



MINISTERO DELL'AMBIENTE  
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA



Regione Toscana

## **REALIZZAZIONE DI IMPIANTI DI PRODUZIONE DI IDROGENO RINNOVABILE IN AREE INDUSTRIALI DISMESSE**

Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica", Componente 2 "Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile", Investimento 3.1 "Produzione di idrogeno in aree industria dismesse", finanziato dall'Unione Europea – Next Generation EU (HYDROGEN VALLEYS)

Progetto ROSIGNANO HV - CUP CIPE: D33D23000030006

Capofila SOLVAY CHIMICA ITALIA S.p.A. - Partner SAPIO PRODUZIONE IDROGENO OSSIGENO S.r.l.

# RELAZIONE GEOLOGICA

## PROGETTO ROSIGNANO HV

## IMPIANTO Elettrolizzatore e Cabina Elettrica

Ubicazione: Via Piave, 6 Frazione Rosignano Solvay – 57016 ROSIGNANO MARITTIMO (LI)

## PREMESSA

Su incarico della committenza, Soc. Solvay Chimica Italia spa, viene eseguito il presente studio geologico a supporto della realizzazione del Progetto Hydrogen Green nello stabilimento di Rosignano.

Il progetto Hydrogen Green è così costituito:

- Impianto SAPIO costituente due aree:
  - Area destinata all'impianto vero e proprio di produzione H<sub>2</sub> Green
  - Area destinata alla nuova cabina elettrica
  - Area destinata alla realizzazione di una nuova pipe rack di circa 35 m.l.

L'ubicazione di tali interventi all'interno del parco industriale è riportata in Fig.1.

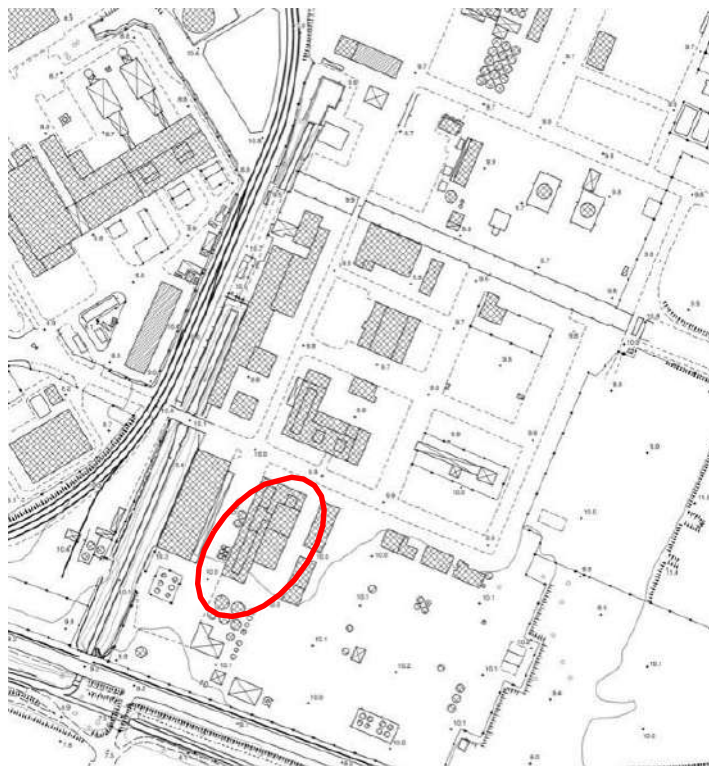


Fig.1- Ubicazione area su cui si interviene

Gli obiettivi del presente studio in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 che regola nuovi interventi edilizi in zone classificate sismiche, sono quelli di definire le condizioni generali della zona, verificare l'esistenza di eventuali limitazioni di carattere geologico, idrogeologico, idraulico per quanto proposto e valutare la compatibilità con le condizioni geotecniche e sismiche dei terreni presenti.

Per espletare tale incarico, sono stati consultati i dati esistenti sul territorio, nonché la bibliografia e la documentazione tecnica disponibile negli Archivi della soc. Solvay relativa all'area in esame, ed in particolare:

- le risultanze della caratterizzazione del suolo, sottosuolo ed acque sotterranee all' interno dello stabilimento Solvay e nello specifico in corrispondenza dell'area INTEROX, ove verrà a localizzarsi il nuovo impianto SAPIO, condotta dalla soc. Aquale ( Marzo 2005), nel corso della quale erano stati eseguiti numerosi sondaggi attrezzati successivamente a piezometri per il monitoraggio della falda
- le risultanze di precedenti indagini geologiche eseguite dallo scrivente nel periodo Gennaio 2015 e Settembre 2024 , per la realizzazione dei vari corpi di fabbrica che costituiscono l'impianto ITINIRIS, ubicato in prossimità del sito considerato; nel corso di tali studi erano stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità comprese tra i 10 e 30 metri (S3-S6-S8) durante i quali sono state condotte prove SPT e prelievo di campioni indisturbati.
- lo studio geologico di supporto al P.S adottato dal Comune di Rosignano M.mo e redatto da GEOTECNO Studio Associato di Firenze e supportato da una serie di carte tematiche fra cui la carta della pericolosità geologica, l'area in studio rientra in classe G3 a pericolosità geologica elevata, vedi a tale proposito la Fig.2.

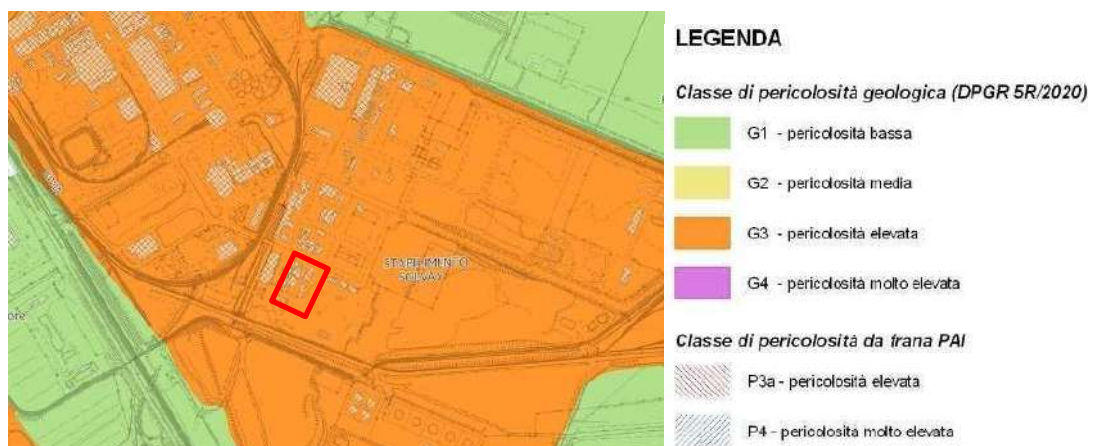


Fig.2- Stralcio della carta della pericolosità geologica del P.S. adottato

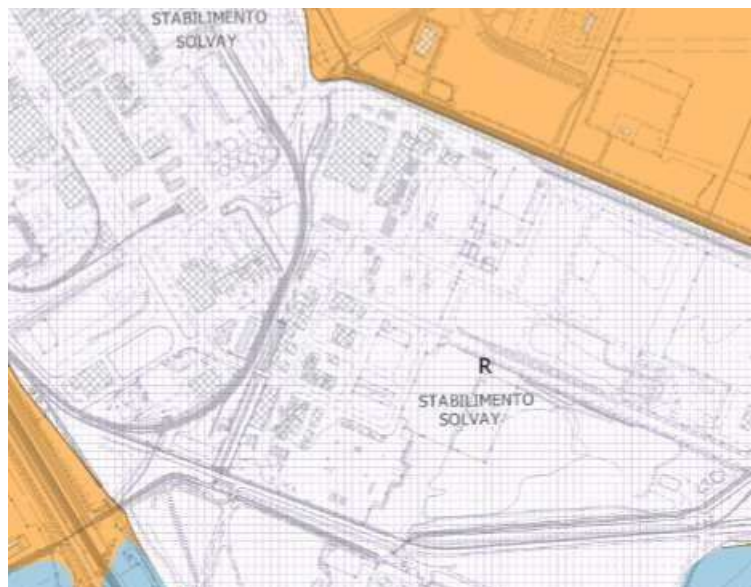
L'impianto SAPIO in progetto, con una volumetria complessiva di circa 550 mc, comprensiva sia dell'installazione dei N° 4 moduli per la produzione vera e propria di H2 Green (container), che della cabina elettrica a servizio dell'impianto stesso, ricade nella classe d' indagine 2 ai sensi del DPGR 01/R/2022. Preso atto che, in termini di rilevanza, l'intervento proposto si configura come un'opera rientrante nella classe d'uso IV, in ottemperanza alle disposizioni di cui al punto 2 del Paragrafo 3 delle Linee Guida di cui all'art.5 del D.P.G.R. 01/R/2022, tale intervento ricade nella classe d'indagine superiore a quella individuata in base al volume o all'altezza ai sensi del punto 1, e pertanto la corrispondente classe di indagine è la classe 3.

Con riferimento a tale classe di indagine per la determinazione dell'azione sismica, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettera b), sono state utilizzate n. 2 prove sismiche, rispettivamente un'indagine di superficie (masw) e una prova sismica in foro (down hole).




Per la parametrizzazione del volume geotecnico significativo, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettere a) e c), sono state utilizzate almeno n° 3 verticali di indagine di sondaggi geognostici a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT in foro a varie profondità ed inoltre sono stati utilizzati le letture di alcuni piezometri già presenti nell'area considerata per la determinazione del livello di falda ed il suo monitoraggio.

## SITUAZIONE MORFOLOGICA

L'area in esame ricade nella vasta pianura costiera di Rosignano Solvay ad una quota di circa 9.80 m s.l.m. La morfologia completamente tabulare è stata raggiunta a seguito del conferimento di materiale di riporto (sedimenti carbonatici) nel corso dei decenni che ha determinato un piazzale livellato. Nella carta geomorfologica l'area risulta cartografata all'esterno di aree interessate da fenomeni di dinamica di versante e/o dinamica fluviale (Fig.3).



### Forme e processi nelle pianure alluvionali

-  T - terrazzo fluviale
-  P1 - Terreni pianeggianti e a moderata pendenza, di origine per lo più alluvionale, stabili e non interessati dalle dinamiche morfoevolutive fluviali.
-  P2 - Terreni con pendenze medio-basse apparentemente stabili; depositi detritici colluviali con pendenze inferiori al 25%; terreni pianeggianti in aree di pertinenza fluviale delle fasce funzionali del fiume; depositi di spiaggia, edici, lagunari, palustri e di colmata.

### Forme di origine antropica

-  R - Riporti artificiali di spessore/estensione significativi (terreni potenzialmente cedevoli)

Fig.2- Stralcio della carta geomorfologica allegata al P.S. adottato



## CONSIDERAZIONI IDRAULICHE

Nella carta della pericolosità da alluvione allegata al P.S adottato, riportata in Fig.4, l'area ove verrà a localizzarsi il nuovo intervento ricade nella classe P2, a pericolosità da alluvione poco frequente, e pertanto soggetta a prescrizioni specifiche ai sensi della L.R.T 41/2018.

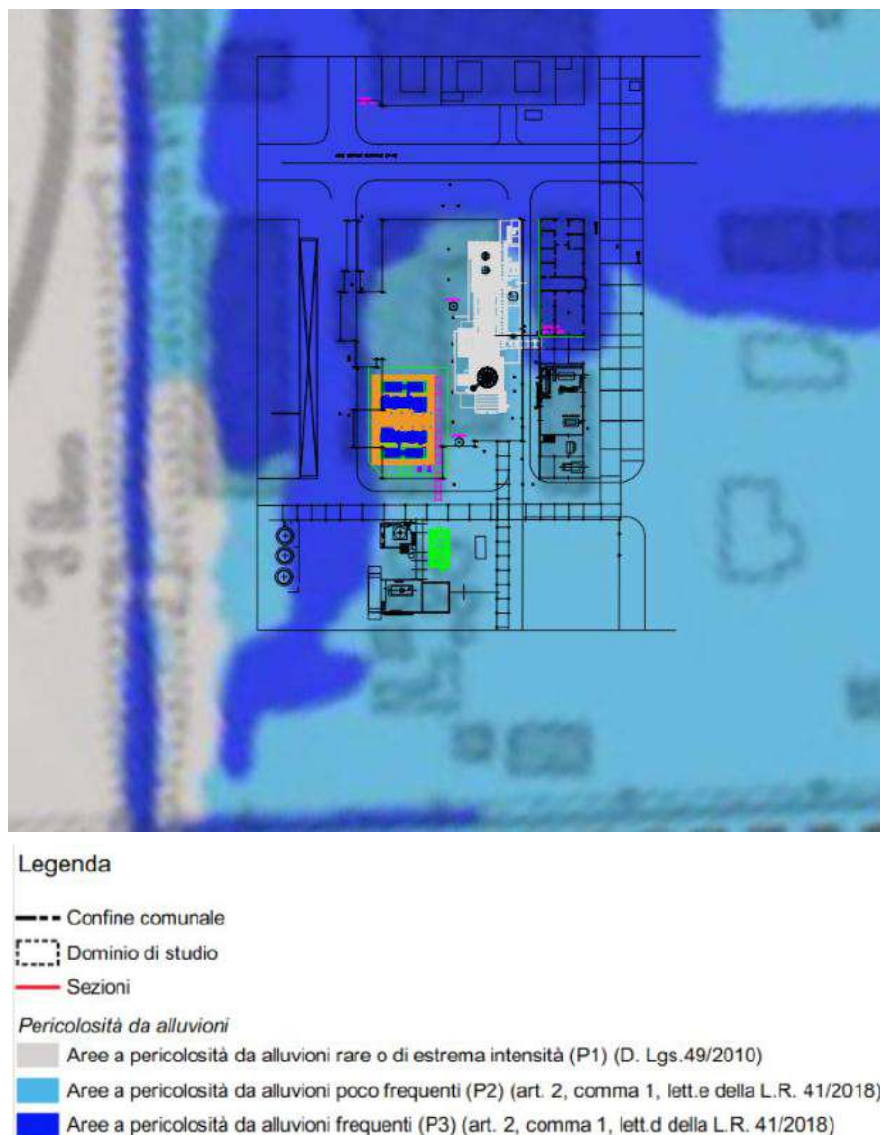


Fig. 3 -Carta della pericolosità da alluvione allegata al P.S. adottato

E' doveroso fare una premessa ossia che l'impianto SAPIO destinato alla produzione di idrogeno Green andrà a localizzarsi sul sedime di un vecchio impianto per la produzione di carbonato di sodio perossidato (PCS) che occupava originariamente una superficie di 2980 mq e che è stato completamente demolito (VEDI DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA); una porzione di tale superficie è stata successivamente occupata dalla realizzazione dell'impianto Solcarr e da un piccolo laboratorio, pertanto la superficie residua e libera del piazzale venutasi a creare è di 2016 mq (Fig.4).



Documentazione fotografica antecedente la demolizione

Impianto PCS (ANTE DEMOLIZIONE)



Documentazione fotografica conseguente la demolizione e la costruzione del Solcarr

Area dismessa (POST DEMOLIZIONE)

#### STATO FINALE

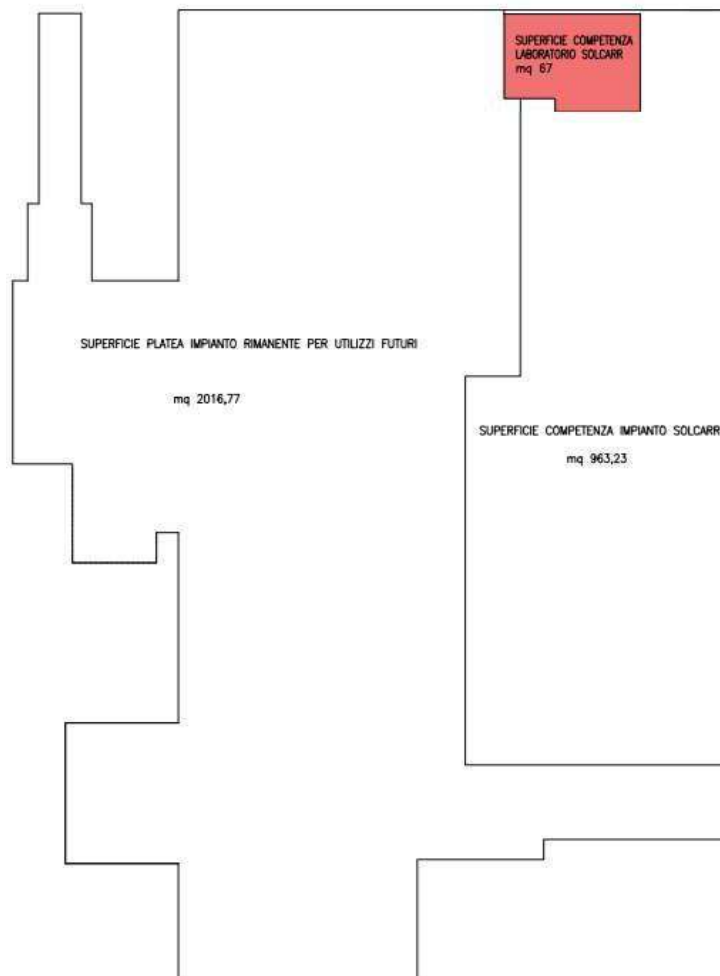


Fig.4- Configurazione superfici piazzale a seguito della demolizione impianto PCS

I dati LIDAR rilevati nella zona in studio risalgono al 2008, sulla base dei quali è stato redatto successivamente lo studio idraulico redatto dallo Studio Chiarini Associati ed in particolar modo la carta dei battenti allegata alla Delibera di controdeduzioni n° 38 del 28/03/2024, riporta in corrispondenza dell'impianto SAPIO, e più precisamente in corrispondenza dei n. 4 moduli container, dei valori di battente variabili, risultanti dalla media dei valori attribuiti alle aree omogenee per battente idraulico, stimabili nell'intervallo compreso tra 0.05 m e 0.10 m, mentre in corrispondenza della nuova cabina elettrica si rilevano battenti compresi nell'intervallo 0.15 m- 0.20 m. Per entrambi i casi, in una ipotesi maggiormente cautelativa vengono presi come riferimento i valori di battente maggiore, quindi rispettivamente battenti di 0.10 m per l'area Sapio e di 0.20 m, per l'area ove andrà a localizzarsi la cabina, sempre e comunque corrispondenti ad una condizione di magnitudo moderata, e a cui va aggiunto il franco di sicurezza di 30 cm.



Fig.5- Carta della magnitudo idraulica allegata al P.S. adottato





Fig.6- Stralcio della carta dei battenti allegata al P.S. adottato

Nell'area in esame tali battenti idraulici chiaramente non tengono in debito conto della demolizione dell'impianto PCS (anno 2019) e conseguentemente delle modifiche che hanno interessato il sedime dell'area su cui si interviene, nello specifico dopo la demolizione dell'impianto PCS il piazzale è stato completamente asfaltato rialzando leggermente l'originaria quota altimetrica in modo da conferirgli una leggera pendenza verso l'esterno in corrispondenza della viabilità stradale ove sono state posizionate delle griglie per la raccolta delle acque meteoriche. Inoltre la demolizione dell'impianto PCS ha reso disponibile una superficie di oltre 2000 mq sulla quale una eventuale alluvione può ulteriormente essere laminata senza trovare nessun ostacolo al suo deflusso.

Per le considerazioni sopra esposte, presa visione degli elaborati progettuali, si ritiene che gli interventi di nuova costruzione previsti siano fattibili a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'art.8, comma 1 lettere a), b) e c). Nella fattispecie venendosi a localizzare il piano di calpestio delle future opere al di sopra del battente atteso, le condizioni fissate all' art.11 comma 2 della L.R. 41/2018 risultano verificate. Il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree è garantito dal conseguimento della classe di rischio medio R2.



## SITUAZIONE GEOLOGICA

Il rilevamento geologico della zona è riportato in Fig.6, i rapporti originari fra le formazioni geologiche qui presenti sono totalmente oblitterati dai consistenti riporti; la stratigrafia della zona è conosciuta grazie alla disponibilità di numerosi sondaggi. I terreni qui presenti sono costituiti a partire dal p.c. da:

- un terreno di riporto con uno spessore variabile compreso tra i 5.00 ed 6.00 m, si tratta di un litotipo costituito da una breccia calcarea addensata; rappresenta il terreno ove verranno a posizionarsi le fondazioni dei nuovi interventi e che saranno interessate dalla futura dissipazione dei carichi, tale orizzonte è stato caratterizzato da numerose prove SPT in foro nel corso dei numerosi sondaggi
- seguono alternanze di sabbie più o meno addensate e livelli calcarenitici (nota come “panchina di Castiglioncello”), il grado di cementazione degli orizzonti calcarenitici è variabile in funzione delle condizioni ambientali che si sono avute durante la deposizione delle sabbie, lo spessore di questo orizzonte è circa 5.00/6 metri.

- segue una successione di sabbie cui si alternano orizzonti con granulometria più fini di natura limosa, talora piccole lenti di argille ed argille limose, in maniera subordinata si possono trovare livelli di calcarenite e/o strati di ghiaia in una facies più o meno cementata (conglomerati con fossili marini).

A costituire il substrato delle formazioni detritico clastiche sopra descritte rinveniamo a partire dalla profondità di 15/16 metri dei livelli limo-argillosi, talora sabbiosi di colore grigio, scendendo in profondità si passa a litotipi francamente più argillosi si tratta di argille da mediamente consistenti a consistenti deposte durante il Pleistocene inf., il loro spessore nella piana di Rosignano è valutato dell'ordine di oltre 100 metri.

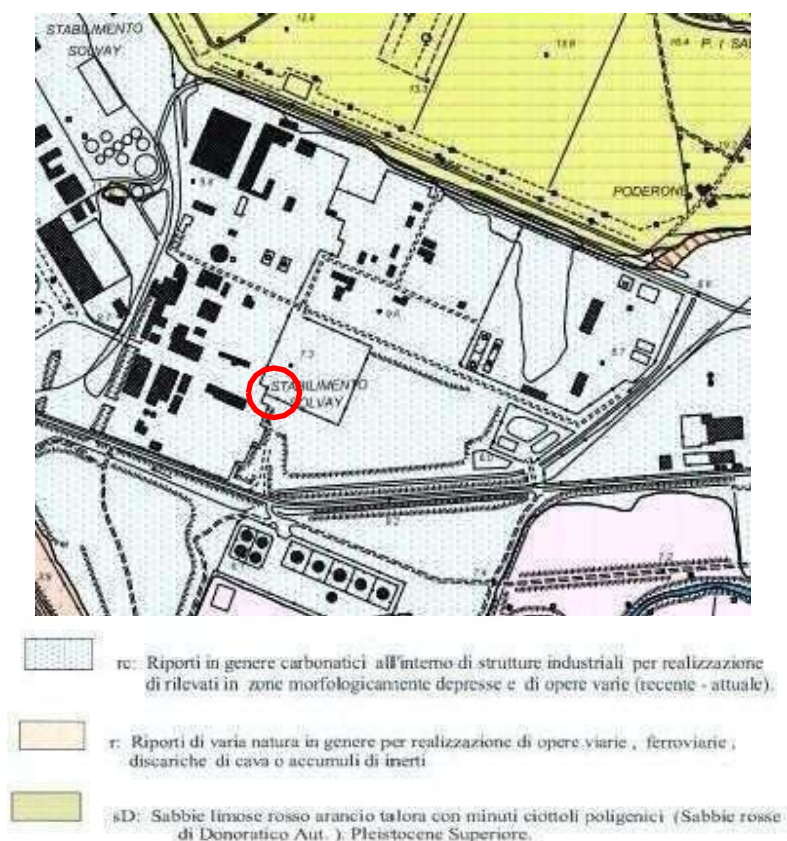


Fig. 7 –Stralcio della carta geologica

## **CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE**

La zona in esame presenta superficialmente terreni a prevalente composizione detritica (RIPORTI) che sormontano litotipi in facies sabbiosa ed arenacea quindi litotipi contraddistinti da una discreta permeabilità sia di tipo primario per porosità che secondario per fratturazione. La buona permeabilità dei litotipi sopradescritti e la discreta zona di ricarica presente ad est favorisce la presenza di una falda superficiale peraltro messa in evidenza sia durante la perforazione dei sondaggi eseguiti che dal monitoraggio di alcuni piezometri presenti nell'area considerata (PZ int 01, PZ4 BIS interox 04, PZ int 05) questa si attesta mediamente tra la profondità di - 4.50/5.00 metri rispetto alla quota del piazzale esistente ( in funzione della fluttuazione stagionale ).

Gli interventi in progetto non prevedono comunque significative opere di scavo per la realizzazione delle future fondazioni previste superficialmente, (moduli prefabbricati, nuova cabina elettrica, rack) e pertanto si esclude anche nei periodi di massima ricarica interferenze con la falda , ma verrà sempre garantito un franco di sicurezza di alcuni metri.

## **PARAMETRIZZAZIONE DEI TERRENI**

Per la parametrizzazione dei terreni qui presenti sono stati utilizzati i risultati di alcuni sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nella zona riportati nella planimetria di Figura 8.

Si tratta dei sondaggi geotecnici S3, S6, S8, S40 e de piezometri PZINT 01, PZINT05 e PZ4 bis interox che hanno raggiunto le seguenti profondità:

S3 = 15 m S6= 32 m S8= 20 m S40= 40m

PZ INT 01 = 10 m      PZ INT 05=10 m      PZ 4bis INT= 14.50 m



Fig.8 Ubicazione dei sondaggi precedentemente eseguiti ed utilizzati

- Sondaggio attrezzato per prova down hole
- sondaggi geognostici
- piezometro

Tutte le stratigrafie riportate in allegato hanno evidenziato una discreta omogeneità litologica del terreno di riporto costituito da clasti di natura calcarea immersi in una matrice sabbiosa grossolana ben addensata dove la punta della prova SPT spesso è andata a rifiuto all'infissione già nei primi decimetri della prova dinamica. Nello specifico nel corso dei sondaggi geotecnici erano state eseguite a varie profondità prove SPT.

<i>n.sondaggio</i>	<i>1° SPT</i> <i>N1+N2+N3</i>	<i>2° SPT</i> <i>N1+N2+N3</i>	<i>3° SPT</i> <i>N1+N2+N3</i>
<i>S3</i>	<i>1.60-2.05 m</i> <i>15- &gt;50</i>	<i>3.00-3.45 m</i> <i>38- &gt;50</i>	<i>4.50- 4.95 m</i> <i>36- &gt;50</i>
<i>S6</i>	<i>7.00-7.45 m</i> <i>9-30-35</i>	-	-
<i>S8</i>	<i>1.50-1.95 m</i> <i>9-12-20</i>	<i>2.75-3.20 m</i> <i>17-50</i>	<i>4.50- 4.95 m</i> <i>26-39-50</i>

Per quanto riguarda la modellazione litotecnica dei terreni presenti, in questo settore di stabilimento è presente un consistente orizzonte di terreno di riporto caratterizzato da discrete caratteristiche geotecniche e di portanza e con un elevato grado di addensamento da rappresentare una vera e propria platea naturale

Al di sotto del riporto, conferito intorno agli '50 per livellare il piazzale, si passa ad una successione di sabbie contenenti orizzonti calcarenitici e conglomeratici fino alla profondità di circa 10.00 segue un orizzonte di materiale con granulometria più fine, con varie litologie dove prevalgono le sabbie che possono comunque sfumare a limi argillosi e talora a livelli di ghiaie fino alla profondità di 15.00 m.

Al di sotto dei 15/16 metri si rinviene una successione di limi argillosi e argille talora con passate limose fino alla profondità di 30 metri.

Le prove SPT eseguite a punta aperta hanno consentito di valutare la stratigrafia dei terreni presenti e di stimare i principali parametri geomeccanici dell'orizzonte clastico interessato dalla distribuzione del carico, sia in corrispondenza del riporto che nell'orizzonte sottostante costituito da sabbie e livelli di calcarenite sabbiosa (panchina).



In particolare i valori  $N_{SPT}$  sono stati normalizzati (formula di Skempton) e tramite la correlazione proposta nel Road Bridge Specification è stato ricavato il valore dell'angolo di attrito interno dei litotipi a prevalente componente granulare che costituisce la successione detritico-clastica dei terreni qui presenti.

$$\varphi = \sqrt{15 \cdot N_{SPT}} + 15$$

A partire dalla quota del piazzale si avrà la seguente modellazione litotecnica (vedi sez. Fig.9):

0.00 – 6.00 cm terreno di riporto molto addensato  $\varphi_{\text{m}} = 32^\circ$   $y = 1.80$  t/mc DR 85%

RAPPRESENTA IL LITOTIPO INTERESSATO DALLA DISSIPAZIONE DEL CARICO INDOTTO DAI FUTURI INTERVENTI

6.00 – 10 m sabbie mediamente addensate alternate ad orizzonti di materiale calcarenitico con spessore degli strati variabile da alcuni centimetri fino al decimetro  $\varphi_{\text{m}} = 30^\circ$   $y = 1.90$  t/mc DR% = 60%

10.00 -11.00 m sabbie gialle  $\varphi_{\text{m}} = 28^\circ$   $y = 1.90$  t/mc

11.00 - 12.00 m limo argilloso  $\varphi_{\text{m}} = 22^\circ$   $c_u = 0.50$  Kg/cmq  $c' = 0.12$  Kg/cmq  $y =$

12.00-15.50 m sabbie con ciottoli di ghiaia , in una facies piu' o meno cementata ( conglomerati) e orizzonti calcarenitici  $\varphi_{\text{m}} = 32^\circ$   $y = 1.90$  t/mc

15.50- 20.00 m sabbia argillosa con passate di limo di colore grigio  $\varphi_{\text{m}} = 25^\circ$   $c_u = 0.50$  Kg/cmq  $y = 1.90$  t/m

20- 30.00 m argilla prevalente con passate di limi sabbiosi  $\varphi_{\text{m}} = 12^\circ$   $c_u = 0.75$  Kg/cmq  $y = 2.00$  t/m  
dove :

$\varphi_{\text{m}}$  = valore dell'angolo di attrito caratteristico  $c_u$  = valore della coesione non drenata

$c'$  = valore della coesione drenata  $y$  = peso di volume DR% = densità relativa

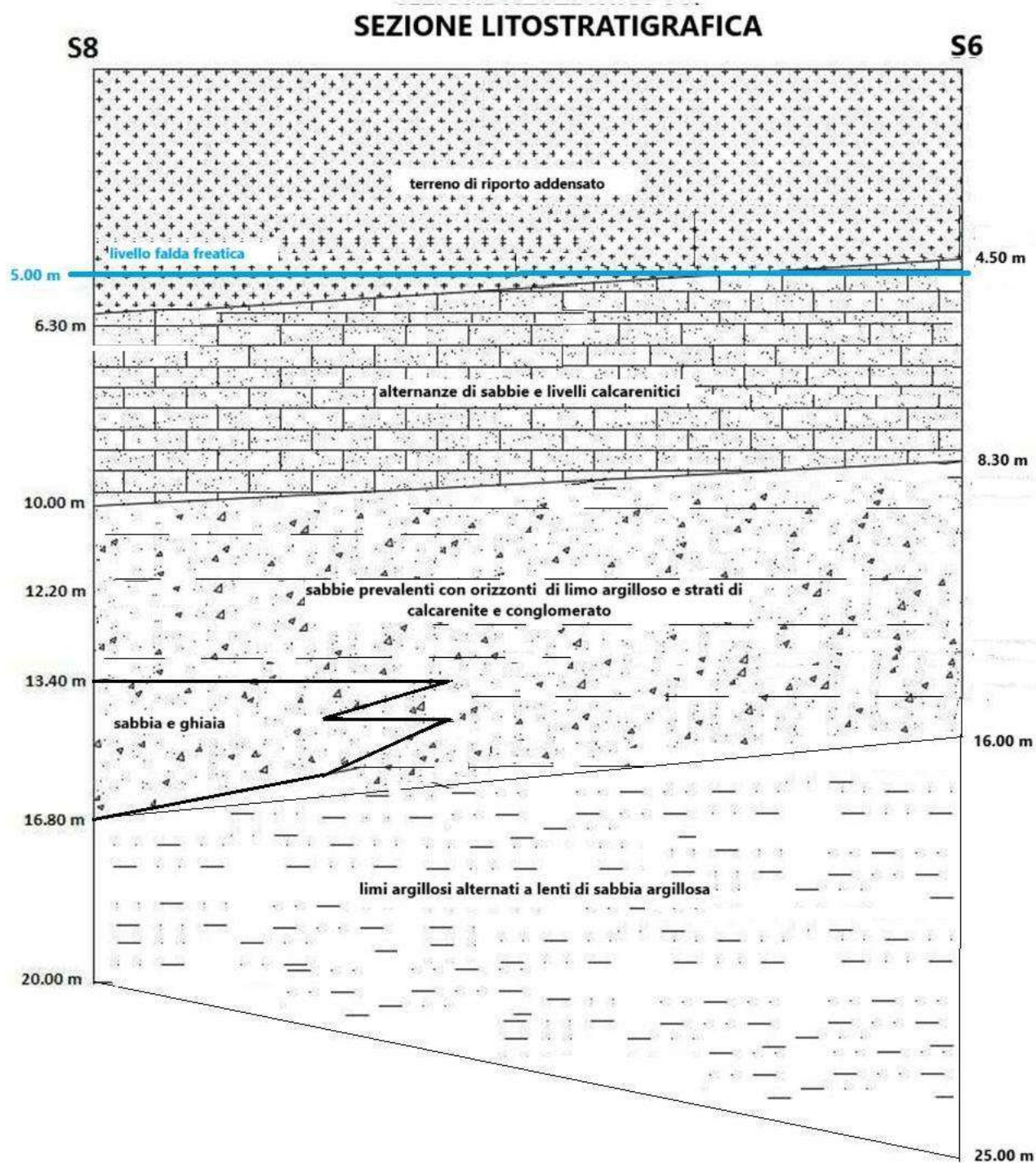


Fig.9- Sezione litostratigrafica S8-S6

## CONSIDERAZIONI SUI CEDIMENTI

Rilevate le buone caratteristiche geotecniche e di portanza del riporto che è stato conferito, nonché il suo notevole spessore e vista la tipologia edilizia delle opere in progetto che indurranno sul terreno interessato dei carichi dei modesti carichi di esercizio, si esclude nel tempo l'insorgenza di cedimenti significativi che possano compromettere la funzionalità dell'opere progettate.

Peraltro nell'area ove sorgerà l'impianto SAPIO era presente un vecchio impianto per la produzione di carbonato di sodio perossidato PCS che è stato completamente demolito, costituito da manufatti in muratura di notevole volumetrie ed altezze > 10 m e pertanto i terreni qui presenti sono già consolidati.

## CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

In aderenza all'area in esame erano state condotte da parte della soc. GEOECHO di Colle di Val d'Elsa ( SI ) N° 2 indagini geofisiche , nel settore più orientale una down-hole in corrispondenza del sondaggio S6 i cui risultati indicano una categoria di sottosuolo di tipo B con un valore delle  $V_{S30} = 362$  m/sec, mentre nella parte più occidentale una linea sismica con metodologia masw con una  $V_s$  equiv. di 382 m/s, per cui possiamo attribuire all'area in studio una categoria B.



Fig.10- Ubicazione delle prove sismiche utilizzate

## CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE

Nella recente cartografia della pericolosità sismica allegata al P.S adottato vedi a tale proposito la Fig.11 il settore di stabilimento interessato dalla nuova costruzione ricade nella classe di pericolosità sismica S3L quindi a pericolosità elevata, pertanto essendo disponibili numerose stratigrafie per la zona in studio e dei dati sismici viene eseguita la verifica alla liquefazione.



Fig.11- Stralcio della carta della pericolosità sismica

Viene eseguita la verifica alla liquefazione con il metodo di Andrus e Stokoe (1997) che sfrutta il valore delle Vs. Il valore dell' $A_{max}/g$  è fornito mediante i coefficienti sismici ricavati tramite il programma Geostru PS Pro, a partire dal valore nominale di  $a_g$  (g) accelerazione orizzontale massima attesa al sito, si è passati ad  $a_g$  (m/s<sup>2</sup>) moltiplicando per 9.81.

Nel caso specifico (SLV)  $a_g = 0,134g \cdot 9,81 = 1,31454 \text{ m/s}^2$  L'accelerazione massima  $A_{max}$  è data da  $a_g \cdot S$  con  $a_g = 1,31454$   $S = 1,20$

$$A_{max} = 1,577448 \quad A_{max}/g = 1,577448 / 9,81 = 0,1608$$

**In questo caso risulta verificato con  $F_s > 1$  m quindi i terreni qui presenti che sormontano il substrato argilloso non sono suscettibili di liquefazione.**



VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE									
(da prove sismiche a rifrazione)									
Metodo semplificato									
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato									
<b>PARAMETRI:</b>									
$\gamma$	=	1,9	g/cm <sup>3</sup>	<div> R= Resistenza al taglio mobilitata  T= Sforzo di taglio indotto dal sisma  FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia  Vs= Velocità dell'onda di taglio S </div>					
$\sigma_{vo}$	=	1,14	kg/cm <sup>2</sup>						
$\sigma'_{vo}$	=	1,04	kg/cm <sup>2</sup>						
profondità della prova	=	600	cm						
profondità falda	=	500	cm						
$\gamma_{H2O}$	=	1	g/cm <sup>3</sup>						
Pressione neutra	=	0,1	kg/cm <sup>2</sup>						
z	=	6	m						
$V_s$	=	362							
$V_{s1c}$	=	220	m/s						
				220	210	200			
$V_{s1}$	=	358,47							
M	=	6,0							
MSF	=	2,09	se $M \leq 7,5$						
		1,77	se $M > 7,5$						
<b>FORMULE:</b>									
$V_{s1}$	=	$V_s (H/\sigma_{vo})^{0,25}$					358,47	$V_{s1}$	
R	=	$0,03 \cdot (V_{s1}/100)^2 \cdot (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		=			0,37490703	R	
T	=	$0,65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) \cdot r_d \cdot 1/MSF$		se $M \leq 7,5$	=		0,054203186	$T_{M \leq 7,5}$	
				se $M > 7,5$	=		0,063958027	$T_{M > 7,5}$	
$a_{max}/g$	=	0,1608							
$r_d$	=	0,988							
$F_s = R/T$	>	1		se $M \leq 7,5$	=		6,916697299	Verificato $F_s$	
				se $M > 7,5$	=		5,861766652	Verificato $F_s$	
"Software Freeware distribuito da geologi.it" Studio Geologico Dott. Sebastiano Giovanni Monaco Via Torrente Trapani n. 13 - MESSINA (ME) - 98121 - E mail: sg.monaco@libero.it - Tel: 3394103820									

Rosignano Solvay, Dicembre 2024

Geol.Massimo Melani

Si allega:

- stratigrafie dei sondaggi precedentemente eseguiti
- elaborato prova sismica down hole
- elaborato prova masw

Committente Solvay Chimica Italia s.p.a  
 Cantiere Rosignano  
 Località Perossidati  
 Data Inizio 22 Dicembre 2014 Data Fine 22 Dicembre 2014

SONDAGGIO FOGLIO  
**3**  
 Il geologo  
 dr. Melani

Stratigrafia	Descrizione	Profondità	Falda	Campioni	N° colpi SPT
xxx	calcestruzzo				
ΔΔΔ	riporto di varia natura addensato	0.70			15
ΔΔΔ					38
ΔΔΔ	riporto con strati decimetrici cementati	3.40			
ΔΔΔ					36
	limo di colore nero con sostanza organica	4.90			
	sabbia grigio biancastra con interposti livelli decimetrici di calcareniti	5.10			
	sabbia gialla con livelli calcarenitici	9.00			
	limo argilloso di color marrone giallastra con clasti di ghiaia al suo interno	9.50			
	ciottoli di ghiaia con diametro dei clasti variabile	10.00			
	sabbia di colore grigio con inclusi lastre di conglomerati ed orizzonti calcarenitici	14.00			
		15.00			

Committente Soc. Chimica Italia s.p.a

Cantiere Rosignano

Località Perossidati

Data Inizio 23 Novembre 2015








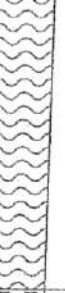

Data Fine 25 Novembre 2015

SONDAGGIO

FOGLIO

**6**

Il geologo  
dr. Melani

Stratigrafia	Descrizione	Profondità	Falda	N° colpi SPT
	terreno di riporto			
	sabbia gialla con livelli di calcarenitici	4.50	5.50	
	lastre di arenaria	6.50		
	limi sabbiosi	8.30		30 35
	sabbia con ghiaia	10.00		
	sabbia con sottili livelli di arenaria di color grigio	11.80		
	limo sabbioso di colore grigio	13.00		
	limi argillosi di colore grigio con resti conchigliari	16.00		
	argilla grigia compatta	25.00		
		32.00		

IL FORO DEL SONDAGGIO S6 E' STATO

ATTREZZATO PER ESEGUIRE LA PROVA DOWN HOLE

*Melani Melani*








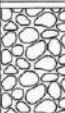

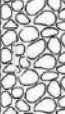




Committente Soc. Solvay  
 Cantiere Stabilimento Solvay  
 Località zona H202  
 Data Inizio Maggio 1961 Data Fine Maggio 1961

SONDAGGIO FOGLIO

N° 40

Il geologo

Stratigrafia	Descrizione	Profondità	Falda
	riporto di pietrisco calcareo ben addensato		4.20 
	alternanze di sabbie e livelli di tufo arenaceo ( panchina di Castiglioncello)	6.30	
	ghiaietto con venute d'acqua	10.25	
	argilla debolmente sabbiosa	10.75	
	sabbia e ghiaia più o meno cementata	13.50	
	argilla sabbiosa	16.50	
	ghiaia mista a sabbia con abbondanti resti conchigliari con acqua	20.00	
	sabbia argillosa	23.50	
	argilla sabbiosa con tracce di torba	26.00	
		40.00	

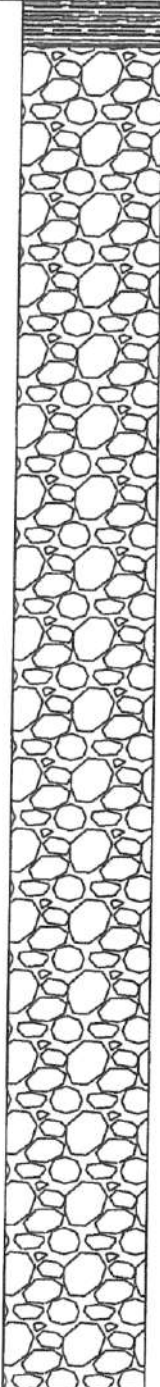
Committente: Solvay Chimica Italia, stabilimento Rosignano Solvay (LI)

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: area rinterri, stabilimento  
Solvay

Data esecuzione : 06/08/2003

Sondaggio: Pz INT 01

Prof.	Piezom.	Strat.	Camp.	Stratigrafia	Commenti
-0.1 m				asfalto	
-1.0 m					
-2.0 m					
-3.0 m				terreno di riporto misto con ciottoli e ghiaie molto compatto	
-4.0 m					
-5.0 m					

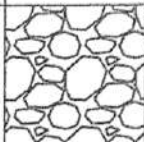
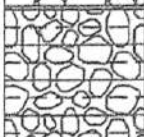
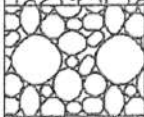
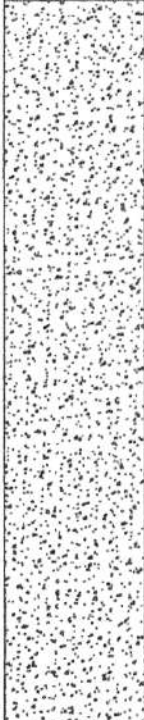
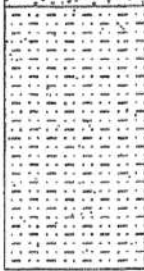
Committente: Solvay Chimica Italia, stabilimento Rosignano Solvay (LI)

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: area rinterri, stabilimento  
Solvay

Data esecuzione : 06/08/2003

Sondaggio: Pz INT 01

Prof.	Piezom.	Strat.	Camp.	Stratigrafia	Commenti
-5.5 m				terreno di riporto misto con ciottoli e ghiaie molto compatto	
-6.0 m				limo bruno con ghiaia e ciottoli	
-6.4 m				ghiaia grossolana con ciottoli	
-7.0 m				sabbia fine grigia chiara	
-8.0 m					
-9.0 m				sabbia limosa ocre passante a limo sabbioso	
-10.0 m					

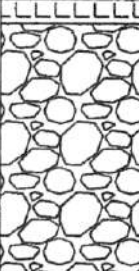

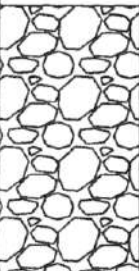

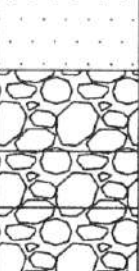
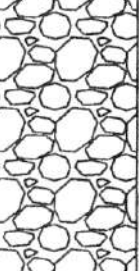

Committente: Solvay Chimica Italia, stabilimento di Rosignano Solvay (LI)

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Solvay (LI)

Data esecuzione : 22/01/2004

Sondaggio: PzINT 5

Prof.	Piezom.	Strat.	Camp.	Stratigrafia	Commenti
-0.05 m		LLLLLLLL		asfalto	
-1.0 m				Terreno di riporto, ghiaia sabbia ciottoli, prima colorazione giallina poi grigia chiara	
-1.2 m				Livello cementato grigio chiaro	
-2.0 m				Terreno di riporto, ciottoli ghiaia e sabbia, colorazione scura	
-2.3 m				Livello cementato grigio scuro, bruno	
-2.6 m				Terreno di riporto, ghiaia e sabbia	
-2.9 m				Livello limoso, ghiaioso, sabbioso bruno	
-3.0 m					
-3.1 m					
-4.0 m				Terreno di riporto, ghiaia sabbia, bruno scuro	
-4.6 m				Livello sabbioso limoso bruno, umido	
-5.0 m					



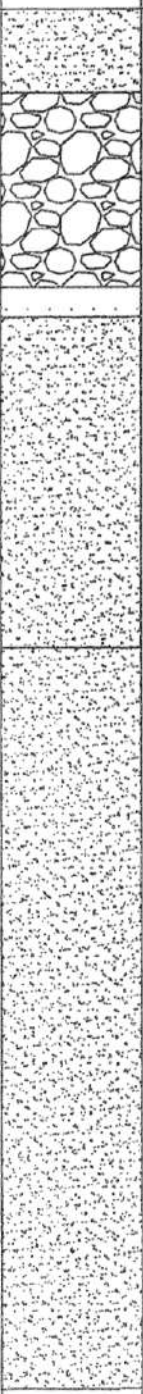
Committente: Solvay Chimica Italia, stabilimento di Rosignano Solvay (LI)

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Solvay (LI)

Data esecuzione : 22/01/2004

Sondaggio: PzInt 5

Prof.	Piezom.	Strat.	Camp.	Stratigrafia	Commenti
-5.3 m				Livello sabbioso limoso bruno, umido	
-6.0 m				Terreno di riporto sabbia, ghiaia, laterizi, sterile	
-6.1 m				Sabbia cementata, ocra	
-7.0 m				Sabbia fine contenente ghiaia, grigio azzurra, asciutta	
-7.3 m					
-8.0 m					
-9.0 m				Sabbia fine con ghiaia marrone chiaro	
-10.0 m					

Stratigrafia	Descrizione	Profondita'	Falda
x x	terreno di riporto addensato		
		5.70	
	limo di color brunatro	5.90	
	arenaria cementata	6.00	
	sabbia fine di color marrone	6.50	
	sabbia con livelli di ghiaia cementata	7.00	
	sabbia grigia con granulometria fine		
		9.00	
	sabbia di color marrone con granulometria fine		
		10.40	
	ghiaia	10.60	
	sabbia fine di color marrone	11.00	
	sabbia di colore grigio		
		13.00	
	sabbia e ciottoli di ghiaia	13.40	
	argilla di colore grigio azzurro con conchiglie		
		14.50	

## **PREMESSA**

In data 03/12/2015 su incarico della Società Chimica Italia S.p.a. e con la D.L. del Dott. Geol. Massimo Melani, è stata eseguita una indagine geofisica di sismica in foro mediante il metodo down-hole, in un'area ubicata all'interno dello stabilimento della Solvay nel Comune di Rosignano Marittimo dove è in progetto la realizzazione di nuovo impianto ITINIRIS (fig. 1).

Il foro utilizzato, è risultato accessibile fino alla profondità di 30 m. dal piano campagna.

Di seguito vengono esposte le basi teoriche della metodologia adottata, i risultati ottenuti e le seguenti informazioni e documenti:

- sismogrammi integrali in onde P ed SH ricavati dalle singole acquisizioni;
- tabelle dei tempi di arrivo misurati e corretti delle onde P e delle onde SH;
- tavola delle dromocrone relative ai tempi di arrivo corretti
- diagramma delle velocità intervallari onde P e onde SH / profondità.
- diagramma del coefficiente di Poisson calcolato dalle velocità riscontrate
- indicazione della categoria di suolo di fondazione
- tabella riepilogativa dati down-hole



**Ubicazione indagine**



## **PRINCIPI TEORICI DELLE TECNICHE ADOTTATE**

### **INDAGINE SISMICA IN FORO – DOWN HOLE**

Le prove sismiche in foro di tipo down-hole vengono realizzate, in fori di sondaggio appositamente attrezzati con tubo in PVC cementato all'esterno, con l'uso di geofoni da foro di tipo tridimensionale ed opportuni sistemi di energizzazione.

La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali per la generazione di onde di compressione (P) ed orizzontali per onde di taglio polarizzate orizzontalmente (SH) mediante una sorgente meccanica, e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da una coppia di geofoni tridimensionali, alloggiati a profondità note nel foro di sondaggio. Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) sono in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (o verticali).

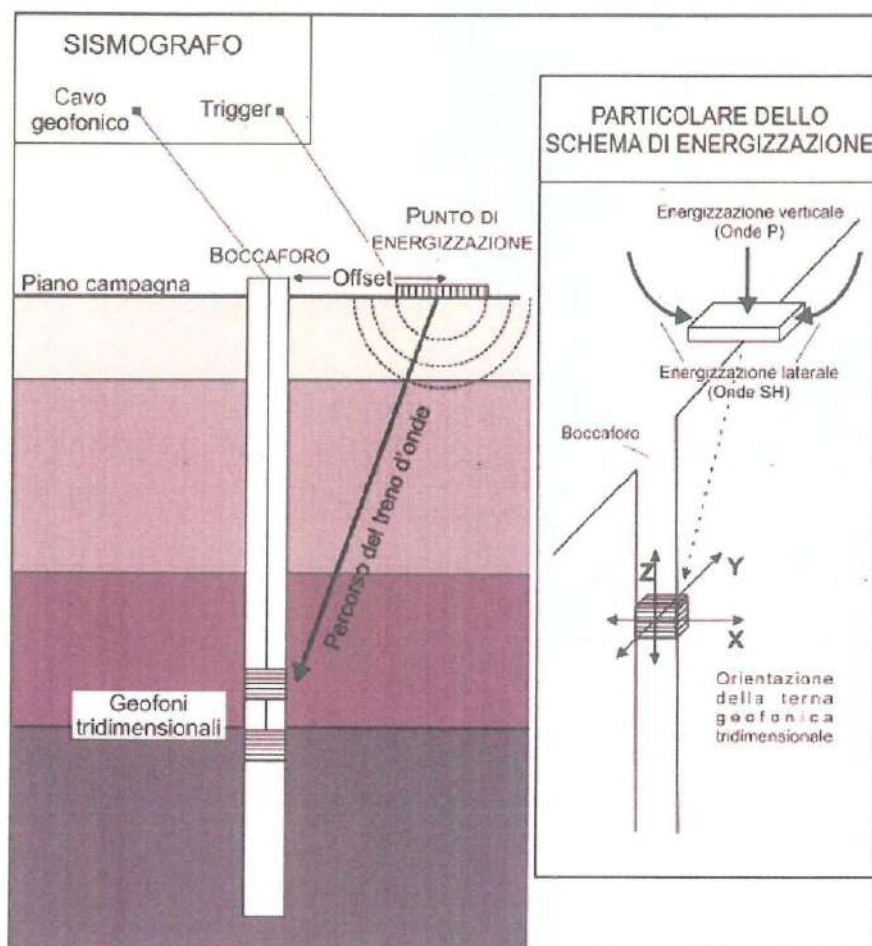
Come sorgente per le onde P è stata utilizzata una mazza del peso di 10 Kg usata per colpire una piastra metallica poggiata sul terreno.

Come sorgente per le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo (trave in legno) di forma tale da poter essere colpito lateralmente con una mazza del peso di circa 10 Kg.

Il parallelepipedo è stato gravato di un carico statico addizionale in modo che potesse rimanere aderente al terreno sia al momento in cui veniva colpito, sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venisse in parte dispersa.



Con questo dispositivo è stato possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.



Schema semplificato indagine down-hole (Istruzioni Tecniche Regione Toscana)

Il sistema di ricezione si compone di due ricevitori tridimensionali, ciascuno dei quali è costituito da tre trasduttori di velocità orientati secondo le componenti di una terna cartesiana ortogonale e collocati all'interno di un unico contenitore.

I ricevitori tridimensionali sono collegati tra loro e posizionati a distanza di un metro l'uno dall'altro con orientamento parallelo tra i vari sensori.

Il sistema previsto per mantenere costante la distanza e per garantire l'isorientazione dei geofoni è dotato di un giunto centrale in gomma che funge da smorzatore, in modo da evitare qualunque interazione sismica tra i due sensori.

Quattro pistoni pneumatici azionati dalla superficie con aria in pressione a 8 bar garantiscono un ottimo accoppiamento in foro tra i ricevitori e le pareti di rivestimento. Per l'orientazione del sistema è stata usata una batteria di aste in p.v.c. calata nel foro insieme al geofono a cui era collegata solidalmente.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la sorgente viene attivata, producendo un impulso che viene inviato ad un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

Il sistema di acquisizione dati è un sismografo marca AMBROGEO, modello ECHO 12/24, sistema multicanale (24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 16 bit.

Esso è collegato a ciascuno dei geofoni tridimensionali in foro ed al sensore del trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le oscillazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

La strumentazione prevede la funzione "inversione di polarità", poiché nella prova è necessario eseguire la differenza tra traccia relativa alla battuta destra e quella alla battuta sinistra.

La prova down-hole si è sviluppa secondo le seguenti fasi:

1. Dopo avere predisposto un opportuno piano d'appoggio la sorgente per onde SH, è stata collocata sulla superficie in prossimità del foro ad una distanza di 4,80 m, orientata perpendicolarmente al raggio uscente dal foro e gravata con un carico statico addizionale (automezzo). Per la produzione di onde P abbiamo energizzato con massa battente ad impatto verticale mentre per la produzione di onde SH la sorgente (parallelepipedo, trave) è stata percossa lateralmente, generando onde di taglio polarizzate orizzontalmente.

2. Il sistema, costituito dai due ricevitori (geofoni tridimensionali) equidistanti e con costante orientamento relativo viene calato alla profondità desiderata collegandolo alla superficie mediante un sistema di aste che ne consente l'orientamento assoluto dalla superficie;



3. Il sistema dei ricevitori viene orientato dalla superficie in modo tale che uno dei trasduttori orizzontali di ciascun ricevitore sia orientato parallelamente all'asse della sorgente e quindi alla direzione di polarizzazione delle onde SH in modo da massimizzarne l'ampiezza di ricezione ai ricevitori; Quindi i ricevitori vengono fissati alle pareti del tubo.

4. Viene attivata la sorgente, producendo una sollecitazione che, innescando il trigger fa partire la registrazione, l'onda generata si propaga dalla sorgente verso i ricevitori con oscillazioni di tipo P; in seguito (con energizzazione separata e distinta) si generano oscillazioni di tipo SH, dirette perpendicolarmente alla direzione di percussione e polarizzate sul piano orizzontale.

5. E' stata ripetuta la prova ad una profondità inferiore, abbassando di 1 m i ricevitori, e riprodotta la sollecitazione.

Ogni misurazione è stata registrata in forma digitale con il sismografo Ambrogeo ECHO 12/24 con campionamento digitale con dinamica a 16 bit ed intervallo di campionamento di 130 microsecondi per una durata di 400 millisecondi.

Di seguito si riporta lo schema operativo ed i collegamenti attivi con il sismografo per le varie acquisizioni.

- Canale n°1: geofono superiore – trasduttore verticale (z)
- Canale n°2: geofono inferiore – trasduttore verticale (z)
- Canale n°3: geofono superiore – trasduttore orizzontale (y)
- Canale n°4: geofono inferiore – trasduttore orizzontale (y)
- Canale n°5: geofono superiore – trasduttore orizzontale (x)
- Canale n°6: geofono inferiore – trasduttore orizzontale (x)
- Canale n°7: geofono spia
- Canale n°8-9-10-11-12: nulli

## Risultati

L'indagine Down Hole, è stata condotta a partire dal piano campagna, fino ad una profondità di 30 m. La prova si è svolta senza particolari problemi, data la bassa rumorosità di fondo e l'abbondanza di energia utilizzata.

I dati misurati sono di buona qualità, e da questi è stato possibile ricavare le velocità intervallari che caratterizzano i primi metri di sottosuolo, nonché la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri che risulta uguale a: **Vs30 = 362 m/s** (quota iniziale = piano campagna attuale) a cui corrisponde, la categoria di **suolo di fondazione di tipo B**

Dai valori delle velocità ottenuti sono stati inoltre calcolati i valori del Coefficiente di Poisson attraverso la seguente espressione:

$$\nu = [1/2 (V_p/V_s)^2 - 1] / [(V_p/V_s)^2 - 1]$$

Per il Modulo di Young e il modulo di deformazione a Taglio essendo questi funzione della densità del materiale, per noi non nota, sono state riportate di seguito le formule per poterli calcolare.

$$\text{Modulo di Taglio (kg/cm}^2\text{)} G = \gamma V_s^2$$

$$\text{Modulo di Young (kg/cm}^2\text{)} E = 2 \gamma V_s^2 (1 + \nu)$$

dove:  $\gamma$ : densità del materiale (kg/dm<sup>3</sup>),  $V_p$ : velocità onde compressionali (m/sec),  $V_s$ : velocità onde di taglio (m/sec)

GeoEcho s.n.c.

Andrea Marini

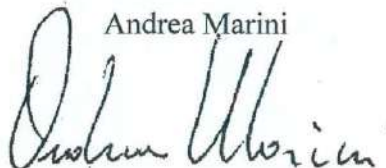
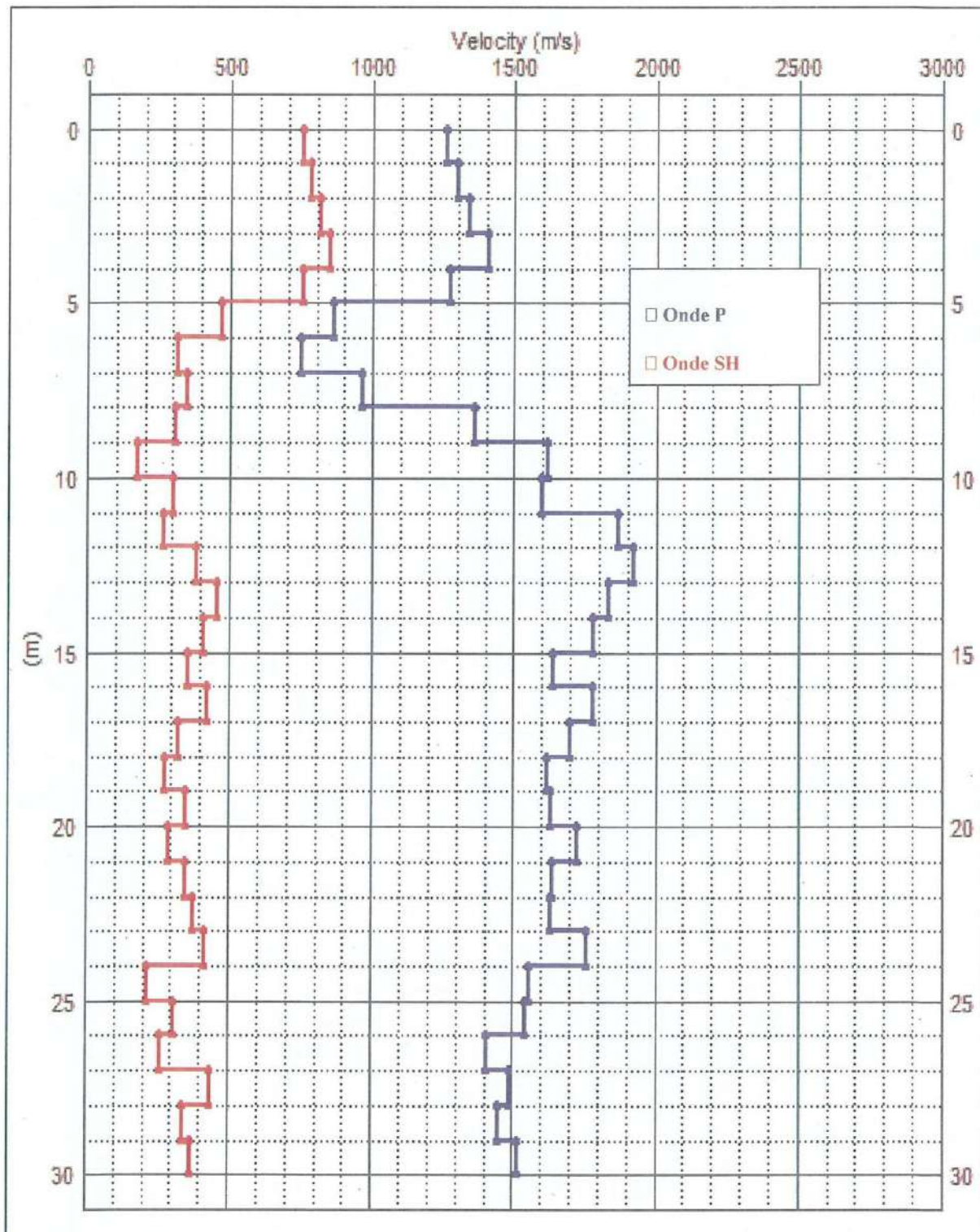




Tabella Tempi di arrivo				
Ubicazione:	Stabilimento Solvay nel Comune di Rosignano Marittimo (LI)			
DOWN-HOLE	indagine eseguita nel foro del sondaggio			
	Dist. Shot-foro m:	4.80	Dist. Shot-foro m:	4.80
	ONDE SH		ONDE P	
m dal p.c.	Tempi obliqui	Tempi verticali	Tempi obliqui	Tempi verticali
	(ms)	(ms.)	(ms)	(ms)
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	6.5	1.3	3.9	0.8
2	6.8	2.6	4.1	1.6
3	7.2	3.8	4.4	2.3
4	7.8	5.0	4.7	3.0
5	8.8	6.3	5.3	3.8
6	10.8	8.4	6.4	5.0
7	14.1	11.6	7.6	6.3
8	16.9	14.5	8.5	7.3
9	20.1	17.7	9.1	8.1
10	25.9	23.4	9.6	8.7
11	29.1	26.7	10.2	9.3
12	32.8	30.4	10.6	9.8
13	35.2	33.1	11.0	10.4
14	37.2	35.2	11.5	10.9
15	39.5	37.6	12.0	11.5
16	42.2	40.5	12.6	12.1
17	44.5	42.8	13.1	12.6
18	47.5	45.9	13.7	13.2
19	51.1	49.6	14.3	13.8
20	53.9	52.4	14.9	14.5
21	57.3	55.9	15.4	15.0
22	60.2	58.8	16.0	15.6
23	62.7	61.4	16.6	16.3
24	65.1	63.8	17.2	16.8
25	69.6	68.4	17.8	17.5
26	72.8	71.6	17.0	16.7
27	76.6	75.4	17.7	17.4
28	78.8	77.7	18.4	18.1
29	81.7	80.6	19.1	18.8
30	84.4	83.3	19.7	19.5

## Velocità intervallari



### CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata, si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale): **Vs30 = 362 m/s** a cui corrisponde, la categoria di **suolo di fondazione di tipo B**.

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	Vs 30 (m/s)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).	



## Relazione Tecnica

### 1 - Premessa

In data 13/09/2016 su incarico del Dott. Geologo Massimo Melani e per conto della Società Solvay S.p.a., è stata eseguita un'indagine geofisica acquisendo un profilo sismico con la metodologia MASW presso il cantiere Itiniris – Lotto n. 8 all'interno dello stabilimento Solvay in Via Piave a Rosignano Solvay (LI) (fig. 1).



FIG. 1: UBICAZIONE DELL'INDAGINE

Scopo dell'indagine era quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni del sito, (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).



## **2 - Metodologia ed esecuzione delle indagini**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW è un "metodo attivo", le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Il metodo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

## **3 - Caratteristiche delle apparecchiature e principi generali dell'indagine**

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali viene eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2,5 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, vengono utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione può essere utilizzato o un grave di circa 100 kg in caduta libera o una mazza del peso di 10 kg. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

La sorgente viene posta ad una distanza di 5 o 10 m. dal primo geofono. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva:

### **Strumentazione e caratteristiche dell'indagine**

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali "con  $f = 4.5$  Hz
- 2 Cavi sismici  $L = 60$  m
- 1 Sorgente Grave da 110 kg
- Spaziatura tra i geofoni 2,5 m
- Distanza sorgente 1° geofono 10 m
- Tempo di registrazione 1.0 s

#### **4 – Elaborazione dati**

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Swan).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi delle onde S con tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P o propagazione in aria. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

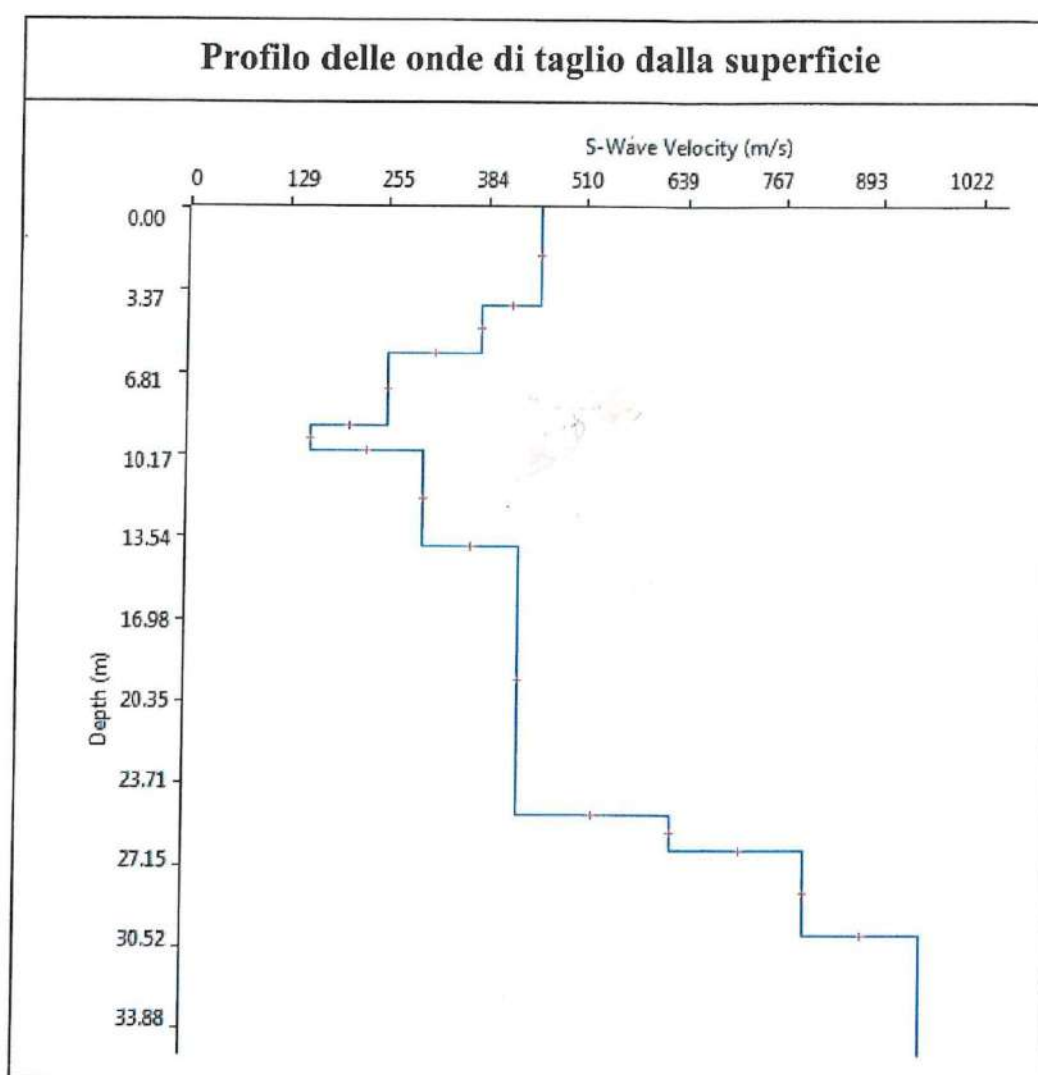
La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente passa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica coincidente con la curva sperimentale.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata:

Spessore	Profondità	Vs	Vp	Poisson	Density
4	0	451	901	0.333	1.8
2	4	375	749	0.333	1.8
3	6	254	508	0.333	1.8
1	9	156	312	0.333	1.8
4	10	300	600	0.333	1.8
11	14	424	847	0.333	1.8
1.5	25	618	1235	0.333	1.8
3.5	26.5	795	1589	0.333	1.8

**Tabella 1: modello sismico monodimensionale.**



## 5. CALCOLO DELLE VS30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota iniziale = piano campagna attuale, si ottiene il seguente valore **Vs30 = 382 m/s** a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** ( si veda la tabella seguente).

Tabella : Categorie di suolo di fondazione(D.M. 14-09-2005; D.M. 14-01-2008)

CAT.	DESCRIZIONE PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs 30 m/sec.	N spt	Cu (Kpa)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.	> 800	-	-
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	<50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
<b>E</b>	E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).			

Il Tecnico:.

**GeoEcho s.n.c.**  
*Andrea Morini*