

Sondaggi geognostici: generalità

In totale, durante la 1^a e la 2^a fase di indagine, sono stati eseguiti oltre 2300 sondaggi a carotaggio continuo, due dei quali esterni al sito industriale.

Questi ultimi sono stati realizzati, rispettivamente, nell'area del cratere di Agnano, nel piazzale antistante l'ingresso dell'ippodromo, e nel quartiere Fuorigrotta, in Via Claudio, nei pressi dell'ingresso della Facoltà di Ingegneria.

Tali sondaggi, spinti sino a 50 m di profondità dal piano di campagna, sono stati effettuati allo scopo di ottenere valori di confronto per la corretta valutazione dei parametri relativi agli inquinanti riscontrati nel sottosuolo della dismessa area industriale.

Nell'area ILVA sono stati eseguiti N° 2297 sondaggi, convenzionalmente definiti "superficiali" in quanto spinti sino all'intercettazione della falda.

Nell'area ETERNIT sono stati eseguiti N° 11 sondaggi "superficiali" e N° 1 "profondo".

Sondaggi geognostici

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti con modalità particolari, rispetto alle consuete procedure applicate in lavorazioni analoghe, in quanto finalizzati, oltre che alla ricostruzione geologica, idrogeologica e geomeccanica dei terreni investigati, specificatamente alla individuazione di eventuali sostanze inquinanti.

Le procedure attuate sono state finalizzate a:

- a) evitare la contaminazione dei vari orizzonti del sottosuolo e/o della falda nel corso delle manovre di perforazione;
- b) evitare il trasferimento di materiali inquinanti da uno strato all'altro;
- c) evitare il trasferimento di materiali inquinanti da una falda all'altra.

Per quanto concerne il prelievo dei campioni "indisturbati", destinati alle prove geotecniche di laboratorio, le procedure seguite sono state quelle della A.G.I. usualmente applicate in lavorazioni analoghe.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi tutto il materiale estratto dal sottosuolo e non utilizzato per i campioni "rimaneggiati" o per quelli "indisturbati", è stato collocato in apposite cassette catalogatrici in legno, sulle quali sono state annotati:

- sigla identificativa del sondaggio;
- intervallo di profondità;
- numero di cassetta.

Report fotografico delle stesse è stato effettuato contestualmente alla loro preparazione.

Sul coperchio delle cassette sono stati fissati cartelli recanti le seguenti informazioni:

- cantiere;
- sigla identificativa del sondaggio;
- intervallo di profondità;
- numero di cassetta;
- data di esecuzione del sondaggio;
- committente;
- tabella di colori standard.

Prove geotecniche di laboratorio

Sui 28 campioni indisturbati prelevati nel corso delle operazioni di carotaggio sono state effettuate le seguenti determinazioni:

- contenuto d'acqua (W_n), peso specifico dei grani (γ_s), peso di volume naturale (γ_n) peso di volume secco (γ_d), grado di saturazione (S), indice dei vuoti (e), porosità (n);
- curva granulometrica;
- angolo di attrito interno e coesione (C) mediante prova di taglio diretto e di compressione triassiale.

Prove di laboratorio: risultati.

Il piano di indagini di laboratorio ha previsto un'ampia tipologia di prove, al fine di determinare le caratteristiche fisico - meccaniche dei litotipi intercettati nel corso dei sondaggi geognostici.

La maggior parte dei terreni, generalmente di natura piroclastica di ambiente sub - aereo e subordinatamente di ambiente marino, sono risultati, dal punto di vista granulometrico, delle sabbie grossolane o con ghiaia, e, nella maggioranza dei casi, con percentuali moderatamente basse di limo ed argilla.

Di conseguenza, mentre su tutti i campioni sono state eseguite le prove per la determinazione delle caratteristiche generali e della curva granulometrica, solo su alcuni di essi è stato possibile eseguire prove di taglio diretto e di compressione triassiale.

La curva granulometrica è stata ottenuta applicando la metodologia prevista dalle raccomandazioni dell'A.G.I. e con l'attrezzatura indicata dalle norme A.S.T.M.

Su alcuni campioni, costituiti da sabbie limose debolmente ghiaiose, sono state eseguite prove *triassiali consolidate isotrope drenate* (CID).

Con tale prova, sono stati determinati i valori di *coesione efficace* (C) gli *angoli di attrito interno efficaci* (ϕ') e i valori degli *stress path* dei singoli provini di ciascun campione.

Sono state eseguite n° 16 prove di taglio secondo le norme ASTM, ciascuna su tre provini di forma quadrata di dimensioni 60 mm x 23 mm.

Prove penetrometriche S.P.T.

Per la determinazione delle proprietà meccaniche dei terreni sono state eseguite N° 28 prove penetrometriche dinamiche pesanti (Standard Penetration Test) nei fori di sondaggio dei carotaggi profondi.

L'esigenza di effettuare prove penetrometriche dinamiche nasce dalla considerazione che, in presenza di litologie prevalentemente incoerenti, i parametri ritenuti maggiormente significativi sono la *densità relativa* e l'*angolo d'attrito interno* dei materiali.

La prova penetrometrica dinamica S.P.T. consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo del foro di sondaggio.

La resistenza è funzione delle caratteristiche geomeccaniche e litologiche del terreno.

Georeferenziazione

La georeferenziazione dei sondaggi è stata eseguita mediante l'utilizzo di capisaldi di appoggio, ubicati in prossimità delle aree interessate, le cui monografie sono state prodotte, dall'Osservatorio Vesuviano.

In fase iniziale le operazioni topografiche sono consistite nel trasferimento in sito della maglia quadrata, di lato 100 m, tracciata su carta per le indagini eseguite in prima fase e della maglia 50x50 e 25x25 nella seconda fase di monitoraggio. Tali operazioni sono state condotte tenuto conto della logistica dei luoghi; infatti, quando inaccessibili, si è previsto lo spostamento dei punti di sondaggio in siti limitrofi, distanti, al massimo, alcune decine di metri dal punto programmato.

La procedura che si è dimostrata più rispondente ed adeguata alla realtà operativa è consistita nella materializzazione e denominazione del sondaggio, mediante opportuni picchetti in ferro cementati, posti in opera al termine dell'esecuzione dei carotaggi.

Successivamente la squadra topografica, individuati i picchetti corrispondenti ai sondaggi eseguiti, ne determinava le coordinate piano - altimetriche.

I possibili errori strumentali commessi sono i seguenti:

coordinate Est e Nord +/- 10 cm.

coordinate Quota +/- 2,5 cm.

PAGINA BIANCA

Allegato 5

Inquadramento idrogeologico

PAGINA BIANCA

All.5

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Lo studio idrogeologico dell'area in esame è stato condotto in più fasi nel periodo Novembre 1998 - Dicembre 1999.

I dati idrogeologici raccolti nel corso di campagne d'installazione di piezometri superficiali e profondi, misurazione dei livelli piezometrici, prelievi ed analisi d'acque di falda, comprendono:

- Livelli piezometrici misurati durante la campagna di sondaggi, distribuiti su una maglia statistica costituita da elementi di dimensioni 100 x 100 m eseguita nell'area ILVA ed ETERNIT dell'ex-sito industriale di Bagnoli nel periodo compreso tra Novembre 1997 ed Aprile 1998;
- Livelli piezometrici misurati periodicamente nei 30 piezometri distribuiti sull'area in esame nel periodo Novembre 1997 - Dicembre 1999;
- Studio delle caratteristiche idrogeologiche della falda mediante esecuzione di tre prove d'emungimento eseguite nel Febbraio 1999 e Dicembre 1999;
- Analisi chimiche sulle acque di falda eseguite nel periodo Feb. 99- Dic. 99.

L'analisi dei livelli di falda e le indagini geochimiche hanno evidenziato quanto segue:

- L'acquifero dell'area ex-ILVA è costituito da livelli a varia litologia e granulometria (e, pertanto, a diverso grado di permeabilità), la cui giacitura, tenuto conto delle condizioni di deposizione e dell'assenza di fenomeni tettonici molto recenti, è necessariamente sub-orizzontale. Tenuto conto della disomogeneità del sottosuolo, oltre che dell'assenza di livelli che possano essere considerati veri e propri impermeabili, nel sottosuolo si ha, puntualmente, la tipica circolazione idrica "per falde sovrapposte". A scala più ampia si può però ritenere che la falda debba essere unica essendo, i vari corpi idrici locali, tra loro interconnessi, sia per drenanza (attraverso i livelli semipermeabili), sia in coincidenza con le soluzioni di continuità che caratterizzano gli stessi litotipi meno permeabili.
- La morfologia della superficie piezometrica permette di suddividere l'area industriale in sottozone che presentano caratteristiche differenti tra loro. La sottozona nord-occidentale è caratterizzata dalla presenza di un asse di drenaggio preferenziale molto evidente, le cui acque trovano recapito lungo un breve tratto di costa prossimo a piazza Bagnoli; la sottozona sud-occidentale è interamente collocata all'interno dello stabilimento e trova recapito in mare, lungo il tratto di costa interessato da via Coroglio; la sottozona sud-orientale è caratterizzata dall'esistenza di direttrici di flusso tutte orientate verso Sud e Sud-Est, cioè verso l'asse di drenaggio preferenziale che si configura alla base del versante nord-occidentale della collina di Posillipo.
- La profondità teorica d'interfaccia è all'incirca di 8.5 metri in area Preparazione Fossili, di circa 55 metri in area Cokeria, di circa 65 m in area Altoforni. La morfologia di tale linea è quella tipica con pendenza all'incirca di 45°, con spessore crescente man mano che ci si allontana dalla costa. Tali dati sono stati confermati dal rilevamento diretto dell'interfaccia in un piezometro profondo.
- I parametri idrogeologici (portata, permeabilità e trasmissività) rilevati mediante tre prove d'emungimento e sei prove Lefranc eseguite in vari punti dello stabilimento sono alquanto variabili. L'area presenta in genere valori di permeabilità abbastanza bassi. Le portate maggiori si rilevano lungo gli assi di drenaggio a Nord e a Sud lungo la fascia detritica sottostante la collina di Posillipo.
- I dati analitici relativi ai composti organici indicano una presenza diffusa di idrocarburi totali (sia all'esterno sia all'interno del sito in esame) ed una contaminazione di tipo *hot spot* relativa agli Idrocarburi Policiclici Aromatici.
- I dati idrogeologici e idrogeochimici a tutt'oggi disponibili indicano che gli elevati contenuti di alcuni metalli pesanti (Arsenico, Ferro e Manganese) rilevati nelle acque di falda dell'ex stabilimento ILVA di Bagnoli hanno provenienza profonda. Non esistono elementi che possano far ritenere possibile l'esistenza di un modello d'alimentazione sostanzialmente diverso da quello ipotizzato.

PAGINA BIANCA

Allegato 6

Acque sotterranee

PAGINA BIANCA

ALL.6

LE ACQUE SOTTERRANEE

Nel corso del 1999 sono state eseguite sette campagne di prelievo di acque di falda sotterranea sia *superficiale* che *profonda* con relative analisi dei parametri fisico-chimici caratterizzanti (pH, eH, Ossigeno disciolto, Temperatura, Conducibilità) e degli elementi e composti potenzialmente inquinanti (metalli pesanti, idrocarburi, IPA, streptococchi, ecc.). Di seguito è riportata una tabella riepilogativa delle attività relative alle indagini idrogeologiche eseguite

PIEZOMETRI		Numero	di cui profondi
	TOTALE	71	18
STAZIONI PER PROVE DI EMUNGIMENTO		Numero pozzi	con piezometri
	TOTALE	3	10
CAMPAGNE PRELIEVO ACQUE		campioni	n. analisi
	TOTALE	221	9463

nel corso del 1998 e 1999.

COMMENTO AI DATI CHIMICI**PARAMETRI FISICO-CHIMICI**

Il pH risulta estremamente variabile, con punte massime di acidità (pH=9.7 in area preparazione fossili) nelle aree a valle in corrispondenza della colmata a mare e valori basici lungo la zona settentrionale (sub-aera Direzione-Agglomerato).

La Temperatura varia tra valori minimi di 14.8°C nelle aree a monte a valori massimi di 24.3°C nelle aree a valle in corrispondenza della linea di costa (attuale e antica).

La conducibilità mediamente è rilevata intorno a 1 mS/cm ad eccezione dell'area di colmata dove raggiunge valori massimi di 16.6 per effetto dell'ingressione di acqua marina salata.

I valori positivi del potenziale di ossido-riduzione non considerando situazioni locali, si hanno nella parte ad est ed a Nord dell'insediamento industriale. In queste condizioni fisico-chimiche si manifesta la possibilità per la messa in soluzione nelle acque di metalli quali Ferro e Manganese. Valori negativi di potenziale si rilevano nell'area di colmata Sud con un valore massimo di -167.5 in area Preparazione Fossili.

Per quanto riguarda l'Ossigeno disciolto si osserva come via via sull'intera area dell'insediamento industriale vi sia carenza di ossigeno disciolto in quanto le acque presentano valori al di sotto di 1 mg/l e, in molti punti, esso è praticamente assente. Solo verso l'estremità Nord-Occidentale si hanno valori relativamente elevati che raggiungono i 3 mg/l.

La conoscenza della distribuzione dell'Ossigeno disciolto nelle acque sotterranee risulta molto importante per la verifica delle condizioni di applicazione della biodegradazione di composti organici nel sottosuolo in ambiente aerobico.

DISTRIBUZIONE DI ORGANICI (IDROCARBURI TOTALI ED IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI)

La distribuzione di idrocarburi totali risulta sempre superiore, sia nei piezometri siti all'interno del sito in esame che nei piezometri ubicati ai margini dello stesso, al limite di 10 µg/l previsto dalla normativa vigente. Si rilevano valori elevati di idrocarburi, inoltre anche nei piezometri *esterni*, il che indica una presenza diffusa di tali composti in tutta la falda dell'area urbana napoletana.

Più complessa è la distribuzione di Idrocarburi Policiclici Aromatici all'interno dell'area industriale; La presenza di tali composti nelle acque superficiali risulta discontinua nel tempo e generalmente non raggiunge valori elevati ad eccezione di alcune aree denominate *hot spot* e localizzate in corrispondenza dei piezometri posti al margine del sito industriale, lungo Via Diocleziano (Fuorigrotta), ed, al suo interno, nelle aree ex Laminatoi ed ex Parco Fossili.

DISTRIBUZIONE DI ALCUNI METALLI (AS, FE, MN)

Le acque analizzate nel corso del 1999 sono caratterizzate dalla presenza, per quanto riguarda i metalli pesanti) di Arsenico, Ferro e Manganese in quantità superiori ai limiti di riferimento. In base ai dati a tutt'oggi disponibili si evince che:

- l'elevato contenuto di Manganese non deriva dalla lisciviazione della porzione superficiale dell'acquifero da parte delle acque di infiltrazione efficace, perché:
 - le acque hanno percorsi troppo brevi per potersene arricchire fino a raggiungere punte di quasi 22.500 µg/l;
 - non esiste alcuna correlazione tra idrodinamica sotterranea relativamente superficiale e contenuto di Manganese nelle acque; infatti, il normale meccanismo di lisciviazione della parte superficiale dell'acquifero non è compatibile con l'assenza pressoché generalizzata di incremento della mineralizzazione secondo le direttrici di flusso, la presenza di punti d'acqua con picchi di concentrazione anomali rispetto al naturale deflusso della falda e la presenza delle concentrazioni più elevate nelle fasce di drenaggio preferenziali;
 - non si intravede alcuna correlazione tra precipitazioni e variazioni delle concentrazioni di Manganese nel tempo.
- l'elevato contenuto di Manganese, non deriva da fonti di inquinamento antropico, siano esse puntuali o diffuse, perché:
 - in superficie, nelle zone di potenziale inquinamento, sono state rinvenute concentrazioni sempre inferiori a 50 µg/l (cfr. studio CSM, datato maggio 1999)
 - partendo da queste zone, non si intravedono piume ad inquinamento decrescente da "monte" verso "valle", allungate secondo il verso di deflusso delle acque;
 - non si intravede alcuna correlazione tra precipitazioni e variazioni delle concentrazioni di Manganese nel tempo;
- l'elevato contenuto di Manganese deriva dalla risalita dei fluidi profondi che rappresentano una caratteristica dell'intera area flegrea, perché:
 - i punti di prelievo caratterizzati dalla presenza di acque molto ricche di Manganese sono ubicati lungo quattro direttrici a cui sembrano corrispondere faglie o fratture che interessano il substrato tufaceo; lungo gli stessi allineamenti si rinvencono anche sorgenti termali ed antichi crateri,

- gli stessi punti a concentrazione "anomala" di Manganese si trovano laddove, a dette direttrici, si sovrappongono zone in cui la coltre di copertura dell'anzidetto substrato, essendo relativamente più permeabile dei depositi al contorno, facilita la risalita dei fluidi mineralizzanti;
 - le variazioni delle concentrazioni di Manganese nel tempo seguono leggi non correlabili con le precipitazioni, e, pertanto, necessariamente non legate a fenomeni di superficie;
 - laddove i punti di prelievo sono sufficientemente fitti, si assiste a fenomeni di diluizione dei contenuti di Manganese, con partenza dai punti di prevedibile risalita e seguendo il verso di deflusso delle acque;
 - anche la conducibilità elettrica è correlata con il contenuto di Manganese, a riprova di una mineralizzazione proveniente prevalentemente dal basso.
- Quanto sopra esposto è valido sia per il Ferro, sia per l'Arsenico, essendo stati trovati chiari elementi di correlazione con il comportamento del Manganese.