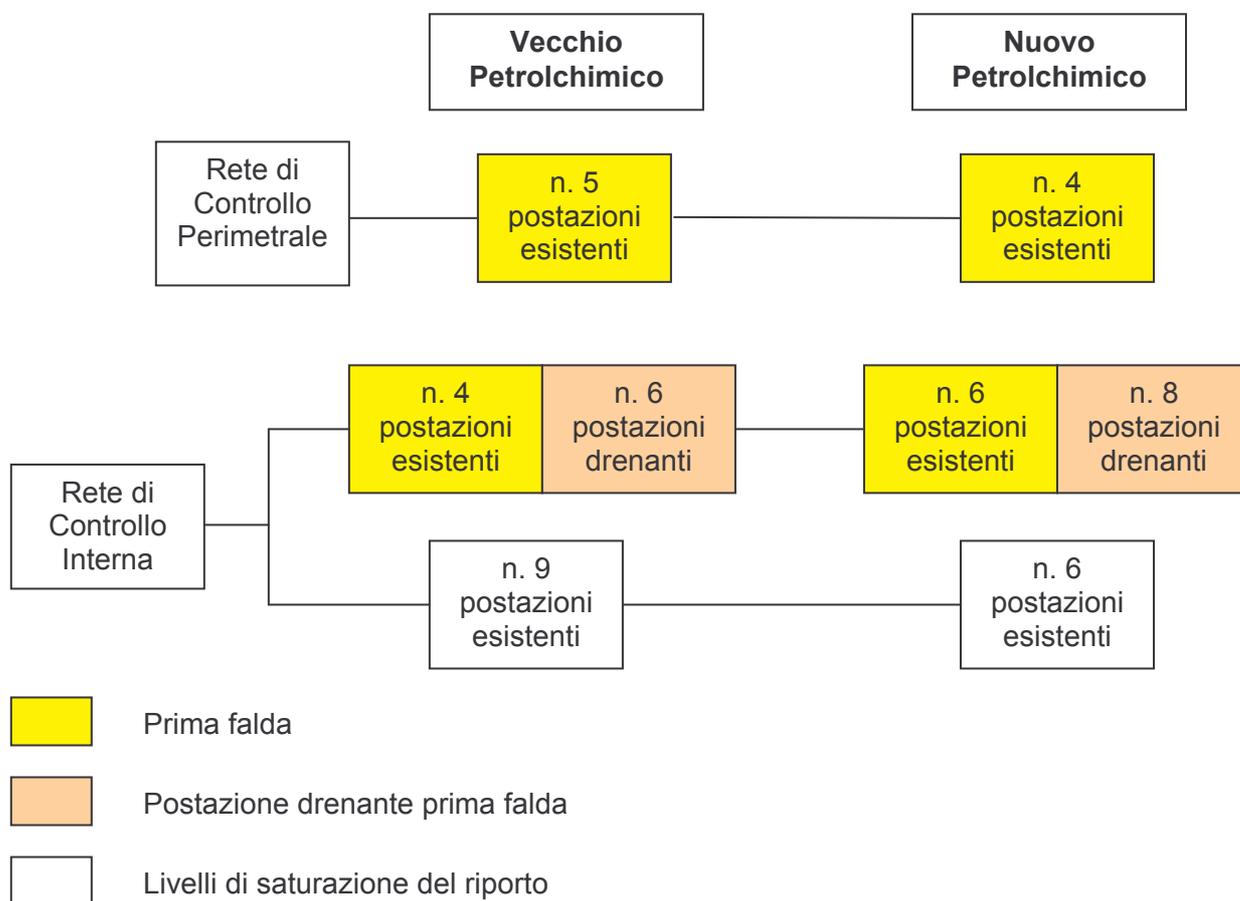
Ovviamente, una volta completata la cinturazione MAV del fronte lagunare, il fenomeno di intrusione salina diventerà un problema secondario, in quanto il palancolato permetterà di annullare il richiamo di acque salmastre ad opera delle postazioni drenanti verso l'interno dello Stabilimento.

Al fine di evitare che, con le operazioni di drenaggio, il fenomeno d'intrusione salina possa estendersi verso il territorio retrostante la penisola del Petrolchimico, dovrà essere prevista la messa in opera di un sistema di controllo della conducibilità elettrica e quindi della salinità che permetta di monitorare la variabilità di questo parametro nel tempo.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 11 di 41	Rev.
	1

Al momento non viene ipotizzata la realizzazione di ulteriori postazioni piezometriche, dato che si prevede di utilizzare piezometri già esistenti messi in opera nel corso di indagini pregresse e durante le attività di caratterizzazione ai sensi del DM 471/99.

La rete di controllo della CE programmata è stata strutturata come indicato in **Figura 1.2/A**, suddividendola in una Rete di Controllo Perimetrale (RCP) di monte ed una Rete di Controllo Interna (RCI).



**Fig. 1.2/A - Postazioni per controllo perimetrali di monte della conducibilità elettrica delle acque con DCS a regime**

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 12 di 41	Rev.
	1

I piezometri della RCP rappresenteranno le ultime postazioni spia del fenomeno e dovranno essere sempre monitorate all'interno del programma descritto nel paragrafo seguente.

Il numero di postazioni della RCP, previste in prima falda e poste al perimetro del NP e del VP, sono:

- n. 5 postazioni perimetrali in aree appartenenti al VP;
- n. 4 postazioni perimetrali in aree appartenenti al NP.

Data la discontinuità areale dello strato di riporto, non sono state previste postazioni di controllo perimetrali nei livelli idrici di saturazione del riporto che, pertanto, non si ritengono d'interesse per un eventuale richiamo e propagazione del cuneo salino verso l'entroterra.

Si ritiene comunque opportuno mantenere un livello di attenzione alto per questo parametro anche nelle acque di saturazione del riporto, almeno sino a quando il quadro idrogeologico del sistema acquifero di Porto Marghera non risulti completo ed esaustivo, soprattutto a seguito delle modifiche indotte dalle operazioni di drenaggio.

Nella **Figura 1.2/B** è indicata la posizione prevista dei piezometri della Rete di Controllo perimetrale di monte.



**Fig. 1.2/B - Postazioni per controllo perimetrali di monte della conducibilità elettrica delle acque con DCS a regime (RCP)**

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 13 di 41	Rev.
	1

La restante rete di controllo interna (RCI) sarà scelta fra i piezometri già esistenti all'interno dell'intero Stabilimento e verrà così strutturata:

- postazioni in funzione con il DCS (prima falda);
- n. 10 piezometri in prima falda (di cui 6 nel NP e 4 nel VP);
- n. 15 piezometri completati nel riporto (di cui 9 nel NP e n. 6 nel VP).

La RCI sarà posizionata in modo tale da coprire arealmente i settori più critici di Stabilimento in modo tale da permettere una ricostruzione spaziale e temporale del fenomeno.

### 1.2.1 Fasi di monitoraggio

Viene previsto un controllo periodico della conducibilità elettrica da effettuarsi nell'ambito delle campagne piezometriche previste per il controllo della funzionalità dell'opera, e quindi con la stessa frequenza.

L'attività sarà così articolata (**Tabella 1.2.1/A**):

- **bianco di riferimento**: esecuzione di una campagna di log di conducibilità da eseguirsi sulla RCP di monte e sulla RCI di Stabilimento;
- **primo mese di funzionamento a regime del DCS**: controllo settimanale dei valori di conducibilità elettrica sulle sole postazioni previste per il DCS,
- **primi 6 mesi di funzionamento a regime**: controllo mensile dei valori di conducibilità elettrica sulla RCP e RCI;
- **successivi 6 mesi di funzionamento**: controllo bimensile dei valori di conducibilità elettrica sulla RCP e RCI;
- **secondo anno di funzionamento**: controllo quadrimestrale dei valori di conducibilità elettrica sulla RCP perimetrale e RCI;
- **terzo-quinto anno di funzionamento**: controllo semestrale dei valori di conducibilità elettrica sulla RCP e RCI.

Le attività di monitoraggio dovranno comunque essere concordate con l'Autorità Pubblica preposta al controllo.

La presente proposta potrà subire variazioni a seguito delle evidenze emerse nel corso delle diverse campagne di controllo; comunque sempre nell'ottica di mantenere un controllo efficace dell'evoluzione del fenomeno anche a seguito di eventuali modifiche del campo di moto della falda e delle condizioni al contorno.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 14 di 41	Rev.
	1

	<b>Parametri di controllo</b>	<b>Postazioni</b>	<b>Cadenza</b>
Bianco di riferimento	Campagna di log di conducibilità elettrica	RCP e RCI	Prima della attivazione DCS
Primo mese di funzionamento	Campagna di log di conducibilità elettrica	Postazioni per DCS	Settimanale
Primo 6 mesi di funzionamento	Campagna di log di conducibilità elettrica	RCP e RCI	Mensili
Successivi 6 mesi di funzionamento	Campagna di log di conducibilità elettrica	RCP e RCI	Bimensili
Secondo anno di funzionamento	Campagna di log di conducibilità elettrica	RCP e RCI	Quadrimestrale
Terzo-Quinto anno di funzionamento	Campagna di log di conducibilità elettrica	RCP e RCI	Semestrale

Tab. 1.2.1/A – Proposta di monitoraggio della conducibilità elettrica

### 1.2.2 Modalità di esecuzione del controllo della conducibilità elettrica

La conducibilità elettrica sarà verificata in campo mediante l'utilizzo di conducimetro portatile e/o sonda multiparametrica per log in pozzo.

L'utilizzo della sonda multiparametrica è consigliabile per la misura del parametro nei piezometri completati in prima falda. Per le acque di saturazione del riporto si ritiene sufficiente eseguire la misura su un campione a testa pozzo, prelevato con campionatore tipo *bailer*.

Nelle postazioni drenanti, la misura potrà essere eseguita direttamente a testa pozzo con conducimetro portatile, mediante l'utilizzo dell'apposita presa campione.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 15 di 41	Rev.
	1

### 1.3 Programma di attività in caso di evidente salinizzazione del primo acquifero

Qualora, durante il funzionamento del DCS, risulti evidente un incremento della salinizzazione del primo acquifero, si dovranno programmare adeguate attività per far fronte a questa problematica.

Come già discusso nei paragrafi precedenti, il fenomeno di salinizzazione potrà essere trascurato per la penisola del NP, mentre dovrà essere attentamente controllato per il VP.

Questa fase di controllo sarà particolarmente critica nel periodo di funzionamento del DCS prima della messa in opera della cinturazione MAV.

Nel caso si verifichi una salinizzazione dei piezometri della RCP di monte del VP, si potrà procedere come di seguito descritto:

- diminuzione progressiva del quantitativo d'acqua drenata dalle postazioni localizzate in prossimità del fronte lagunare, con conseguente riduzione dell'aliquota d'acqua salmastra richiamata all'interno dello Stabilimento;
- riduzione ciclica delle portate nelle postazioni drenanti fronte laguna. La riduzione ciclica verrà eseguita in linea con le oscillazioni della marea: il drenaggio potrebbe essere attivato con portate maggiori nei periodi di bassa marea e con portate minori nei periodi di alta marea.

Le oscillazioni di marea, che presentano un'escursione massima di ca. 1,0-1,4 m, possono influenzare l'uscita delle acque sotterranee, fronte laguna.

In particolare, la differenza di carico idraulico tra acque di falda e livello del mare fa sì che, in caso di bassa marea, le acque della falda sotterranea hanno la possibilità di fuoriuscire verso la laguna, mentre, durante la fase di alta marea, le acque della laguna impediscono parzialmente l'uscita delle acque sotterranee.

Ovviamente, la corretta taratura delle portate da drenare dalle postazioni del DCS dovrà avvenire a seguito di un'attenta fase di controllo della reale risposta del sistema idrogeologico al drenaggio in atto.

Il controllo sperimentale sarà supportato dal Modello Matematico di Simulazione definitivo, che andrà continuamente aggiornato in base alle misure in dinamico della falda (cfr. VOLUME III).

Nella **Figura 1.3/A** è mostrato il grafico di oscillazione della marea confrontato con le oscillazioni registrate in due piezometri del VP.

E' evidente dalla ricostruzione che il piezometro in prima falda (M0114) risente in modo marcato delle oscillazioni di marea, mentre il piezometro nel riporto (M0115) non ne risente affatto (relativamente al settore di stabilimento controllato).

La messa in opera di un misuratore di livello, direttamente collegato con uno o più mareografi, che permetta di regolare le portate dalle postazioni drenanti fronte laguna in funzione del livello del mare registrato, permetterebbe di ottimizzare i prelievi e ridurre il potenziale rischio di salinizzazione dell'acquifero.

L'utilizzo di questo sistema di controllo delle portate drenate non è stato al momento previsto; la sua installazione sarà eventualmente decisa ed appositamente studiata,



COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 17 di 41	Rev.
	1

## 2 CEDIMENTI

### 2.1 Premessa

Nell'ambito del progetto definitivo di bonifica della falda, che prevede il drenaggio della falda, mediante dreni disposti nell'area dello Stabilimento, si è impostata la stima dei cedimenti che tale drenaggio può indurre sugli edifici e sugli impianti, le cui fondazioni risultino coinvolte.

Per eseguire una stima di massima dell'entità dei cedimenti che possono essere indotti dal sistema di drenaggio, le valutazioni che di seguito saranno descritte, hanno fatto riferimento ad una situazione ipotetica di abbassamento della falda, indotto da una postazione drenante situata nell'area di stima.

Gli abbassamenti della falda assunti per la valutazione dei cedimenti fanno riferimento a risultati modellistici inerenti all'area di studio (area *EVC*), e vanno considerati come ipotesi attendibili, ma non definitive.

In particolare, l'area presa in considerazione fa riferimento alla zona *EVC* ed agli edifici in essa presenti. L'individuazione dell'area presa in considerazione è indicata nella Planimetria di **Figura 2.1/A** allegata.

Per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dell'area di studio si è fatto riferimento ai risultati di una campagna geognostica e geotecnica eseguita da Aquatec S.p.A. nel settembre-ottobre 1997 per la "Caratterizzazione Geotecnica dell'Area dello Stabilimento lungo la Fascia Limitrofa ai Canali Industriale Sud e Malamocco-Marghera – Relazione Tecnica" (Rif. Consorzio B.A.S.I. REL: 07, Contratto KI2933/00/SI/7, Rev. 0 del Feb. '98) nell'ambito della conterminazione lagunare.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 18 di 41	Rev.
	1

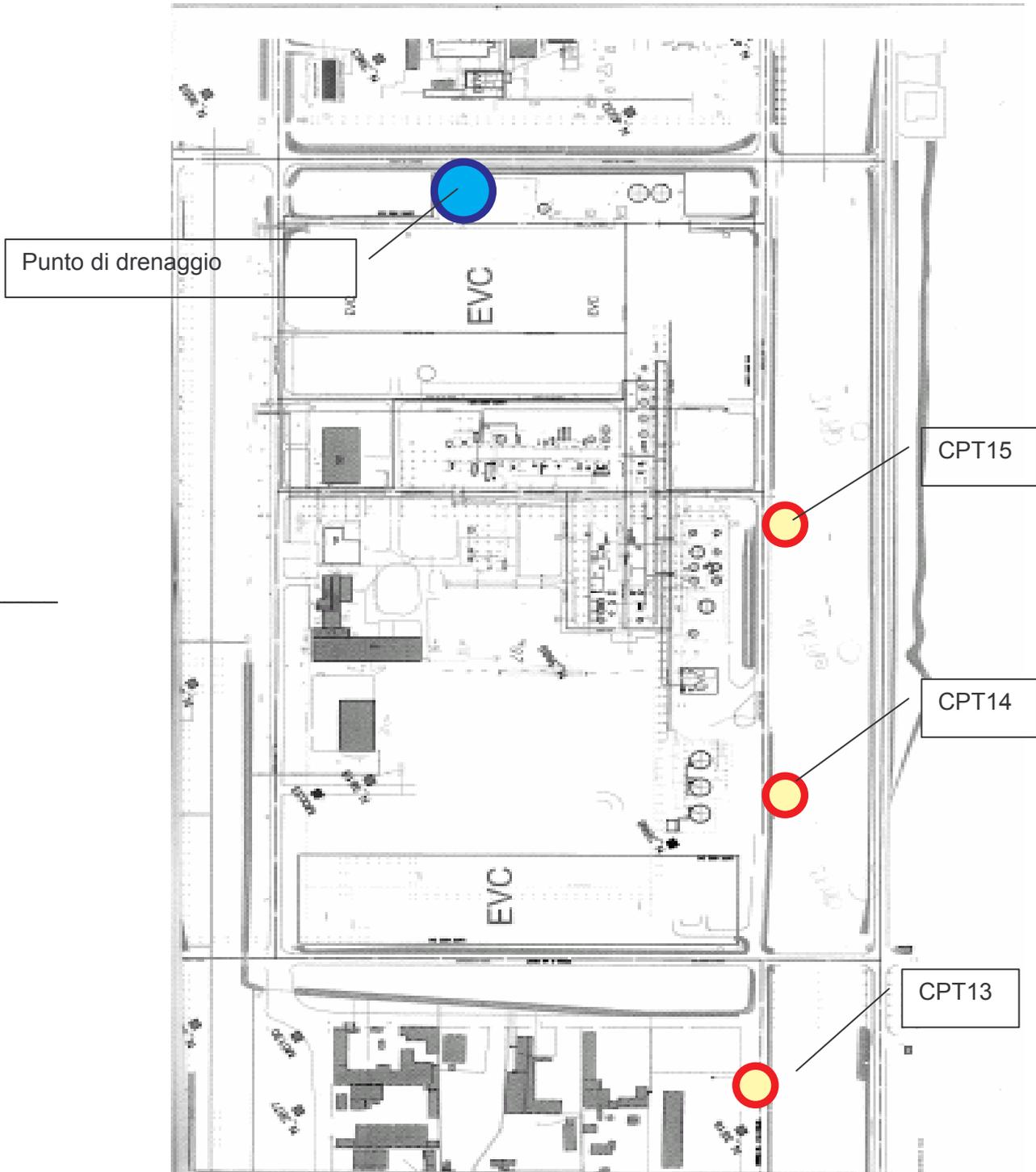


Figura 2.1/A. Planimetria della zona EVC, Ubicazione delle prove CPT13-CPT15 e Ubicazione del Punto di drenaggio ipotizzato.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 19 di 41	Rev.
	1

## 2.2 Indagine geognostica

Con riferimento alla succitata indagine, l'area presa in considerazione è stata interessata dall'esecuzione delle seguenti verticali di prova:

- n. 1 sondaggio geognostico, eseguito a rotazione e con carotaggio continuo, identificato dalla sigla SA3;
- n. 3 prove penetrometriche statiche con punta piezometrica, identificate con le sigle CPT13, CPT14 e CPT15.

Le ubicazioni di queste verticali di indagine sono indicate nella Planimetria di *Figura 2.1/A* allegata.

La stratigrafia del sondaggio SA3, nonché i diagrammi delle prove penetrometriche CPT13, CPT14 e CPT15, sono riprodotti nell'Annesso 2.

## 2.3 Caratterizzazione stratigrafica e geotecnica

In generale, la stratigrafia dell'area dello stabilimento Petrolchimico di Porto Marghera, lungo la fascia limitrofa ai canali Industriale Sud e Malamocco-Marghera risulta caratterizzata dalla presenza di strati coesivi e granulari interessati da intercalazioni, di livelletti centimetrici di materiale di transizione, prevalentemente limose.

La presenza di questa fitta intercalazione di transizione risulta manifestamente dall'andamento della resistenza alla punta, della pressione interstiziale e del *Friction Ratio* registrati nel corso delle prove penetrometriche statiche con misura della pressione interstiziale (*CPTU*).

Questa evidenza comporta che, mentre una marcata discriminazione delle caratteristiche geomeccaniche (deformabilità e resistenza al taglio in condizioni drenate e non drenate) dei principali strati costituenti il terreno sia facilmente conseguibile, le caratteristiche di permeabilità e di consolidazione dei principali strati risulta governata in parte dalla presenza di materiali percentualmente non rilevanti.

Tale aspetto è particolarmente importante con riferimento alle analisi di natura idrogeologica riguardanti gli effetti sul regime idraulico ingenerati dalla realizzazione e dalla presenza degli interventi di drenaggio della falda.

La successione stratigrafica prevede generalmente, al di sotto del materiale di riporto di spessore pari a circa 2,0 m, la presenza di uno strato argilloso di potenza pari a 2,0-5,0 m ed in successione di una fitta alternanza di strati sabbiosi e strati prevalentemente argillosi.

Dal punto di vista puramente geotecnico non si è ritenuto necessario ricorrere a terminologie di valenza locale (es. caranto) in quanto le caratteristiche geomeccaniche dei terreni investigati possono essere compiutamente determinate in modo analitico a partire da una serie estremamente esauriente di dati desumibili dalle prove *CPTU*.

Il livello di falda, rilevato nei fori di sondaggio, è a circa 2,0 m di profondità dal p.c.. Nella zona presa in considerazione, sulla base delle *CPTU13*, *CPTU14* e *CPTU15*, la sezione stratigrafica di riferimento è esposta nella seguente **Tabella 2.3/A**.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 20 di 41	Rev.
	1

Profondità dal p.c. (m)	Descrizione litologica
0.0 ÷ 1.0	Riporto caotico
1.0 ÷ 5.0	Argilla
5.0 ÷ 6.0	Limo
6.0 ÷ 7.0	Sabbia densa
7.0 ÷ 10.0	Argilla
10.0 ÷ 12.0	Sabbia mediamente densa con intercalazioni argillose
12.0 ÷ 16.0	Argilla con intercalazioni limose
16.0 ÷ 21.0	Sabbia da mediamente densa a densa
21.0 ÷ 26.0	Fitte intercalazioni di sabbia ed argilla

Tabella 2.3/A – Caratterizzazione stratigrafica

Agli strati sopra individuati si possono assegnare i seguenti parametri geotecnici:

Profondità dal p.c. (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$D_r$ [%]	$\phi$ [°]	$s_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_o$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$k_v$ [m/s <sup>-1</sup> ]
0.0 ÷ 1.0	19.0					$5 \times 10^{-7}$
1.0 ÷ 5.0	18.5			30÷45	1.5÷3.0	$1 \times 10^{-9}$
5.0 ÷ 6.0	18.5		32		10÷40	$1 \times 10^{-7}$
6.0 ÷ 7.0	19.0	60÷75	38÷39		30÷45	$5 \times 10^{-5}$
7.0 ÷ 10.0	18.5			40÷50	2.0÷3.0	$1 \times 10^{-9}$
10.0 ÷ 12.0	18.5	50÷60	36		15÷30	$1 \times 10^{-6}$
12.0 ÷ 16.0	18.5			250÷40	1.5÷2.5	$5 \times 10^{-8}$
16.0 ÷ 21.0	19.0	65÷85	36÷40		30÷70	$5 \times 10^{-5}$
21.0 ÷ 26.0	18.5		30	70	7÷15	$1 \times 10^{-7}$

Tabella 2.3/B – Caratterizzazione geotecnica

in cui:

$\gamma$	=	Peso di volume
$D_r$	=	Densità relativa
$\phi$	=	Angolo di resistenza al taglio efficace
$s_u$	=	Resistenza al taglio non drenata
$M_o$	=	Modulo di deformazione confinato
$k_v$	=	Coefficiente di permeabilità verticale

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 21 di 41	Rev.
	1

## 2.4 Valutazione dei cedimenti

Per la valutazione dei cedimenti è stato utilizzato il codice di calcolo *INTERAZ*.  
Le valutazioni, per quanto riguarda le assunzioni sull'abbassamento della falda provocate dal drenaggio, fanno riferimento ad un andamento ipotetico dedotto da risultati intermedi della modellazione matematica.

In particolare, sono stati assunti due comportamenti rappresentati dai diagrammi seguenti, nei quali:

- l'abbassamento massimo nel punto e/o nell'area di drenaggio è stato assunto pari a 1,1-1,2 m;
- l'abbassamento minimo è stato assunto pari a 0.1 m a distanza variabile da 350 m a circa 500 m dal punto di drenaggio.

Le valutazioni, per quanto riguarda le caratteristiche stratigrafiche degli strati interessati dal consolidamento, fanno riferimento ai parametri geotecnici descritti al punto precedente ed alla "inertizzazione" degli strati di terreno fino a circa 5 m di profondità dal p.c. per tenere in conto che il drenaggio riguarda una falda in pressione confinata superiormente da un *aquitard*.

Andamenti dell'abbassamento della falda indotto dal punto di emungimento

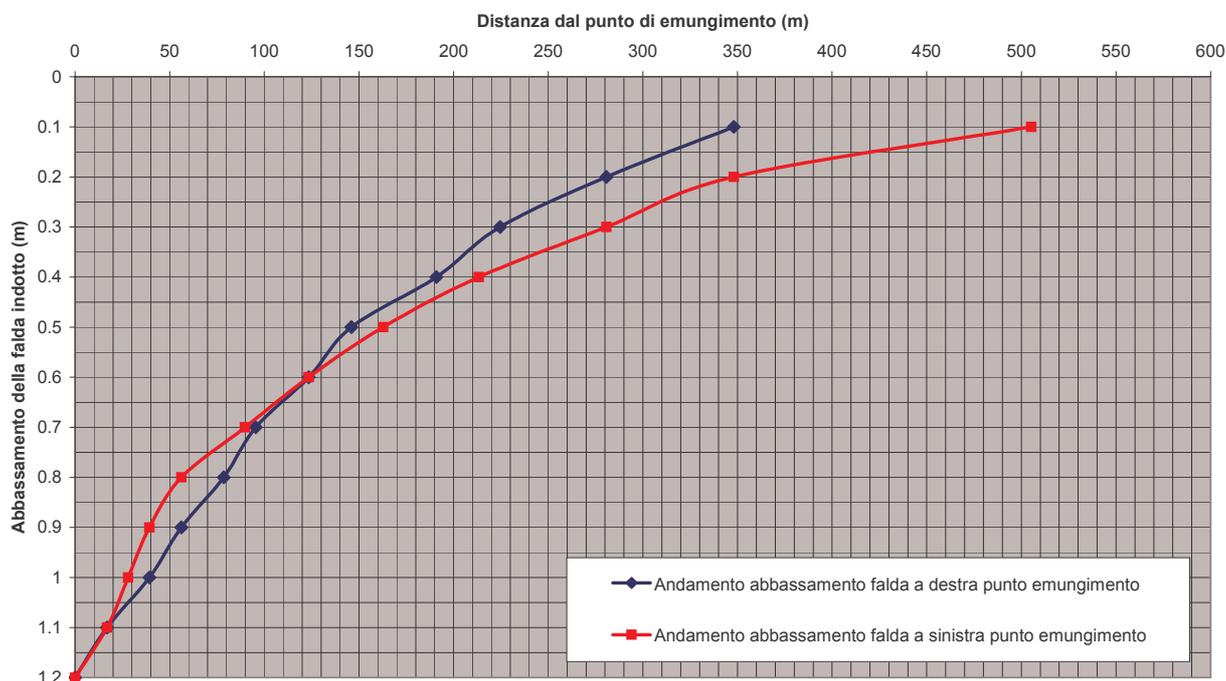


Figura 2.4/A - Andamento dell'abbassamento della falda indotto dal punto di drenaggio nella propria area di influenza: così come è stato assunto da risultati intermedi.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 22 di 41	Rev.
	1

#### 2.4.1 Descrizione del programma INTERAZ

Il programma di calcolo dei cedimenti *INTERAZ* utilizza il foglio elettronico *Microsoft Excel*.

Il calcolo dei cedimenti viene eseguito con metodi numerici, basati su una metodologia di approccio semplificata.

In generale le principali ipotesi semplificative di calcolo si basano su queste due assunzioni:

- il terreno è assimilato a un mezzo continuo, isotropo, omogeneo ed elastico-lineare;
- l'area di carico è considerata infinitamente flessibile e superficiale.

Gli studi effettuati per individuare l'influenza di tali ipotesi, e quindi l'attendibilità delle formule derivate per il calcolo delle tensioni indotte, hanno portato alle seguenti conclusioni:

- la non linearità di tipo meccanico non influenza l'entità e la distribuzione delle tensioni verticali, mentre le tensioni orizzontali sono molto sensibili al tipo di legame sforzi-deformazioni assunto (Morgenstern e Phukan, 1968; Höeg el al., 1968);
- nel caso di un mezzo eterogeneo, caratterizzato da un modulo di deformazione variabile linearmente con la profondità e da un coefficiente di *Poisson* costante (Gibson, 1974), le tensioni verticali sono leggermente influenzate dal valore di  $\nu$  mentre le tensioni orizzontali sono dipendenti in maniera drastica da tale parametro;
- la presenza di uno strato rigido di base comporta un incremento delle tensioni verticali in prossimità dello strato stesso che può essere anche del 50-60% del valore previsto dalla usuale teoria di *Boussinesq*. Gli errori nella stima delle tensioni orizzontali sono ancora più marcati;
- la presenza di uno strato superiore di maggiore rigidità comporta una sensibile riduzione delle tensioni verticali previste nell'ipotesi di mezzo omogeneo. Le tensioni indotte nello strato compressibile inferiore possono valutarsi, in prima approssimazione, usando ancora la soluzione relativa al mezzo omogeneo, ma alterando l'altezza dello strato superiore rigido nel rapporto dei moduli di deformazione  $E1/E2$  (Padfield e Sharrock, 1983);

In conclusione si può affermare che nella maggioranza dei casi pratici le tensioni verticali indotte possono essere stimate con l'usuale teoria di *Boussinesq* (mezzo elastico-lineare, omogeneo, isotropo) con un'affidabilità del 20%, facendo comunque particolare attenzione ai casi di terreno stratificato.

In particolare, il metodo utilizzato nel programma, che è applicabile per ogni distribuzione areale dei carichi agenti sul terreno di fondazione, obbedisce ai seguenti passaggi principali:

- l'area di carico reale viene suddivisa (e schematizzata) in una serie di celle di carico quadrate (scelte di dimensioni opportune rispetto alla scala del problema in esame), su ognuna delle quali è applicato un carico unitario uniforme;

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 23 di 41	Rev.
	1

- il calcolo delle tensioni verticali, indotte nel terreno di fondazione in profondità da ciascuna cella di carico, viene eseguito utilizzando la teoria della elasticità: in particolare si utilizza la soluzione di *Boussinesq* per la distribuzione delle tensioni in un semispazio elastico- lineare, omogeneo, isotropo);
- il cedimento verticale per ogni punto (individuato dall'area della cella di carico) disposto sul piano di fondazione (con coordinate X,Y) è pertanto calcolato suddividendo il terreno di fondazione in una serie di strati omogenei (ed ogni strato omogeneo in sottostrati) ed applicando ad ogni strato la seguente formula:

$$s_t(X, Y) = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma'_{zi}(X, Y)}{M_{0i}} h_i$$

in cui:

$\Delta\sigma'_{zi}(X, Y)$	incremento della tensione verticale efficace indotta dai carichi di fondazione al centro dello strato $i^{th}$ (ottenuto per sovrapposizione degli effetti di ogni cella di carico omogenea).
$M_{0i}$	modulo edometrico (o di deformazione confinato) dello strato $i^{th}$ .
$h_i$	spessore dello strato (o sottostrato) $i^{th}$ .

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 24 di 41	Rev.
	1

## 2.4.2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti fanno riferimento ad un'entità del cedimento indotto nell'area circostante per un abbassamento della falda di 1,1÷1,2 m nel punto di drenaggio.

Le ipotesi di base adottate:

- stratigrafia uniforme;
- abbassamento massimo della falda di 1,2 m, prodotto da un punto di drenaggio,
- andamento dell'abbassamento della piezometrica, rispetto al punto di drenaggio, in analogia alle curve descritte nella **Figura 2.4/A**.

L'assunzione dei parametri di deformazione per il terreno interessato è rappresentato nella Tabella 2.4/A seguente.

Strati	Prof (m)	Div (-)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$M_0$ (kN/m <sup>2</sup> )
S1(Riporto)	0	1	19	-----
S2 (Argilla)	1	5	8.5	-----
S3 (Limo)	5	1	8.5	25000
S4 (Sabbia Densa)	6	1	9	35000
S5 (Argilla)	7	3	8.5	2500
S6 Sabbia Med.Densa con Interc. Argillosa)	10	2	8.5	25000
S7 (Argilla con Interc. Limose)	12	4	8.5	2000
S8 (Sabbia da Med. Densa a Densa)	16	5	9	40000
S9 (Interc. di Sabbia e Argilla)	21	5	8.5	10000
	26			

Tabella 2.4/A Stratigrafia e parametri di calcolo

Si è ipotizzato che, per la natura "in pressione" della falda che si intende drenare e per la sua ubicazione in profondità, gli strati di terreno dei primi 5 m non risultino sollecitati a consolidare.

Sinteticamente, l'entità dei cedimenti attesi è:

- dell'ordine massimo di 3,5÷4,3 cm nell'area immediatamente circostante il punto di drenaggio, che ha una estensione all'incirca circolare con raggio di ca. 40÷50 m,
- di entità via via decrescente, fino a valori trascurabili, di pochissimi millimetri, a distanza di 350÷500 m di distanza dal punto di drenaggio.

Nella Tabella 2.4/B e nella Figura 2.4/B seguenti si riportano i valori minimi e massimi dei cedimenti indotti in funzione della distanza dal punto di drenaggio (per un abbassamento massimo di 1,1÷1,2 m).



COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 26 di 41	Rev.
	1

430		0.40
440		0.40
450		0.40
460		0.40
470		0.40
480		0.40
490		0.40


Tabella 2.4/B – Andamento cedimento in funzione della distanza dal drenaggio

**Andamento cedimenti massimi e minimi indotti dall'abbassamento della falda  
in funzione della distanza dal punto di emungimento  
per un abbassamento massimo di 1.2 m**

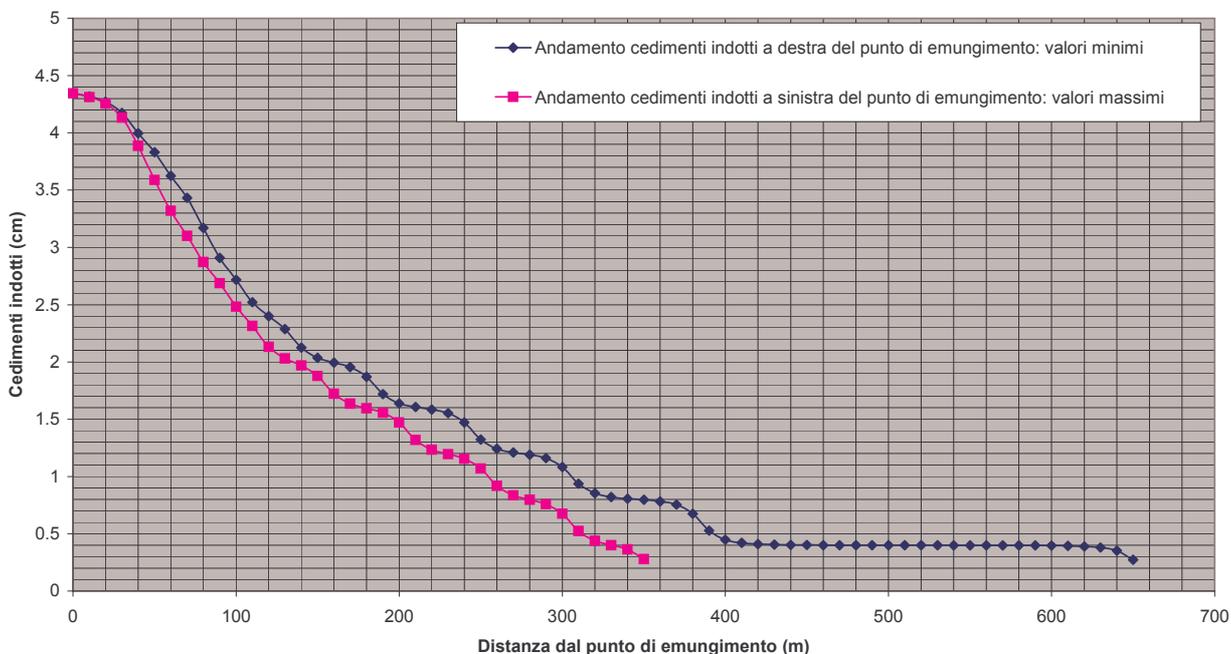


Figura 2.4/B - Andamento dei cedimenti indotti dal drenaggio nella propria area di influenza in funzione della distanza dal punto di drenaggio

Nelle Tavole seguenti dell'Annesso 1 sono mostrati i dati di ingresso ed i risultati ottenuti per il caso di abbassamento della superficie piezometrica di 1,1÷1,2 m nel punto di drenaggio.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 27 di 41	Rev.
	1

## 2.5 Conclusioni e monitoraggi

La presenza di numerosi livelli coesivi e compressibili nell'ambito del terreno di fondazione degli impianti e degli edifici dello Stabilimento Petrolchimico, e la non uniformità dell'abbassamento della piezometrica che si otterrà nell'ambito delle aree di fondazione dei singoli edifici e/o impianti, produrrà sicuramente una distribuzione non uniforme di cedimenti.

L'entità dei cedimenti differenziali sarà commisurata all'entità dell'abbassamento provocato, ma le verifiche, anche se grossolane, che sono state fatte, dicono che l'entità attesa è già significativa per un abbassamento di 1 m.

Si ritiene pertanto necessario procedere ad una valutazione più attendibile sulla base dell'andamento della piezometrica basata sia sul modello idrogeologico sia sugli effettivi risultati riscontrati in sito basati sui monitoraggi piezometrici, soprattutto nei confronti degli impianti/edifici che saranno indicati come "sensibili" dal Committente.

Inoltre, specificatamente e particolarmente su tali edifici, ma in modo generale su tutti gli edifici importanti dello Stabilimento, si dovrà stabilire un sistema di monitoraggio dei cedimenti, nel corso dell'applicazione del drenaggio, mediante livellazioni topografiche di precisione, ripetute secondo un programma temporale di rilevamenti, su una serie di riscontri ubicati sugli edifici e riferiti ad un sistema di zero esterno all'area in consolidazione.

L'andamento di tali rilievi consentirà di valutare, in corso d'opera, l'attendibilità delle previsioni fatte sulla base delle risultanze del modello idrogeologico, e consentirà anche di stabilire un sistema di controllo e di allerta per cedimenti troppo elevati che si stiano evidenziando su edifici/impianti "sensibili".

Per quanto sopra descritto si prevede una campagna di livellazione di alta precisione da effettuarsi preliminarmente alla messa in funzione dei sistemi di drenaggio (**zero di riferimento**) materializzando ca. 3-4 punti di misura locali sugli edifici ritenuti sensibili (in accordo alle indicazioni dello Stabilimento) ed appoggiando la livellazione ad almeno 3 capisaldi della rete IGMI (o capisaldi di nuova materializzazione) che non risentano degli abbassamenti dovuti al drenaggio (ovvero esterni all'area di consolidazione).

Al termine della lettura di zero saranno riportati in adeguati elaborati grafici l'ubicazione planimetrica dei punti di misura locali, la monografia degli stessi, la relativa lettura delle coordinate Z riferite ai capisaldi e l'ubicazione planimetrica dei sistemi di drenaggio.

Nel corso della messa in funzione dei sistemi drenanti si ritiene opportuno effettuare campagne di livellazione topografica di alta precisione (con un'approssimazione  $\max < 1 \text{ mm}$ ) per il primo anno di attività del drenaggio, su tutti i punti di misura precedentemente materializzati sugli edifici sensibili, con la seguente scala temporale:

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 28 di 41	Rev.
	1

Rilievi topografici	Settimane di funzionamento del DCS						
	0	1 <sup>^</sup>	3 <sup>^</sup>	7 <sup>^</sup>	15 <sup>^</sup>	31 <sup>^</sup>	52 <sup>^</sup>
Zero di rif.	X						
1° rilievo		X					
2° rilievo			X				
3° rilievo				X			
4° rilievo					X		
5° rilievo						X	
6° rilievo							X

Per gli anni successivi di funzionamento del sistema drenante, a seguito del monitoraggio piezometrico effettuato su tutto il Petrolchimico per testare la funzionalità del Drenaggio Controllato di Sito, si potrà prevedere di tarare nuovamente un codice di calcolo per la valutazione dei cedimenti che tenga in considerazione l'effettivo abbassamento della piezometria indotto dal drenaggio.

Dai risultati di questa simulazione si potranno prevedere le cadenze temporali delle ulteriori campagne di monitoraggio dei cedimenti sempre in relazione agli edifici ritenuti sensibili.

Qualora i sistemi di drenaggio ricadano su aree in cui non sia stata eseguita alcuna campagna geotecnica significativa, al fine di poter stimare al meglio i potenziali cedimenti indotti, si ritiene opportuno effettuare, per ciascuna postazione drenante, almeno n. 3 prove penetrometriche statiche (CPTU) da spingere sino ad una profondità di 40 m per valutare tutti i parametri geotecnici significativi per il calcolo degli abbassamenti.

Qualora durante queste attività su uno degli stabili oggetto di controllo si rilevasse un andamento dei "cedimenti" ritenuto potenzialmente dannoso per le strutture, si programmerà la chiusura immediata od una parziale riduzione della portata drenata dalla postazione più vicina all'edificio interessato e, se necessario, la successiva riattivazione dei sistemi di drenaggio fronte laguna nello stesso settore di Stabilimento ove si sia manifestato l'effetto negativo.

Successivamente, ed a seguito di un'attenta valutazione del fenomeno anche con l'ausilio del supporto modellistico in continuo aggiornamento, si potrà programmare la realizzazione di una o più opere di drenaggio sostituenti il dreno disattivato al fine di distribuire in modo più uniforme le portate drenate ed i carichi idraulici.

In particolare, per la postazione drenante prevista in area *Transped*, in cui le risposte modellistiche hanno evidenziato una potenziale depressione piezometrica di una certa consistenza (da valutare comunque a seguito delle attività di collaudo e messa a regime del sistema), si sottolinea la sua minore influenza sulle infrastrutture in relazione alla sua ubicazione in un'area, dalla quale edifici ed impianti risultano a maggiore distanza. In ogni caso, per questa situazione si programmeranno attività di controllo particolarmente accorte.

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 29 di 41	Rev.
	1

In generale, l'ubicazione finale di ogni postazione drenante verrà attentamente valutata con un sopralluogo diretto nell'area di intervento, al fine di individuare il posizionamento più "sicuro" rispetto alle infrastrutture circostanti ritenute sensibili.

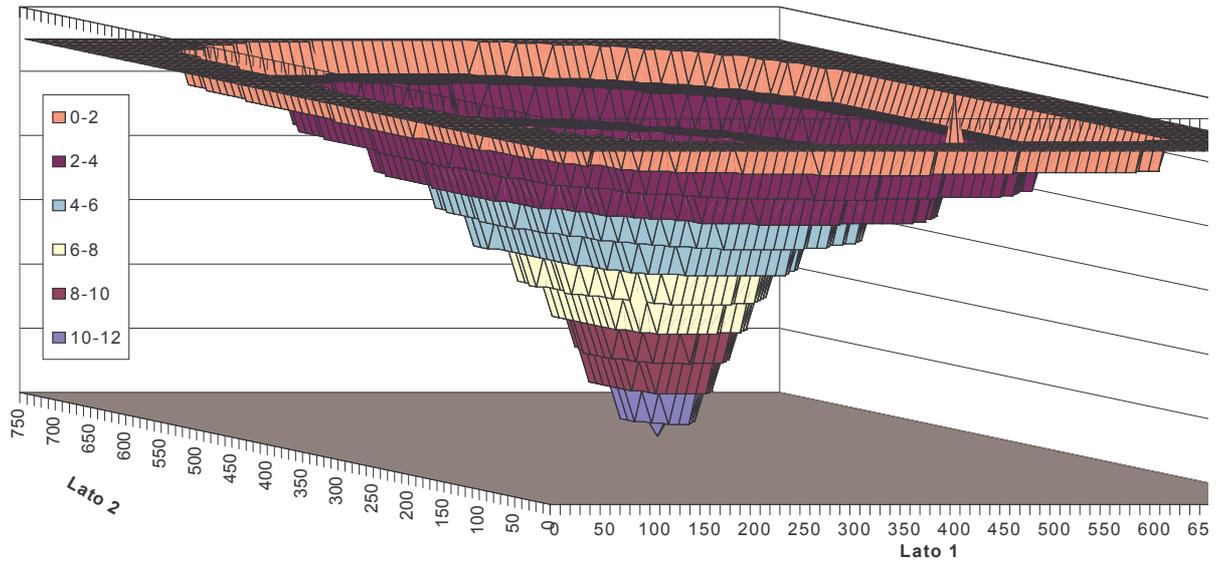
COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 30 di 41	Rev.
	1

## ANNESI

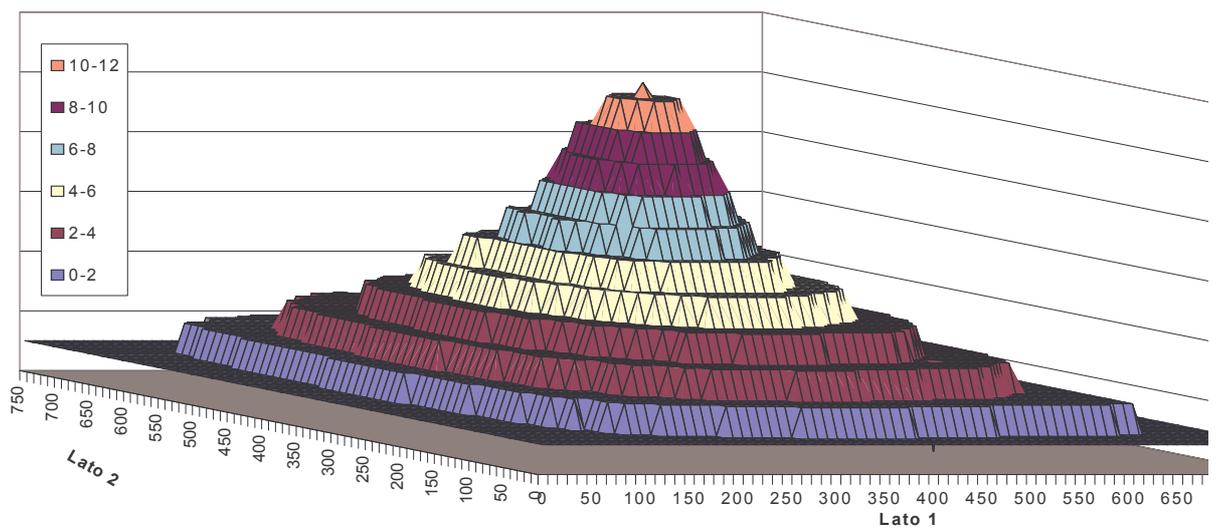
**ANNESSO 1: “Abbassamento della falda di 1,1÷1,2 m nel punto di drenaggio”.**

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 31 di 41	Rev.
	1

**Marghera - Sistema di Drenaggio**  
**Abbassamento Massimo Falda in punto emungimento 1.2m**



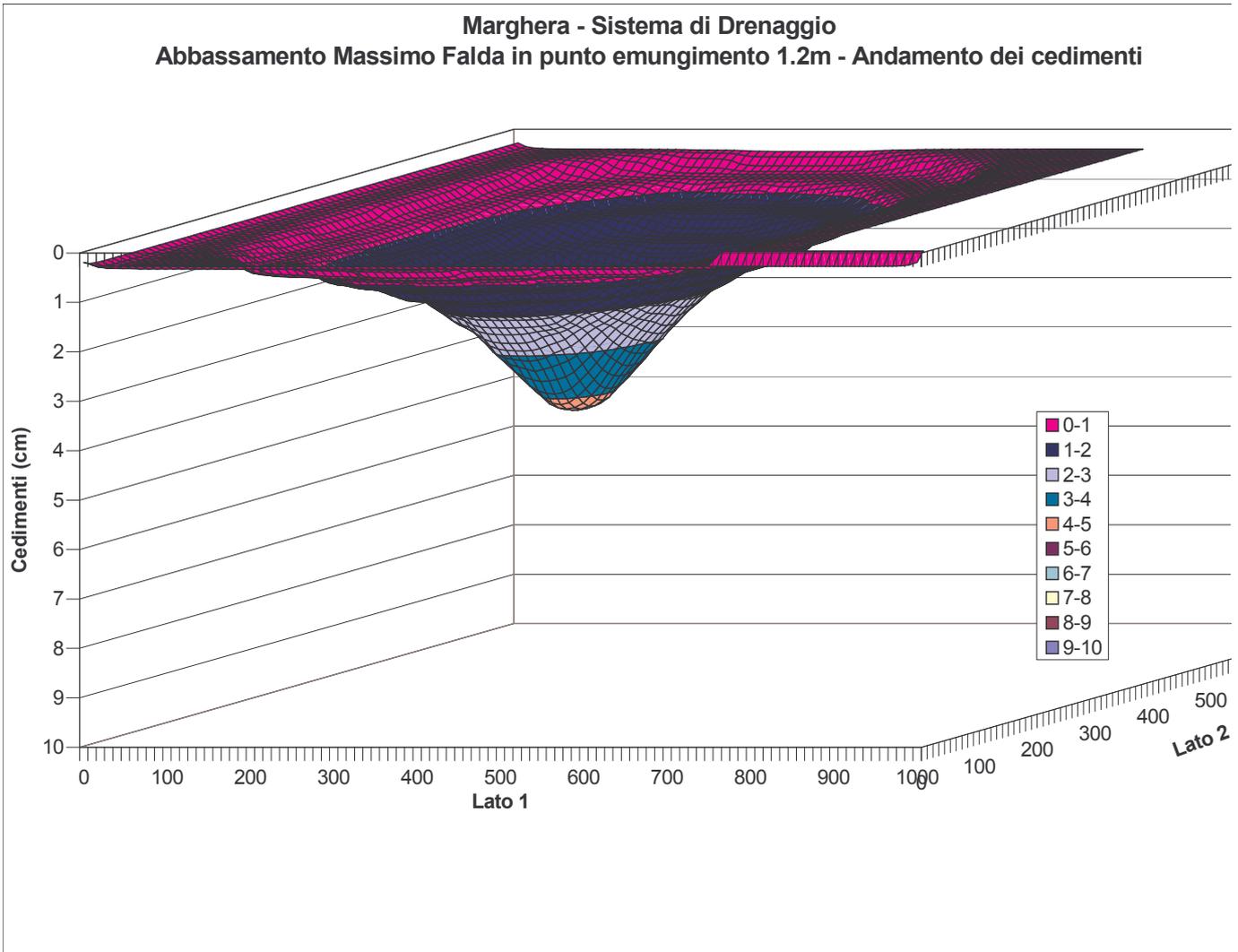
**Marghera - Sistema di Drenaggio**  
**Abbassamento Massimo Falda in punto emungimento 1.2m**







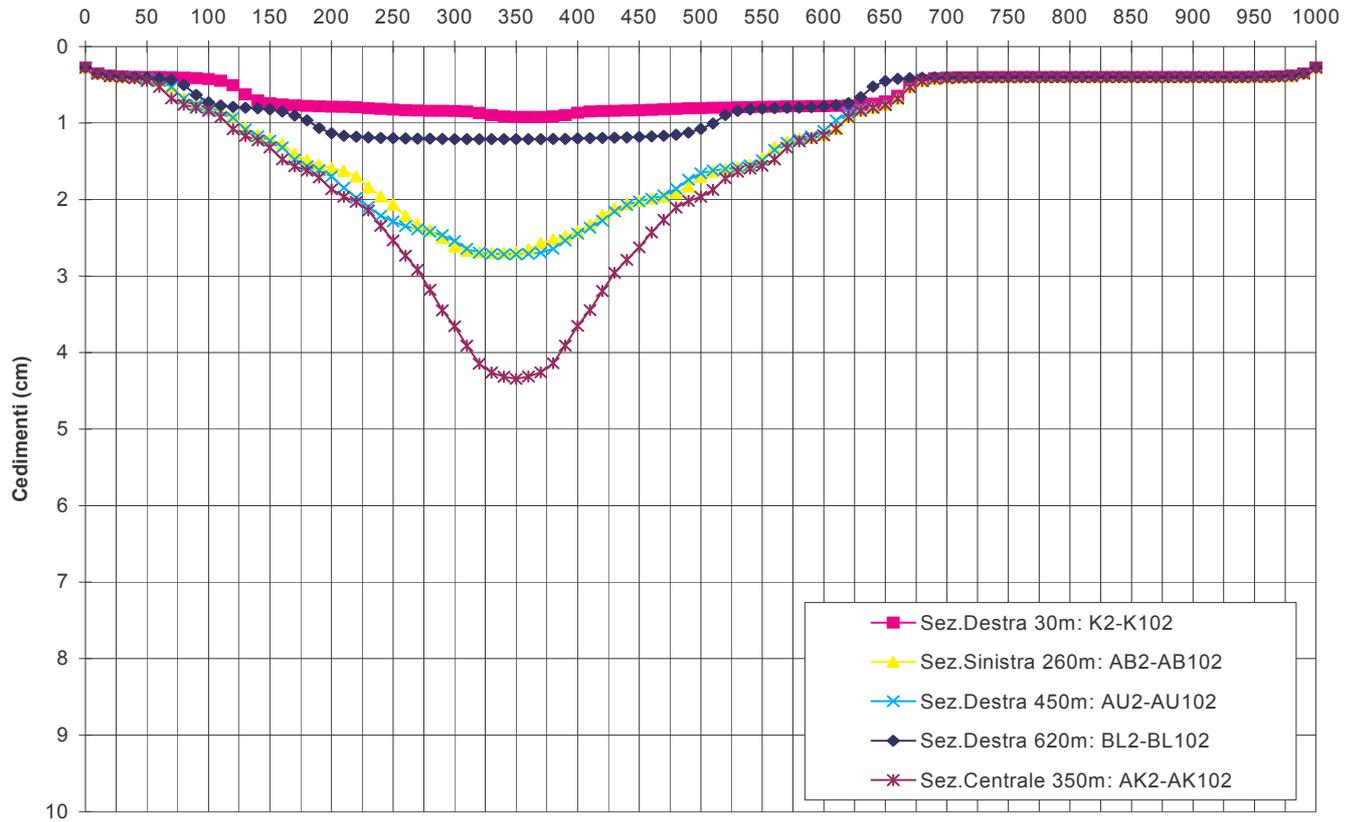
COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 34 di 41	Rev.
	1



COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 35 di 41	Rev.
	1

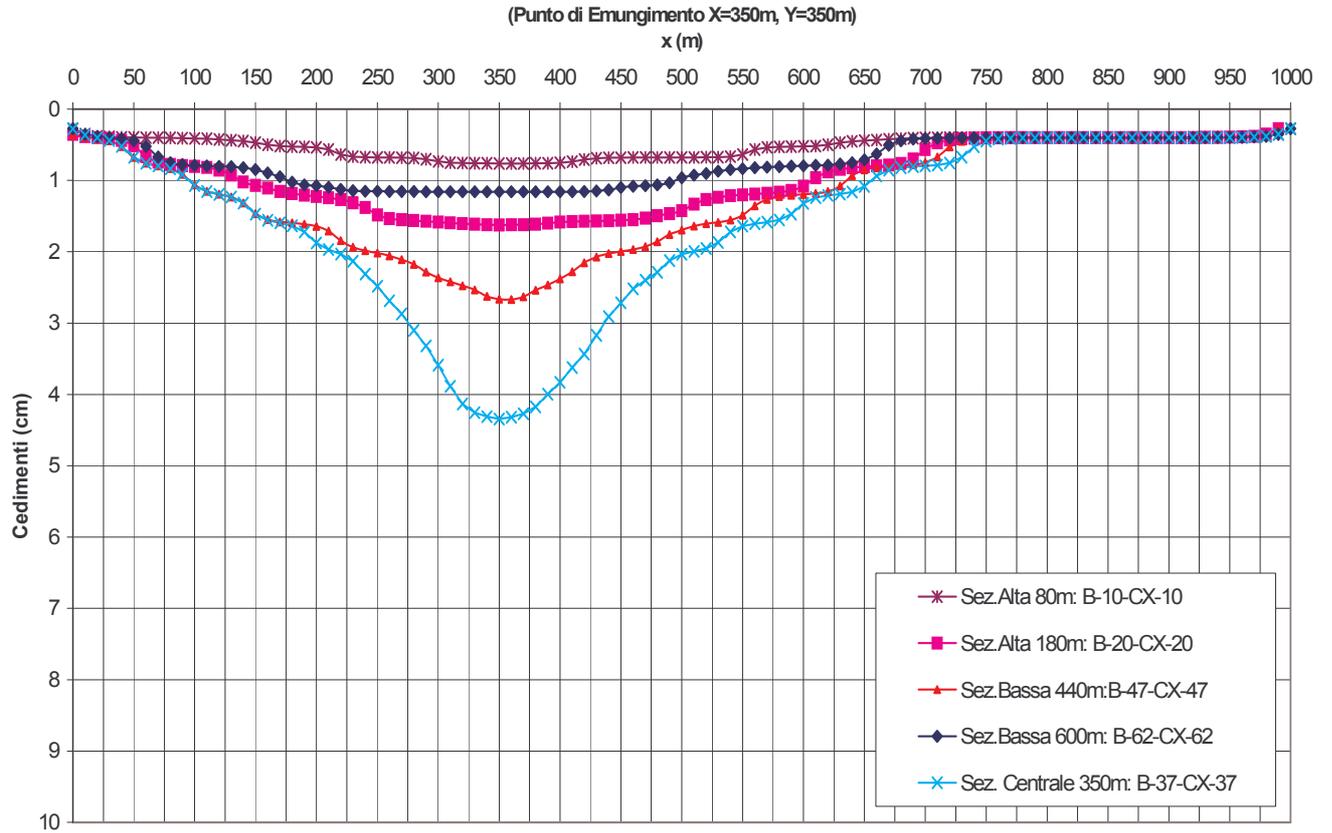
**Marghera - Sistema di Drenaggio**  
**Abbassamento Massimo Falda in punto emungimento 1.2m - Sezioni Verticali**

(Punto di Emungimento X=350m, Y=350m)  
 X (m)



COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 36 di 41	Rev.
	1

Marghera - Sistema di Drenaggio  
 Abbassamento Massimo Falda in punto emungimento 1.2m - Sezioni Orizzontali



COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fg. 37 di 41	Rev.
	1

**ANNESSO 2: “Stratigrafia del sondaggio SA3 e diagrammi delle prove penetrometriche CPT13, CPT14 e CPT15”.**

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Rev.	
1	
Fg. 38 di 41	

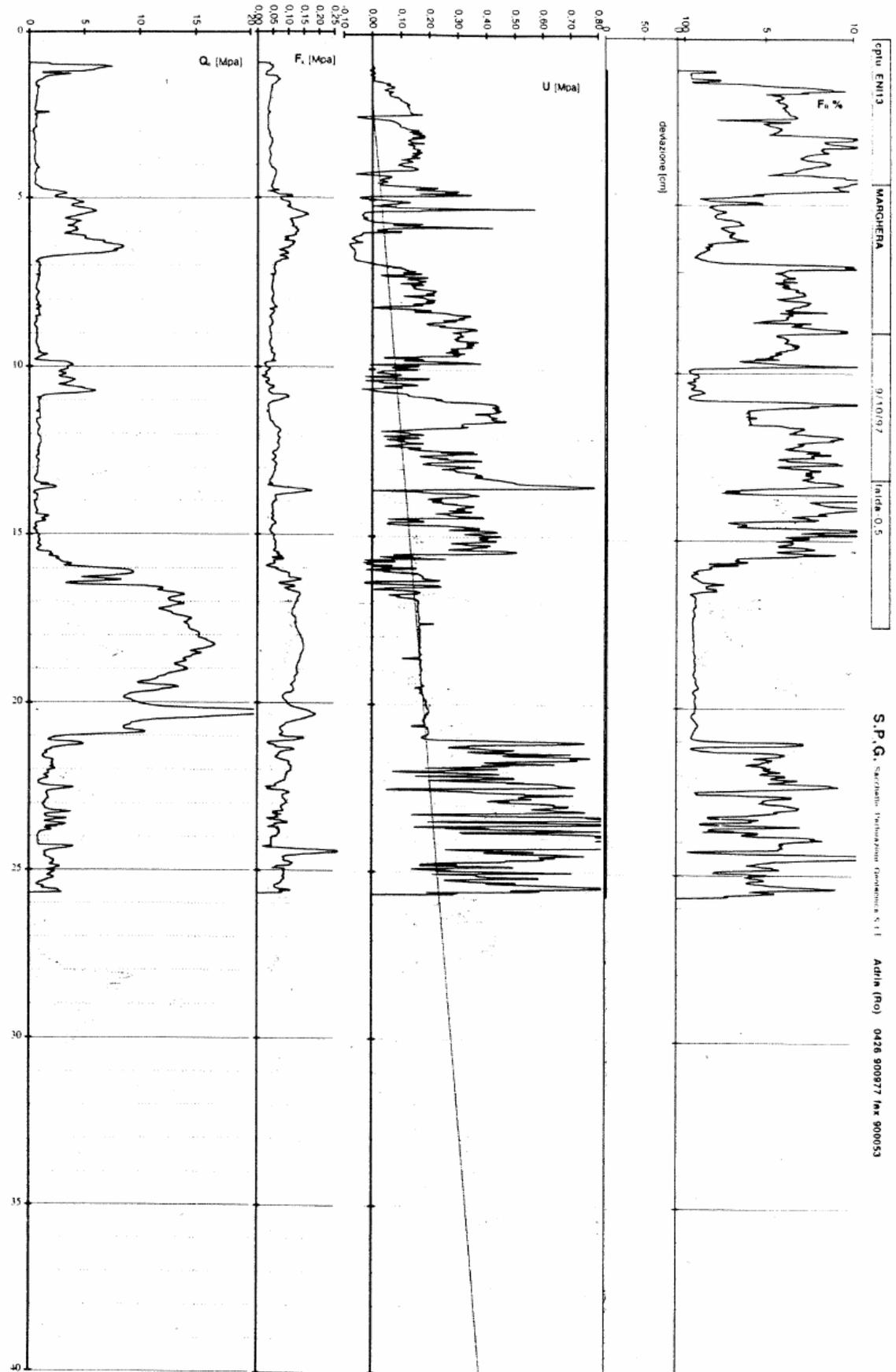


Committente	AQUATER S.p.A.	Commessa n.	261000
Localit...	Stab. EniChem P.Marghera	data inizio	7/10/97
Perforatore	Di Bonaventura Francesco	data ultimaz.	8/10/97
Geologo	Dott. Egidio Borsini	scala	1:150
Macchina operatr.	C.M.V. MK 900		

**SA 3**  
ml 26.20

Scala 1:150	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	S.P.T.	P.P. Kg./cmq.	V.T. Kg./cmq.	Falda rinvenuta	Falda stabilizzata
1	3.0		Riporto:			2.2	0.4	1.80	
2			Al tetto Sabbia giallo ocra mista a ciottoli e tritumi conchiliari.		2.5				
3			Restante: Sabbia grigio scura umida mista a ciottoli caratterizzata da un fortissimo odore di idrocarburi.		1.3	0.1			
4	0.0		Argilla grigia consolidata			1.2	0.4		
5	0.6		Limo sabbioso giallo ocra			2	0.9		
6	0.6		Limo argilloso grigio scuro con presenza di sostanze organiche vegetali.	4.60		0.6	0.4		
7			Argilla.	5.20		2	0.6		
8			Al tetto leggermente limosa grigio chiara.			0.6	0.6		
9	4.9		Al centro 4.60-6.20 gialla ocrea compatta "Caranto".			2.1	0.4		
10			Al letto plastica molto fine grigia			2.1	0.5		
11						0.4	0.4		
12	2.1		Sabbia media-fine grigia . Al tetto leggermente limosa.			0.6	0.3	9.50	
13						0.7	0.3		
14	0.1		Argilla grigia	10.75		0.2	0.1		
15	0.1		Sabbia fine grigia	5.5-9		0.1			
16	0.4		Limo argilloso grigio scuro con presenza di sostanze organiche vegetali.	11.20		0.6	0.2		
17	0.3		Sabbia leggermente limosa grigia	12.80		0.6			
18	1.3		Argilla grigia	SA3FM2		0.5	0.3		
19	0.5		Torba marrone scura mista ad argilla abbastanza compatta.	13.40		0.5	0.6		
20			Argilla grigia			1.4	0.6		
21	2.2		Argilla grigia			1.8	0.5		
22			Torba marrone scura su matrice limoso-sabbiosa	16.00		0.7	0.5		
23	0.3		Argilla grigia	SA3FM3		0.6	0.4		
24	1.5		16.50		0.5	0.3			
25	1.4	Limo argilloso grigio			0.2	0.2	18.50		
26	1.1	Limo sabbioso grigio			0.1	0.2			
27	1.5	Sabbia grigia	19.00		0.5	0.2			
28	1.2		Limo leggermente sabbioso grigio	5-8-12		0.5	0.2		
29					19.45		0.4		
30	0.3	Sabbia limosa grigio scura			0.6	0.2	21.70		
31	0.2	Torba marrone			0.4	0.2			
32	1.2	Limo grigio	9-10-12		0.6	0.2			
33	0.6		Limo leggermente argilloso grigio			0.5	0.3		
34			Sabbia limosa grigia abbastanza compatta			1.0	0.3		
35	1.4	Argilla leggermente limosa grigia	24.00		0.2	0.2	25.50		
36	0.5	Limo grigio non compatto	SA3FM4		0.2	0.2			
37	0.7	Sabbia media-fine grigia	24.60		0.5	0.3			

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 39 di 41	Rev.
	1



loc

COMMESSA 1265Q0	UNITA' RISAMB
<b>SPC. 65-BD-E-94009</b>	
Fig. 40 di 41	Rev.
	1

