

ALLEGATO C

**INDAGINI GEOTECNICHE-IDROGEOLOGICHE E
QUALITATIVE SULLE ACQUE DI FALDA PER LA
REDAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO DI
“MESSA IN SICUREZZA E BONIFICA DELLE
ACQUE DI FALDA”**

**SITO D’INTERESSE NAZIONALE
“NAPOLI ORIENTALE”**

CAPITOLATO TECNICO

Indice

1 Finalità dell'affidamento	2
2 Oggetto dell'affidamento	2
2.1 Accesso alle aree per lo svolgimento delle attività	4
2.2 Operazioni preliminari.....	4
3 Piano d'investigazione.....	5
3.1 Linea costiera	5
3.2 Aree TAF	5
4 Specifiche tecniche per i sondaggi	6
4.1 Modalità di campionamento e conservazione dei campioni di suolo	7
4.2 Prove penetrometriche dinamiche (SPT).....	8
4.3 Programma di perforazione	9
4.4 Specifiche per le analisi geotecniche di laboratorio	10
5 Prove di permeabilità in foro.....	11
5.1 Prova Lugeon	11
5.2 Prova Lefranc	12
5.3 Slug test.....	15
5.3.1 Direttive esecutive	15
5.3.2 Apparecchiature di uno slug test	16
5.3.3 Inizio di uno slug test	16
5.3.4 Recupero del carico	17
5.3.5 Riepilogo	17
5.3.6 Pre-analisi e conversione dei dati	17
6 Adeguamento piezometri esistenti.....	18
6.1 Tubi e filtri.....	18
6.2 Manto drenante	19
7 Modalità di campionamento e conservazione dei campioni d'acqua.....	19
8 Analisi chimiche di laboratorio	20
8.1 Analisi sui campioni d'acqua di falda	20
8.2 Campioni di Controllo	20
9 Ulteriori rilievi e analisi di campo	21
10 Elaborati da produrre.....	21
11 Prove di trattamento in scala pilota per il dimensionamento della PRB.....	21
11.1 Fase 1: Sperimentazione in colonna per trattamento alifatici clorurati con ZVI	22
11.2 Fase 2: sperimentazione in colonna per trattamento altri composti con zeoliti.....	23
11.3 Fase 3: sperimentazione in colonna per trattamento su miscele zeoliti/ZVI	24
12 Piano sostitutivo di sicurezza	24
13 Importo delle prestazioni.....	25

1 Finalità dell'affidamento

Finalità dell'affidamento è la realizzazione delle indagini geotecniche, idrogeologiche e di caratterizzazione della qualità delle acque di falda per la progettazione definitiva di “*Messa in Sicurezza e bonifica delle acque di falda nel SIN di Napoli Orientale*” (di seguito abbreviato in SIN), individuato dall'art. 1, comma 4 della Legge n.426/98 e perimetrato con Ordinanza Commissariale del 29 Dicembre 1999, emanata dal Sindaco di Napoli in qualità di Commissario Delegato, esteso per circa 830 ettari e comprendente le aree dei quartieri orientali della città di Napoli (circoscrizioni di Barra, Ponticelli, Poggioreale – Zona industriale di San Giovanni a Teduccio).

L'area oggetto delle indagini si contraddistingue in una fascia lungo il litorale costiero, dove è prevista la realizzazione di un barrieramento fisico, ed in un'area in cui è prevista la costruzione di un impianto di trattamento. La prima si estende su un tracciato che si sviluppa in parte lungo l'attuale sistema viario che va da Via C.so Arnaldo Lucci, in prossimità di P.zza Garibaldi, fino alla località di San Giovanni a Teduccio, attraversando Viale Alessandro Volta, Via Reggia di Portici, Via Ponte dei Granili, Via Marina dei Gigli, Stradone Viglienza, Via detta Innominata e strada dei Boccaperti, e in parte all'interno dell'area di proprietà dell'Autorità Portuale e della Tirreno Power. La superficie destinata al TAF è stata, invece, individuata nell'area “Tecno Pref s.r.l. – Napoli Granili Terminal Intermodale” di proprietà RFI, ubicata al confine tra Via Reggia di portici e Via Ponte dei Granili.

2 Oggetto dell'affidamento

Il servizio oggetto dell'affidamento riguarda la realizzazione delle indagini geotecniche, idrogeologiche, di caratterizzazione della qualità delle acque di falda, nonché l'esecuzione di prove di sperimentazione in scala di laboratorio per la determinazione delle cinetiche di reazione per il dimensionamento di una Barriera Permeabile Reattiva.

Le suddette indagini risultano propedeutiche alla progettazione definitiva di “Messa in Sicurezza e bonifica delle acque di falda nel SIN di Napoli Orientale” e sono da eseguirsi sia lungo il limite costiero dello stesso SIN, dove è prevista la realizzazione di un sistema di confinamento costituito in parte da una barriera di tipo fisico ed in parte da una barriera permeabile reattiva, sia nell'area di localizzazione dell'impianto di trattamento delle acque di falda (TAF).

Tutte le attività dovranno essere svolte secondo le modalità dettagliate di seguito.

Il servizio oggetto dell'affidamento è costituito, genericamente, dalle seguenti attività:

- esecuzione di sondaggi geognostici e ambientali;
- eventuale ripristino di piezometri esistenti;
- esecuzione di indagini e prove in situ;
- campionamento delle acque di falda;
- conservazione, trasporto e analisi geotecniche, geognostiche e chimiche di laboratorio di una parte dei campioni sopra descritti;
- prove in scala pilota per la determinazione di parametri idrogeologici e delle cinetiche di reazione per il dimensionamento della PRB.

Si riporta, di seguito, la sintesi delle indagini da eseguire:

Sorgenti di contaminazione	Tipo di indagine	Linea costiera	Area TAF
Suolo e sottosuolo	n. carotaggi a 30 m. dal p.c.	9	2
	<i>per n. campioni indisturbati</i>	54	12
	n. carotaggi a 40 m. dal p.c.	3	1
	<i>per n. campioni indisturbati</i>	24	8
	Prove penetrometriche dinamiche SPT	30	18
	Prove Lugeon	6	3
	Prove Lefranc	6	
	Misurre RQD	78	20
	Prove di laboratorio sui campioni indisturbati di terreno: • Apertura e descrizione del campione indisturbato; • Determinazione delle caratteristiche fisiche generali; • Determinazione del peso specifico dei grani; • Determinazione del peso di volume; • Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione; • Determinazione dei limiti di Attenberg.	78	20
	Prove di compressione triassiale	39	10
	Prove di compressione edometrica	39	10
	Slug test	30	
	Prove di permeabilità a carico costante	78	
	Prove in batch	5	
	Acque	Rilievo falda acquifera	15
n. campioni acque		30	
n. piezometri da ripristinare		5	
Analisi chimiche di laboratorio (totale)		120	
<i>per n. campioni prelevati</i>		15	
Prove in colonna		5	

Tabella 1 - Indagini ambientali e geognostiche

Le attività saranno condotte nel rispetto delle “Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche” emanate dall’Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.). Tali norme si danno per accettate da parte dell’Affidatario che dichiarerà con la sottoscrizione del contratto, di conoscerle perfettamente.

Prima dell’avvio delle indagini, saranno condotte tutte le attività necessarie affinché l’esecuzione delle stesse avvenga in condizioni di sicurezza per i lavoratori impegnati. In particolare, dovranno essere condotti interventi volti alla verifica della stabilità dei terreni attraverso un rilievo geomorfologico di superficie, determinazione dei parametri geotecnici (angolo di attrito dei terreni, ecc), recinzione delle aree a rischio d’instabilità per impedirne l’accesso ai lavoratori.

L’impresa deve assicurare, a proprie spese, durante tutte le fasi di perforazione (installazione cantiere, perforazione, cementazione, ecc.) l’assistenza di un geologo per tutta la durata delle indagini.

Per una migliore gestione e un corretto svolgimento delle attività, entro sette (7) giorni dalla data di stipula del contratto il soggetto aggiudicatario dovrà presentare per

approvazione da parte della Sogesid S.p.A., un “Programma dettagliato delle Attività” con indicazione settimanale delle attività che si intendono effettuare.

Il “Programma delle Attività” dovrà indicare, per ognuna delle settimane interessate:

- le attività che saranno svolte;
- le aree interessate;
- il gruppo di lavoro, il tipo di personale, i mezzi e le attrezzature impiegati.

La Sogesid S.p.A. si riserva il diritto di apportare al Programma tutte le modifiche utili o necessarie per la corretta esecuzione del servizio e il coordinamento di tutti i soggetti interessati, senza che ciò possa costituire titolo per il riconoscimento di maggiori oneri.

Al termine dovrà essere redatta una Relazione Descrittiva e degli elaborati grafici, così come specificato nel successivo paragrafo 10.

Tutti i dati dovranno essere forniti sia in versione cartacea che digitale in formato editabile, nel numero di un originale e n. 2 copie.

Tutte le attività analitiche dovranno essere gestite nel rispetto dei protocolli che assicurano la qualità del dato e tutte le attività previste dovranno essere condotte secondo le procedure di qualità definite dalle norme ISO 9001/2000.

Tutte le attività dovranno altresì essere svolte nel rispetto della vigente normativa in materia di sicurezza (D. Lgs. 9 aprile 2008, n. 81); l’Affidatario dovrà pertanto approntare tutte le misure (igienico-sanitarie, di protezione collettiva e individuale, di emergenza, ecc.) necessarie a svolgere in completa sicurezza le varie tipologie di attività, sia per il proprio personale incaricato sia per il personale esterno (personale Sogesid, o altro Ente interessato) che potrà essere presente durante l’esecuzione del servizio.

2.1 Accesso alle aree per lo svolgimento delle attività

Le autorizzazioni relative all’accesso alle aree oggetto di indagine dovranno essere richieste a cura dell’impresa, cui spetta anche il pagamento di eventuali oneri.

2.2 Operazioni preliminari

Considerata la particolarità del territorio su cui dovranno essere effettuate le indagini e vista la forte urbanizzazione che lo caratterizza, si ritiene opportuno, prima dell’esecuzione di qualunque sondaggio, effettuare alcune operazioni preliminari.

La prima verifica consiste nell’accertamento, mediante apposita indagine, della eventuale presenza nel sottosuolo di ordigni bellici inesplosi. Pertanto, sui luoghi oggetto delle perforazioni, verranno effettuate ricerche superficiali e profonde di ordigni esplosivi e in caso di eventuale presenza se ne darà tempestiva comunicazione alle autorità competenti.

Successivamente si procederà ad investigare sulla presenza e sulla relativa dimensione dei sottoservizi nel sottosuolo. Pertanto, in corrispondenza dei luoghi in cui dovranno essere eseguite le perforazioni, verranno effettuate indagini georadar lungo percorsi longitudinali, per una lunghezza di circa 2 metri per ogni foro da realizzarsi. Tale indagine consentirà di evitare danni alle infrastrutture presenti nel sottosuolo durante le operazioni di perforazione.

Nel caso, da suddetta indagine, venga accertata la presenza di sottoservizi in corrispondenza delle aree in cui effettuare i sondaggi, si procederà a realizzare un prescavo,

fino alla profondità massima di m 1,5 dal p.c., per l'individuazione e l'esatto rilevamento dei sottoservizi interferenti.

3 Piano d'investigazione

I punti di campionamento sono stati individuati allo scopo di incrementare il livello geotecnico informativo già utilizzato nella redazione dello studio di fattibilità e tenendo conto delle problematiche riscontrate nel progetto preeliminarmente sia lungo la linea costiera per la realizzazione della barriera, sia nella area di ubicazione dell'impianto di trattamento delle acque di falda.

La Sogesid si riserva, comunque, la facoltà in corso d'opera di apportare variazioni al piano di investigazione senza che l'impresa possa eccepire alcuna pretesa.

3.1 Linea costiera

L'affidamento in esame prevede, lungo il perimetro di costa del SIN, l'esecuzione delle seguenti indagini:

In campo

- n. 9 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino ad una profondità di circa 30 m dal p.c. e n. 3 sondaggi (S5, S6, S7) fino ad una profondità di circa 40 m dal p.c. e comunque tale da garantire un immersione minimo di 2÷3 m all'interno della formazione tufacea;
- n. 15 prelievi per analisi e monitoraggio delle acque di falda attraverso piezometri esistenti;
- eventuale ripristino di piezometri;
- n. 30 prove penetrometriche dinamiche SPT ;
- n. 6 prove Lugeon;
- n. 6 prove Lefranc;
- n. 78 misure dell'indice RQD (Rock Quality Designation Index) in corrispondenza dei livelli tufacei;

In laboratorio

- n.78 prove di permeabilità a carico costante;
- n.39 prove di compressione triassiale;
- n.39 prove di compressione edometrica.

3.2 Aree TAF

L'affidamento in esame prevede, nell'area di ubicazione dell'impianto di trattamento, l'esecuzione delle seguenti indagini:

In campo

- **n.2** sondaggi a carotaggio continuo spinti fino ad una profondità di circa 30 m dal p.c.e **n.1** ad una profondità di circa 40 m dal p.c.;
- n. 18 prove penetrometriche dinamiche SPT ;
- n. 3 prove Lugeon / Lefranc;

- n. 20 misure dell'indice RQD (Rock Quality Designation Index) in corrispondenza dei livelli tufacei;
- n.1 prova “downhole” per la determinazione del Vs30 in corrispondenza del sondaggio più profondo (40m).

In laboratorio

- n.10 prove di compressione triassiale;
- n.10 prove di compressione edometrica.

All'interno di tutti i fori di sondaggio geognostico, nonché nei piezometri esistenti scelti per il prelievo e l'analisi delle acque di falda, è prevista, inoltre, l'esecuzione di n. 30 *Slug Test* secondo le metodologie indicate al paragrafo 5.3.

4 Specifiche tecniche per i sondaggi

I sondaggi sono ubicati secondo quanto riportato nella cartografia di progetto allegata (cfr. *Tav. E.1*). Ciascuna posizione sarà verificata in sito tenendo presente l'accessibilità e il rispetto delle condizioni di sicurezza dei lavoratori.

I sondaggi saranno preferibilmente realizzati con una sonda meccanica a rotazione, senza l'uso di fluidi di perforazione, a carotaggio continuo del diametro di *127 mm* e rivestimento a seguire del diametro di *152 mm*.

Il campionamento del terreno sarà effettuato avendo cura di procedere con basse velocità di rotazione del campionatore per evitare fenomeni di surriscaldamento del terreno.

La scelta della tipologia di carotiere sarà condizionata dalla tipologia dei litotipi presenti.

In linea generale si richiede una sonda semovente cingolata o autocarrata in grado fornire spinta massima, tiro, coppia massima e di essere attrezzata con aste di perforazione e rivestimenti sufficienti a raggiungere agevolmente la profondità massima prevista di *40 m*. In fase di piazzamento della macchina operatrice dovrà essere curata al massimo la verticalità del foro mediante controlli con livelletta idrica sulla colonna di perforazione.

I diametri saranno scelti sulla base delle caratteristiche fisico-meccaniche dai litotipi presenti, delle prove da eseguire e della strumentazione da installare. In particolare il diametro minimo a fondo foro dovrà essere sufficiente a prelevare campioni indisturbati del diametro non inferiore a *80 mm*, e comunque ad attrezzare il foro con tubo in ABS, PVC pesante di diametro interno di *80 mm*.

Laddove le condizioni e le caratteristiche dei terreni non garantiscano una perfetta prosecuzione della perforazione si potrà richiedere, previo esplicita autorizzazione della Sogesid S.p.A., l'impiego di doppi rivestimenti metallici provvisori, uno interno con diametro pari a *127 mm* e uno esterno con diametro pari a *151 mm*. L'impresa avrà cura di asportare, attraverso adeguate manovre di pulizia a fondo foro, tutto il materiale presente nell'intercapedine tra i due rivestimenti.

La profondità che dovrà essere raggiunta verrà indicata dal geologo, responsabile tecnico, o dalla Sogesid S.p.A prima dell'inizio del foro ed eventualmente durante la perforazione in relazione alla natura dei terreni incontrati. La Sogesid S.p.A. potrà modificare in corso d'opera il programma preliminare di indagine in relazione al prelievo di

campioni e anche alla profondità di indagine nel rispetto degli obiettivi fissati dal programma.

Di norma, le percentuali di recupero, valutate per ogni singola manovra, non dovrebbero essere inferiori a:

- 70% per i terreni a grana grossa (sabbia, ghiaia, ecc.);
- 80% per i terreni a grana fine (argilla, argilla marmose, ecc.) e rocce fratturate;
- 90% per rocce compatte in genere (calcari, calcari marnosi, conglomerati, gessi, anitriti, rocce ignee, rocce metamorfiche, ecc).

L'attribuzione dei terreni incontrati alle classi sopra riportate è fatta dal geologo incaricato per l'assistenza di cantiere; qualora il recupero risulti inferiore alle percentuali sopra riportate, a giudizio insindacabile della Sogesid S.p.A. potrà essere richiesta una ripetizione dei sondaggi senza alcun aggravio di spesa a carico della Sogesid S.p.A. stessa. In ogni caso il tratto corrispondente alla percentuale di recupero non sarà computato nella contabilità finale.

Tutta l'attrezzatura di perforazione sarà sottoposta a procedura di decontaminazione, prima dell'inizio delle indagini, tra un sondaggio e l'altro e prima di lasciare il sito.

Le carote, riposte in apposite cassette catalogatrici sigillate, saranno conservate e rimarranno a disposizione per eventuali futuri rilievi.

Tutte le operazioni di perforazione saranno coordinate dal geologo, responsabile tecnico, che redigerà la stratigrafia intercettata segnalando la presenza di livelli contaminati.

4.1 Modalità di campionamento e conservazione dei campioni di suolo

Per ciascun sondaggio saranno prelevati campioni di terreno da destinarsi ad analisi di laboratorio al fine di determinare le caratteristiche fisiche.

In particolare si prevede:

- Il prelievo di campioni indisturbati, prelevati impiegando uno dei seguenti campionatori:
 - o campionatori a pareti sottili infissi a pressione (*tipo Shelby* del diametro minimo di 80 mm);
 - o campionatori a pistone idraulici o meccanici (*tipo Osterbeg*);
 - o campionatori rotativi a doppia o a tripla parete con scarpa avanzata (*tipo Denison o tipo Mazier modificato*).

Per il campionatore semplice *tipo Shelby*, la scarpa del tubo campionatore deve avere un tagliente con angolo non superiore a 6°. L'impresa dovrà produrre un'attestazione relativa all'uso di campionatori con i requisiti richiesti. La Sogesid S.p.A., in via preliminare durante la fase dei lavori deve fornire una valutazione di massima, anche tramite acquisizione di informazioni dall'Affidatario, sulla presenza del tubo campionatore con i requisiti richiesti. Inoltre, i campionatori a pareti sottili, con o senza pistone, dovranno avere un coefficiente di ingresso molto piccolo e certamente minore di 0,5 %.

Si prevede il prelievo di un campione indisturbato ogni cinque metri di perforazione da sottoporre ad analisi di laboratorio.

E' prevista un'accurata pulizia del foro di sondaggio con metodi adeguati (carotiere semplice e manovra finale a secco, utensile di spurgo a getto radiale e soprastante calice di

raccolta del detrito). Nel caso di campionatori tipo *Denison* il campione sarà alloggiato in un tubo in ABS o PVC interno al tubo non rotante e opportunamente paraffinato dopo il recupero. L'entità della sporgenza del tubo interno va concordata con la Sogesid S.p.A. Nel caso di campionatore *Mazier* modificato il campione sarà alloggiato in un tubo di acciaio inossidabile, cadmiato o comunque trattato. Anche in questo caso si procederà alla paraffinatura. Inoltre la carota di terreno prelevato non dovrà avere un diametro inferiore a 80 mm.

In ogni caso le ditte forniranno le caratteristiche del tubo campionatore in dotazione e quanto non espressamente indicato andrà concordato con la Sogesid S.p.A. I tubi campionatori utilizzati dovranno essere nuovi e costituiti in acciaio inox e dotati di tagliente affilato.

L'introduzione del campionatore nel foro di sondaggio deve essere controllata con misure di profondità in modo che, posato il campionatore a fondo foro, si possa verificare la corrispondenza con la profondità precedentemente raggiunta dalla perforazione. I campioni indisturbati dovranno avere dimensioni non inferiori a 80 mm di diametro e 500 mm di lunghezza. Eventuali discordanze tra le due profondità richiederanno un'ulteriore pulizia del foro e vanno comunque sempre annotate nel modulo di sondaggio.

Il terreno sarà estratto dal carotiere per battitura o tramite l'utilizzo di un pistone che spingerà la carota dalla parte superiore del carotiere stesso.

Il campione deve essere conservato nello stesso tubo utilizzato per il prelievo e dovrà essere sigillato mediante tappi a tenuta, previo incollaggio di paraffina fusa alle estremità.

Si procederà quindi all'apposizione sul contenitore di un'etichetta (non degradabile per l'umidità) in cui sono indicati:

- designazione del cantiere - Committente - Esecutore;
- designazione del sondaggio,
- tipo di campione e numero d'ordine;
- profondità di prelievo (da/a);
- orientamento (alto/basso);
- data di prelievo;
- tipo di campionatore;
- metodo d'affissione del campionatore;
- condizioni di prelievo (presenza d'acqua, energia d'infissione, ecc.).

I campioni devono essere conservati a cura dell'impresa esecutrice in locali idonei, in posizione orizzontale evitando scuotimenti e urti e particolarmente protetti dai raggi del sole, dal gelo e da fonti di calore fino al momento della consegna in laboratorio.

Al termine dell'esecuzione della perforazione e del campionamento, a meno che i sondaggi non debbano essere rivestiti per l'installazione di piezometri, i fori dei sondaggi saranno sigillati utilizzando terreno pulito proveniente da cava.

4.2 Prove penetrometriche dinamiche (SPT)

Sarà cura della Sogesid indicare in campo l'esatta ubicazione delle prove.

Lungo la linea di costa dove verrà realizzata la barriera fisica, la prova S.P.T sarà effettuata 3 volte nei primi 10m, mentre nell'area di ubicazione del TAF si realizzeranno n.3 SPT nei primi 10 metri e n.2 SPT tra 20 e 30 metri.

Nel dettaglio, sul provvisorio fondo foro opportunamente pulito, dovrà essere infisso a percussione un campionatore di forma e dimensioni standard (tipo Raymond), attraverso il quale, in base al numero dei colpi (N) necessari alla penetrazione di 45 cm, misurati separatamente in tre tratti di 15 cm ciascuno, sia possibile valutare orientativamente lo stato di consistenza dei terreni, in genere sabbiosi o limo-argillosi.

La percussione dovrà essere effettuata secondo le modalità contenute nella norma ASTM n° D 1586/67 salvo quanto specificato di seguito.

Deroghe alla norma ASTM n° D 1586/67:

- se la prova interesserà terreni molto compatti o ghiaiosi, previa autorizzazione da parte della Sogesid S.p.A, l'Affidatario potrà impiegare, al posto della scarpa del campionatore sopra descritto, una punta conica del diametro di 51 mm e di 60° di apertura angolare;
- le tre fasi di penetrazione di 15 cm ciascuna andranno comunque eseguite;
- per ciascuna fase, in caso di rifiuto, andrà indicata la penetrazione raggiunta in cm.

Per la prova dovrà essere usato un campionatore Raymond di lunghezza 711 mm, diametro esterno di 50,8 mm, diametro interno 34,9 mm e un dispositivo di guida e di sgancio automatico del maglio, di peso 63,5 kg, che assicuri una corsa a caduta libera di 0,76 mm.

Le aste di perforazione non dovranno superare il peso di 10 kg/ml.

L'Affidatario è tenuto a conservare il campione estratto dal campionatore trasferendolo dal tubo di campionamento in contenitori di plastica, contrassegnati con etichetta.

4.3 Programma di perforazione

Entro sette giorni dalla data di stipula del contratto, l'Affidatario presenterà un programma, articolato fase per fase, secondo quanto riportato al paragrafo 2, indicando i tempi ritenuti necessari per l'esecuzione dei lavori, nell quale indicherà:

- la tecnica di perforazione;
- la profondità;
- i diametri di perforazione iniziale e finale;
- le eventuali prove in avanzamento e i logs;
- il diametro e la natura della tubazione definitiva;
- le quote presunte di cementazione o tamponamento;
- le procedure per stoccaggio e smaltimento dei residui solidi e liquidi;
- ulteriori specifiche per la corretta realizzazione dell'opera.

L'Affidatario dovrà attenersi scrupolosamente a tale programma comunicando tempestivamente le eventuali variazioni che fossero suggerite da difficoltà incontrate o accorgimenti per dare migliore funzionalità all'opera. Non potranno essere attuate varianti al programma se non ordinate o confermate dalla Sogesid S.p.A.

Ultimata la perforazione l’Affidatario presenterà alla Sogesid S.p.A. la stratigrafia dettagliata dei punti indagati corredata di ogni indicazione utile per l’individuazione degli strati produttivi (risultati delle prove in avanzamento, prova empirica in avanzamento, assorbimenti, variazioni di portata nella perforazione ad aria). Presenterà altresì l’esame granulometrico degli strati significativi con potenzialità produttive (se necessario). Sulla base di tali informazioni l’Affidatario produrrà lo schema definitivo di completamento del foro contenente:

- la profondità indagata (tubazione definitiva);
- il diametro del tubo;
- la posizione dei filtri per i piezometri eventualmente adeguati;
- le caratteristiche dei filtri per i piezometri eventualmente adeguati;
- la granulometria del drenaggio e le quote;
- le quote di cementazione e tamponamento;
- la metodologia e per lo sviluppo.

La Sogesid ha comunque la facoltà di accettare la proposta dell’Affidatario o di ordinare il completamento secondo le proprie indicazioni senza che ciò dia diritto a ulteriori compensi oltre quanto previsto dal capitolato.

4.4 Specifiche per le analisi geotecniche di laboratorio

I campioni indisturbati prelevati contemporaneamente all’attività di perforazione e allestimento dei piezometri dovranno essere analizzati in laboratorio geotecnico con prove atte alla caratterizzazione “fisica” del terreno e alla definizione del coefficiente di permeabilità.

I campioni accompagnati da opportuni documenti di trasporto dovranno essere conservati in ambiente idoneo in attesa che venga eseguita la prova.

I campioni contrassegnati con “caratterizzazione geotecnica” saranno prelevati, lungo la verticale perforata a vari livelli stratigrafici, e sottoposti alle seguenti analisi:

- analisi granulometrica;
- determinazione del contenuto d’acqua allo stato naturale;
- determinazione del peso dell’unità di volume allo stato naturale mediante fustella tarata;
- determinazione dei limiti di Attenberg;
- prova di compressione edometrica fino a 3200 kPa in ciclo unico di carico/scarico;
- prova di compressione triassiale in controllo di carico su provini cilindrici;
- prova di permeabilità a carico costante compresa la saturazione.

Sarà compito del geologo responsabile, informato sulle caratteristiche progettuali, identificare opportunamente le profondità di prelievo confacenti alle esigenze degli interventi.

Le prove dovranno eseguirsi in laboratori certificati ai sensi del D.P.R. n. 380/2001 art. 59.

Le prove dovranno essere effettuate facendo riferimento alle più importanti normative nazionali e internazionali esistenti (C.N.R. - U.N.I. – A.S.T.M. - B.S.) e alle raccomandazioni A.G.I.

Nello specifico:

- A.G.I. (1977) “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”;
- A.G.I. (1994) “Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio”;
- norma CNR UNI 10010/64 “Prove sulle terre. Peso specifico di una terra”;
- norma CNR UNI 10014/64 “Prove sulle terre. Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra”.
- U.S.A. – ASTM D421 - D2217 per l’analisi granulometrica mediante vagliatura.

5 Prove di permeabilità in foro

Nel corso di sondaggi a rotazione andranno realizzate complessivamente n. 78 prove di permeabilità in foro a carico costante, 15 prove di tipo *Lefranc / Lugeon*.

Si sottolinea che sarà compito della Sogesid S.p.A., definire in campo il tipo di prova di permeabilità da eseguire (*Lefranc o Lugeon*) e la profondità, in relazione alla natura dei terreni incontrati.

All’interno di tutto i fori di sondaggio geognostico, nonché nei piezometri esistenti scelti per il prelievo e l’analisi delle acque di falda, è prevista, inoltre, l’esecuzione di n. 30 *Slug Test*.

5.1 Prova Lugeon

La prova valuta l’attitudine dell’ammasso roccioso a lasciar circolare acqua al suo interno. Si effettua immettendo acqua in pressione in un tratto di foro isolato. Poiché l’acqua in roccia circola attraverso le discontinuità, la misura è un indice indiretto del grado di fratturazione dalla roccia. Il parametro di assorbimento che si ricava dalla prova è espresso in Unità Lugeon.

1 UL - portata di un litro al minuto iniettata alla pressione di 1 MPa per 10 minuti in un tratto di foro della lunghezza di un metro.

Il tratto di foro da isolare per la prova può essere realizzato in avanzamento, ovvero sia col procedere della perforazione oppure in risalita, cioè a foro ultimato. Nel primo caso è sufficiente inserire un pistoncino (packer) espandibile immediatamente sopra il fondo del foro. Nel secondo caso, si può selezionare il tratto di foro da sottoporre a prova e isolarlo con due pistoncini alle estremità.

Il metodo in avanzamento garantisce un miglior controllo della tenuta dei packers. Il metodo in risalita è più economico e consente di scegliere il tratto do sottoporre a prova. Il tratto di prova deve avere lunghezza da *1 m a 5 m*.

E’ anche possibile superare i limiti in ragione del grado di fatturazione dell’ammasso roccioso. In ogni caso occorre che sia $L > SD$.

Per garantire la buona tenuta dei packers è necessario che il foro non presenti irregolarità. Pertanto il foro andrà eseguito con corone adeguate al tipo di litotipi presenti e/o

usando opportuni alesatori. Di norma si utilizzeranno packers di tipo pneumatico assicurandosi che la pressione di gonfiaggio sia almeno 0,2-0,3 MPa superiore a quella di iniezione dell'acqua.

La membrana di tenuta dei packers deve avere sufficiente lunghezza. La pompa deve essere in grado di applicare pressioni superiori a 1 MPa e portate elevate. In genere una pompa che eroghi sino a 25 l/s per pressioni di 0,4 MPa è da considerarsi adeguata. Sono da preferirsi pompe a centrifuga rispetto a quelle a pistone per garantire una pressione costante.

Le pressioni di iniezione sono misurate con manometro posto sulla verticale del foro. Le perdite di carico (per correggere le misure del manometro) possono essere stimate da opportuni abachi o misurate direttamente in cantiere. L'impiego di trasduttori di pressione inseriti nella camera di iniezione, rendono superflua la stima delle perdite di carico e offrono la possibilità di registrare i dati in automatico.

È importante definire il livello della falda statica e accertarsi che la pompa non aspiri aria. La prova consiste nel misurare la portata iniettata a pressione costante di 1 MPa per 10 minuti in un tratto di geometria nota. La fase di misura sopra descritta è preceduta da iniezioni per 10 minuti a pressioni inferiori. Si realizzano gradini di pressione regolare (4 o 5) con incrementi di 0,2-0,25 MPa.

La portata viene misurata ogni 2 minuti verificando che non vari di oltre 0,1 l/s. Aumenti bruschi della portata segnalano l'insorgere di fenomeni di fratturazione idraulica. In questo caso la prova può essere sospesa. In assenza di fratturazione idraulica la prova può essere spinta sino a pressioni di 1,25 MPa.

5.2 Prova Lefranc

Si tratta di una prova di tipo puntuale che riguarda uno strato di terreno dello spessore di alcuni centimetri sino a 2 metri, purché collocati al di sotto del livello della falda. Misure di permeabilità al di sopra del livello di falda sono teoricamente possibili, ma l'interpretazione oltre che difficoltosa risulta affetta da maggiori incertezze. Le prove sono pertanto eseguite a fondo del foro di sondaggio. Nel caso in cui si vogliano eseguire misure a diverse profondità occorre interrompere, ogni volta, il sondaggio.

La prova viene eseguita instaurando un dislivello piezometrico tra l'interno del foro, dove è stata realizzata la sezione filtrante, e l'esterno. Il moto di filtrazione che ne segue è diretto dal foro verso l'esterno (prova di immissione) o dall'esterno verso il foro (prove di ritorno). Ovviamente, le prove di ritorno possono essere eseguite solo sotto falda.

Le prove possono essere eseguite:

- a carico costante (mantenendo costante il dislivello piezometrico e misurando la portata);
- a carico variabile (instaurando un dislivello iniziale e registrando nel tempo le variazioni di altezza).

A seconda della geometria della sezione filtrante è possibile misurare il coefficiente di permeabilità in direzione verticale, orizzontale o un valore medio.

MISURA D (KV)

In un foro di sondaggio standard (101 mm) con rivestimento da 127 mm, viene calata una batteria di tubi da rivestimento (98/89 oppure 113/104 mm) recante, all'estremità inferiore un tubo (non finestrato) con tagliente lungo almeno 500 mm che sarà infisso a pressione nel terreno per almeno 400 mm. Si lava accuratamente la parte alta del terreno lasciando all'interno del tubo solamente 250-300 mm di terreno naturale. Il lavaggio va eseguito a bassa pressione e con utensili dotati esclusivamente di fori radiali. Vanno eseguiti opportuni controlli per verificare la correttezza delle operazioni di pulizia (quantità di detriti e di fini presenti nel fluido di ritorno, uso dello scandaglio per il controllo della quota). Al termine della prova di permeabilità il tubo viene estratto, il campione al suo interno viene recuperato e analizzato. Nel caso in cui siano presenti ghiaie, il foro rivestito deve avere diametro compreso tra i 600 e i 1200 mm. Il tubo per la creazione della sezione filtrante deve essere infisso per almeno un diametro, meglio due.

Occorre realizzare una sezione filtrante cilindrica con rapporto L/D maggiore di 1.2. Il rivestimento del foro di sondaggio va infisso a secco nel tratto finale sino a raggiungere il tetto dello strato di misura. La Figura 1 (Cestari, 1990) illustra la metodologia consigliata per la predisposizione del foro.

Le prove a carico costante possono essere realizzate secondo lo schema di Figura 2 (Cestari, 1990). In assenza di scarico di troppo pieno, la costanza del livello deve essere controllata con una sonda galvanometrica oppure mediante asta graduata.

La portata va misurata con un contatore di precisione inserito nella mandata della pompa oppure misurando la variazione del livello dell'acqua nel vascone. L'altezza e la portata vanno controllati e misurati ogni 2 o 5 minuti con durata complessiva pari rispettivamente a 10 o 30 minuti. Le prove a carico variabile (prove di immissione) prevedono la misura del livello statico iniziale e la successiva immissione di acqua in foro.

Si annota l'altezza iniziale h_0 e quindi si misura l'altezza h a istanti successivi dall'inizio prova (t_0). Con h_0 uguale o superiore a due metri le misure si effettueranno per riduzioni dell'altezza di 100 mm circa finché i decrementi non risultano inferiori o uguali a $h_{0/5}$.

Devono essere riportate tutte le informazioni necessarie a definire la geometria della sezione filtrante, la temperatura dell'acqua in foro e di quella immessa e il livello statico della falda. L'interpretazione delle misure andrà effettuata con i metodi usuali (Lancellotta, 1990).

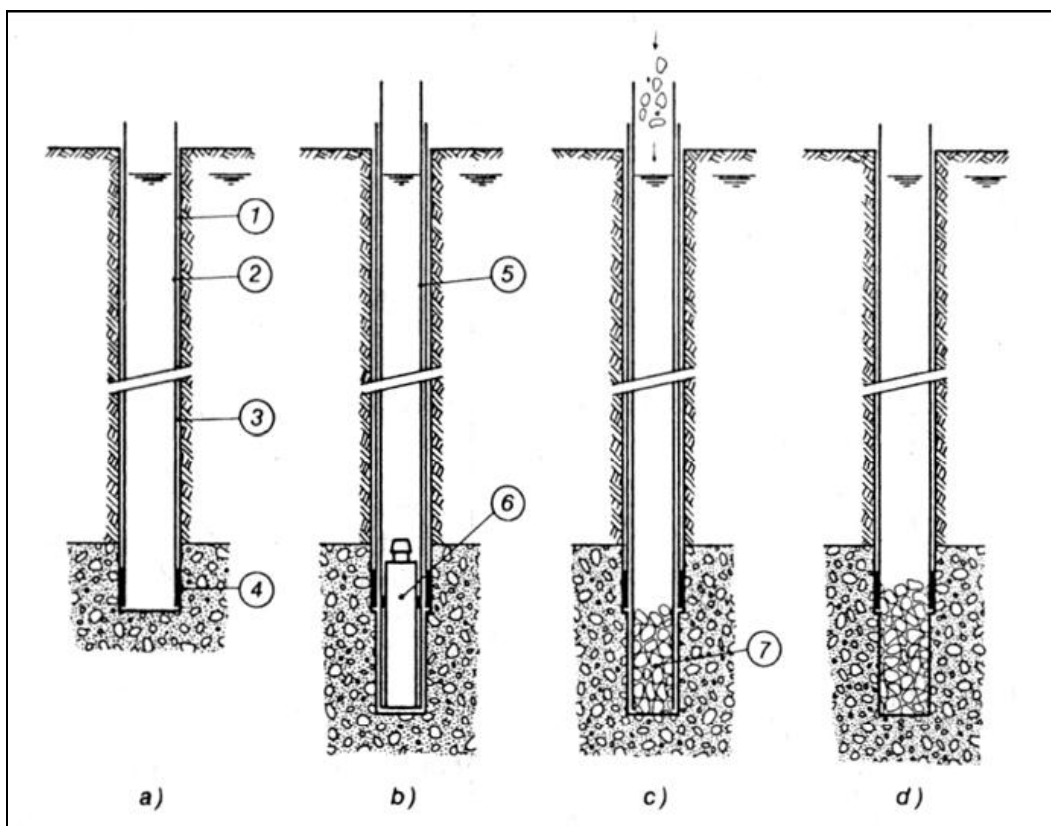


Figura 1 - Misure dei coefficienti di permeabilità orizzontale (K_h) e medio (K_{av}) in foro di sondaggio (prova tipo Lefranc). Sequenza schematica della preparazione del foro: a) si forza il rivestimento “a secco” (2) fino al tetto del tratto da provare, tappando (4) in tal modo l’intercapedine (3) fra rivestimento e parete del foro (1); b) si perfora la “tasca” di prova con attrezzo (6) e batterie “wireline” (5) telescopica al rivestimento (2); c) si estrae l’attrezzo di perforazione (6) con la fune, lasciando in posto la batteria “wireline” (5) a sostegno delle pareti della tasca, successivamente si riempie la tasca con il dreno (7); d) si estrae con cautela la batteria “wireline” (5). Da Cestari, 1990

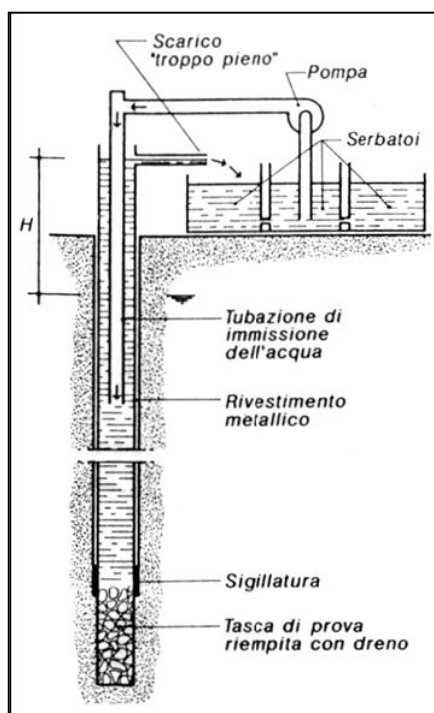


Figura 2 - Schema di prova per misure di permeabilità tipo Lefranc a carico costante, con immissione d'acqua.
Da Cestari, 1990

5.3 Slug test

Per la determinazione della trasmissività dell'acquifero è prevista l'esecuzione di slug test, con l'allestimento della strumentazione in corso di perforazione, la registrazione, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, indipendentemente dalla durata della prova.

5.3.1 Direttive esecutive

Le direttive da seguire nell'esecuzione di uno slug test possono essere sintetizzate in otto passi:

1. La procedura di esecuzione della perforazione deve minimizzare la produzione di materiale estratto, e quest'ultimo deve essere riutilizzato ogni volta che è possibile;
2. Le procedure di sviluppo del pozzo non devono danneggiare l'intorno del terreno, e non deve aversi scorrimento verticale nel pacco-filtro, altrimenti potrebbero risultare alterati i risultati delle prove. L'impianto, nella fase di realizzazione del pozzo, di speciali pacchi-filtro riducano lo scorrimento verticale;
3. Si rende necessaria un'analisi preliminare dei dati di risposta che si avvalga di modelli teorici con la possibilità, nel caso di formazioni omogenee, che il pozzo sia rivestito con materiale a bassa permeabilità;
4. Usare la lunghezza del rivestimento nominale del tratto filtrante (screen length) come parametro effettivo;
5. Il raggio del pacco-filtro effettivo deve essere usato come parametro del raggio per il tratto filtrante (screen length) nei pozzi con pacco-filtro artificiale, mentre il raggio nominale della parte filtrante (nominal screen radius) può essere una scelta migliore nel caso di pozzi con pacco-filtro naturale.

6. Negli slug test convenzionali viene normalmente usato come raggio nominale l'effettivo raggio perimetrale del pozzo (casing radius). La comparazione dei valori dello spostamento iniziale teorici con quelli misurati durante la prova fornisce importanti indicazioni;
7. Per ciascun pozzo è necessario eseguire almeno tre slug test, ricorrendo all'uso di almeno due differenti valori dello spostamento iniziale, nel primo e nell'ultimo test assumere lo stesso H_0 (spostamento iniziale) e variare la direzione dello scorrimento nei test;
8. La direzione principale dello scorrimento deve coincidere con quella della formazione al pozzo. Il flusso dello slug-indotto dal pozzo nella formazione potrebbe causare una riduzione della conduttività idraulica a causa del movimento di materiale fine presente nello strato più profondo della formazione.

5.3.2 Apparecchiature di uno slug test

Le apparecchiature usate per eseguire uno slug test possono raggrupparsi nelle seguenti categorie principali:

- dispositivi per misurare i cambi di carico (variazioni di livello) durante il test;
- dispositivi per registrare i dati.

Le apparecchiature usate per misurare il cambiamento di carico sono:

- Sondine con nastro graduato;
- Apparecchi registratori:
 - a galleggiante;
 - sensori trasduttori di pressione programmabili (diver).

La profondità andrà letta in relazione a prefissati intervalli di tempo, oppure attraverso la misurazione del tempo quando il livello raggiunge profondità prestabilite.

Si rende necessaria una lettura ogni 8 o 10 secondi ricorrendo ad un operatore esperto in misurazione.

5.3.3 Inizio di uno slug test

E' importante stimare con precisione lo spostamento iniziale del carico.

Per avviare uno "slug test" è necessario introdurre, o rimuovere, rapidamente acqua nel, o dal, pozzo ricorrendo all'uso di un boiler, tubo aperto alla sommità e provvisto di una valvola di controllo sul fondo, oppure, molto più semplicemente, versando direttamente nel pozzo una quantità d'acqua nota, molto velocemente.

In alternativa è possibile avviare il test con l'approccio pneumatico iniettando aria compressa o azoto gas nel pozzo chiuso ermeticamente. Queste pressioni producono una depressione del livello d'acqua, che in risposta all'incremento di pressione nella colonna d'aria, è cacciata dal pozzo, la pressione del gas è sostituita dalla pressione dell'acqua, fino a quando il pozzo ritorna in condizioni di equilibrio. Usando un trasduttore di pressione è possibile raccogliere i dati in questo tipo di metodologia.

E' importante evitare di iniettare inavvertitamente gas nella formazione, che potrebbe fornire una sovrastima della conducibilità idraulica, che, nella realtà, risulterebbe essere più bassa.

Altro approccio per avviare uno “slug test” è ricorrere all’uso di un sistema “packer-based”. Questo sistema consiste nel gonfiare precedentemente di aria un “packer” posizionato sotto il livello dell’acqua, il test ha inizio sgonfiando il “packer”, che, però, potrebbe impiegare del tempo per sgonfiarsi, per questa ragione questo sistema è adottabile solo in formazioni poco permeabili che non risentano del ritardo. Nella prima parte della prova, circa i primi due o tre secondi, la pressione dinamica produce effetti tali da influenzare i dati di risposta del trasduttore. Un’alternativa ai “packer” gonfiabili sono i più economici “packer” meccanici.

5.3.4 Recupero del carico

Prima di riavviare il test è necessario aspettare il ripristino delle condizioni statiche e, poiché il tempo richiesto per il recupero di tali condizioni di carico statico, specie in formazioni poco permeabili, può essere abbastanza lungo, è importante stimare gli errori prodotti nella stima della conducibilità idraulica quando un test è ripetuto prima del completo recupero del carico.

5.3.5 Riepilogo

1. Occorrono apparecchiature appropriate per misurare il carico.;
2. uno “slug test “ deve essere avviato nel modo più istantaneo possibile relativamente alla risposta della formazione;
3. sono necessarie stime precise di entrambi i valori di spostamento di carico iniziale: atteso (H_0^*) e misurato (H_0).;
4. la deviazione residua dalla condizione statica deve essere minore del 5% di H_0 prima che uno “slug test” venga ripetuto in un pozzo. Se c’è incertezza sul recupero di H_0 in un particolare pozzo si può fare una verifica tracciando il logaritmo dei dati di risposta normalizzati rispetto al tempo; una forma del tracciato vicina a quella lineare indica che la deviazione residuale del carico non è influente sulle risposte del test.

5.3.6 Pre-analisi e conversione dei dati

I dati registrati, solitamente con un trasduttore di pressione, durante l’esecuzione di uno “slug test”, prima di poter essere utilizzati per stimare le proprietà idrauliche di una formazione, devono essere opportunamente elaborati.

I dati di risposta sono acquisiti con una sonda a nastro che misura la profondità dell’acqua, oppure, più frequentemente, misurando la pressione esercitata dalla colonna d’acqua con un trasduttore di pressione.

I dati possono presentarsi come una delle tre seguenti forme:

- Dati non elaborati emessi da un trasduttore;
- Carico di pressione prodotto dalla colonna d’acqua presente sul trasduttore;
- Deviazione del carico totale dalla condizione statica.

Prima di essere analizzati, i dati devono essere convertiti nella terza forma elencata sopra, ovvero come deviazione del carico dalla condizione statica.

Una volta convertiti i dati in unità di carico di pressione si deve calcolare la deviazione del carico dalla condizione statica, processo che si divide in due fasi. La prima

fase consiste nell'esaminare i dati del test per determinare qual è il carico di pressione che corrisponde alla condizione statica, mentre la seconda fase consiste nella sottrazione di questo valore dalle misure del carico di pressione prese nel corso del test:

Non variare la posizione del trasduttore, assunta in condizioni di carico statico, durante tutta la durata del test.

Il passo finale in un programma di pre-analisi è la misura del tempo dal momento in cui il test inizia (t_0). La raccolta dei dati inizia prima che lo “slug test” venga avviato per cui è importante tenerne conto e aggiustare i dati in base alla durata del test. Dai dati raccolti si stima il valore di t_0 corrispondente al carico H_0 .

Successivamente si possono confrontare i dati raccolti da una serie di tests con modelli teorici per poterli usare nei passi di analisi successivi.

6 Adeguamento piezometri esistenti

Al fine di acquisire ulteriori dati sullo stato qualitativo della falda idrica ed avviare un monitoraggio dei punti considerati maggiormente critici dell'area del SIN “Napoli orientale”, è stata scelta una maglia di piezometri esistenti su cui effettuare una campagna di campionamenti delle acque di falda.

Tale rete tiene conto dei risultati ottenuti da campagne di indagine effettuate in passato. Infatti sono stati scelti quei punti per i quali sono stati riscontrati valori di concentrazione degli inquinanti superiori ai limiti consentiti.

Come si evince dalla **Tavola E.1** si tratta di 15 punti distribuiti per lo più nel settore medio-basso dell'area, zona in cui sono stati rilevati i più alti superamenti delle concentrazioni degli inquinanti. Inoltre tale area è anche quella più prospiciente alla costa, laddove è stata prevista la realizzazione del barrieramento e la captazione delle acque prima che esse giungano a mare.

Laddove dovessero riscontrarsi piezometri non più funzionali, l'Impresa procederà ad un adeguamento degli stessi.

I piezometri eventualmente adeguati dovranno essere completati in superficie, in funzione dell'ubicazione, con pozzetti carrabili in ghisa o con protezioni metalliche fuori terra. Per prevenire l'infiltrazione d'eventuale acqua superficiale, il boccapozzo sarà chiuso con un tappo a tenuta provvisto di lucchetto.

Da ciascun piezometro saranno prelevati n.2 campioni d'acqua.

6.1 Tubi e filtri

La tubazione definitiva del piezometro non potrà essere posta in opera senza l'autorizzazione della Sogesid che verificherà la corrispondenza dei materiali approvvigionati con quanto riportato di seguito. I tubi dovranno corrispondere alle norme UNI EN ISO 11960/03 o API; dovranno altresì essere disposti coassialmente al perforo mediante l'impiego di idonei centralizzatori. I filtri saranno del tipo “fresato”, a “ponte”, e a “spirale continua” con aperture dimensionate secondo la granulometria dello strato produttivo; soprattutto i filtri dovranno essere centralizzati al perforo.

I tubi potranno essere di acciaio (trafilato o saldato) nero di laminazione, bitumato, zincato a caldo. Per risolvere i problemi legati a fenomeni di corrosione, i tubi potranno essere in acciaio Inox o di PVC atossico.

La scelta del materiale costituente il tubo e i filtri sarà effettuata e verificata in corso d'opera in base alla situazione geologica e stratigrafica, alle condizioni operative della perforazione. In particolare si terrà conto delle condizioni relative all'aggressività chimica delle acque e, più in generale, dei fenomeni di corrosione.

Il progetto dovrà tenere conto della resistenza meccanica allo schiacciamento della tubazione prevista nelle condizioni critiche di sviluppo e cementazione. Dovrà altresì tenere conto della metodologia di sviluppo, ad esempio escludendo il PVC se l'acquifero necessita del pistonaggio meccanico, o escludendo il filtro a spirale continua con tubo interno se si ritiene utile lo sviluppo mediante lavaggio con ugelli.

Le giunzioni dei tubi di acciaio saranno effettuate mediante elettrosaldature di teste smussate per il 40% dello spessore. Nel caso di tubi bitumati si riprenderà il tratto interessato dalla saldatura con una nuova bitumatura esterna a freddo. Le giunzioni dei tubi di acciaio potranno anche essere filettate (da preferirsi per tubi zincati). Nelle perforazioni a circolazione diretta, soprattutto se profonde, è opportuno ricorrere a tubi API per pozzi, che consentono di utilizzare al meglio le dimensioni nei passaggi del "cannocchiale". Detti tubi hanno composizioni metallurgiche ottime, spessori elevati, giunzioni filettate e alta resistenza meccanica.

6.2 Manto drenante

Il ghiaietto impiegato per il drenaggio, della classe granulometrica determinata dalle caratteristiche dell'acquifero dovrà essere del tipo arrotondato, proveniente da sedimenti di fiume a prevalenza silicea e non da frantumazione. Con il ghiaietto siliceo si riempirà l'intercapedine fra tubazione definitiva e perforo fino al primo tamponamento o cementazione. Nel tratto superiore, dove non si avranno funzioni di drenaggio, potrà essere utilizzata ghiaia proveniente da frantumazione. L'impresa dovrà controllare le quote raggiunte dal dreno mediante la discesa di testimone prima di iniziare le operazioni per la cementazione selettiva.

7 Modalità di campionamento e conservazione dei campioni d'acqua

Da ciascun piezometro saranno prelevati n. 2 campioni d'acqua, da sottoporre ad analisi di laboratorio sia per la determinazione dei parametri indicati al successivo paragrafo 8.1, sia per la caratterizzazione dei reagenti da utilizzare nelle barriere permeabili reattive (PRB) così come descritto al successivo paragrafo 11.

Prima del prelievo d'acqua sotterranea, i piezometri andranno adeguatamente spurgati fino a ottenimento d'acqua chiara e, in ogni caso, per un tempo non inferiore al ricambio di tre volte il volume d'acqua presente all'interno del piezometro.

Per il prelievo dei campioni saranno utilizzate pompe a bassa portata (elettropompe sommerse o pompe peristaltiche). Nel caso in cui si riscontri la presenza di prodotto surnatante, questo sarà campionato con appositi campionatori monouso in polietilene

(bailer). Durante il pompaggio per lo spurgo dei pozzi saranno monitorati i principali parametri chimico-fisici (pH, temperatura, ossigeno disciolto e conducibilità).

I campioni saranno raccolti in appositi contenitori in vetro, in PE (per i campioni sui quali andranno effettuate le determinazioni dei metalli), in vetro scuro per la determinazione degli IPA e in vials per le sostanze volatili. Tutti i campioni dovranno essere conservati alla temperatura di $4 \pm 2^\circ\text{C}$ mentre quelli destinati all'analisi delle sostanze volatili alla temperatura di $-20 \pm 2^\circ\text{C}$, fino alla consegna al laboratorio che dovrà avvenire entro 24 ore dal campionamento.

8 Analisi chimiche di laboratorio

Le analisi devono essere svolte in laboratori pubblici o in laboratori privati accreditati ACCREDIA.

Nell'esecuzione delle analisi devono essere rispettate le seguenti prescrizioni:

- eseguire le analisi di laboratorio nel più breve tempo possibile dal momento del prelievo;
- redigere e presentare una relazione indicando, per ogni parametro analizzato, i metodi usati ed i relativi limiti di rilevabilità;
- adottare metodi di analisi ufficiali riconosciuti a livello nazionale e/o internazionale;
- effettuare analisi di campioni a concentrazione nota, campioni di riferimento standard, individuando le percentuali di recupero del metodo analitico adottato.

8.1 Analisi sui campioni d'acqua di falda

Per le acque sotterranee si farà riferimento alle metodiche analitiche ufficiali CNR-IRSA o EPA. I limiti di rilevabilità dei metodi utilizzati saranno conformi ai requisiti previsti dalla normativa.

In merito alla caratterizzazione delle acque di falda sarà ricercato un ulteriore parametro, aggiuntivo rispetto a quelli definiti nella tabella Acque sotterranee dell'allegato I al D.M. 471/99 e precisamente il parametro cumulativo "idrocarburi totali"; la concentrazione limite di tale parametro sarà assunta pari a $10\mu\text{g/l}$.

Gli analiti da ricercare sono, quindi:

- alluminio, antimonio, argento, arsenico, berillio, cadmio, cobalto, cromo totale, cromo VI, ferro, mercurio, nichel, piombo, rame, selenio, manganese, tallio, zinco;
- composti organici aromatici e policiclici aromatici, alifatici clorurati cancerogeni e non, fenoli e clorofenoli e altre sostanze (come idrocarburi totali, MTBE, PCB).

8.2 Campioni di Controllo

Per ogni campagna di monitoraggio è prevista l'esecuzione di un programma controllo di qualità al fine di verificare la precisione e l'accuratezza delle operazioni di campionamento e analisi.

A tal fine si prevede di prelevare e di analizzare un quantitativo, pari al 5-10% dei campioni complessivamente prelevati, di:

- *blind duplicate*: due campioni d'acqua identici saranno contrassegnati con due identificativi differenti ed inviati al laboratorio, allo scopo di verificare la precisione dei risultati delle analisi e verificare eventuali incongruenze;
- *field blank*: costituito da acqua distillata, con la quale sarà sciacquata l'attrezzatura di campionamento (guanti monouso, bottiglie, boiler); tale campione è utilizzato per verificare l'accuratezza delle attività di prelievo dei campioni.

9 Ulteriori rilievi e analisi di campo

Nel corso dell'indagine saranno, inoltre, realizzati i seguenti rilievi:

- rilievo della profondità di falda;
- determinazione dei principali parametri chimico-fisici (pH, temperatura, potenziale redox, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto) per mezzo di strumentazione portatile;

10 Elaborati da produrre

A conclusione delle attività sarà redatta, in accordo alla normativa vigente, una Relazione Descrittiva delle attività di investigazione contenente:

- descrizione delle attività svolte;
- ricostruzione dell'assetto geologico e idrogeologico del sito in funzione dei risultati delle indagini;
- descrizione delle indagini svolte in laboratorio (sotto forma di tabelle di sintesi, di rappresentazioni grafiche e cartografiche) e dei relativi metodi utilizzati;
- descrizione del tipo e del grado di inquinamento, per ognuna delle sostanze analizzate sui campioni di acqua sotterranea.

Tale relazione descrittiva dovrà, inoltre, contenere le relazioni di cantiere firmati da un professionista geologo abilitato contenente i grafici e i risultati relativi alle diverse indagini e prove effettuate.

Dovranno, inoltre, essere prodotti i seguenti elaborati:

- planimetrie con l'ubicazione delle stazioni di campionamento;
- schede tecniche descrittive delle attività svolte relative alle fasi di campionatura debitamente compilate;
- documentazione fotografica digitale dettagliata dei punti di prelievo.

Sulla base dei risultati delle indagini saranno indicate eventuali indagini d'approfondimento. I dati acquisiti saranno georeferenziati nel sistema UTM WGS84 e resi su supporto informatico in modo da essere inseriti in un SIT.

11 Prove di trattamento in scala pilota per il dimensionamento della PRB

Il progetto, per il quale sono finalizzate le suddette indagini, prevede la realizzazione di una Barriera Permeabile Reattiva (PRB) costituita da zeoliti e Ferro Zero Valente (ZVI). La scelta dei reattivi deriva dalla necessità di affrontare inquinanti che possano essere trattati sia attraverso processi di dealogenazione riduttiva con ZVI (alifatici clorurati) che attraverso processi di scambio ionico ed adsorbimento (metalli, IPA, BTEX). La stima preliminare della larghezza della barriera è pari ad 1 m, sebbene si sottolinei la necessità di derivare lo

spessore della stessa da prove di trattamento in scala da laboratorio, mediante filtrazione in colonna.

Il dimensionamento di una PRB, infatti, viene effettuato determinando in laboratorio le cinetiche di reazione (è il caso della dealogenazione riduttiva) che consentono di individuare lo spessore che garantisce il raggiungimento della/e concentrazione/i obiettivo a valle idraulico della barriera.

Per quanto riguarda, invece, il trattamento dei composti inorganici con le zeoliti, il processo unitario di trattamento non consente la degradazione dei composti di interesse ma un loro trasferimento dalla fase liquida sui granuli delle zeoliti stesse.

Conseguentemente lo spessore della barriera di progetto corrisponderà al tempo che si stabilisce essere idoneo per adsorbire un certo quantitativo di inquinanti, in funzione dei seguenti parametri:

- flusso massico di contaminanti che attraversano la barriera, pari al prodotto della concentrazione in fase acquosa per la velocità di filtrazione;
- capacità sorbente delle zeoliti, espresse in $mg\ inquinante/m^3\ zeoliti$.

Le PRB realizzate con zeoliti hanno quindi la funzione di adsorbire gli inquinanti che attraversano la barriera stessa, sino a saturare la loro capacità sorbente.

Tenuto conto di processi unitari così differenti (reazione chimica eterogenea per la dealogenazione con ZVI, ed adsorbimento/scambio ionico per le zeoliti), la sperimentazione in scala da laboratorio sarà svolta in 3 fasi differenti.

Per le 3 fasi si utilizzerà un sistema sperimentale di filtrazione su colonna costituito dalle seguenti unità:

- 1) Serbatoio di alimentazione acque, corredato di pompa peristaltica e sonda multiparametrica (S1) collegata a sistema acquisizione dati in continuo;
- 2) Colonna in vetro/plexiglas trasparente da 6 cm di diametro ed altezza di 60 cm, allestita con fori laterali per il prelievo di campioni a diverse altezze;
- 3) Serbatoio di scarico acque, corredato di sonda multiparametrica (S2) collegata a sistema acquisizione dati in continuo.

La durata delle prove di filtrazione dipende sia dalla velocità di filtrazione (funzione del gradiente idraulico del sito e della permeabilità del materiale filtrante della PRB) che dal tempo di osservazione necessario alla determinazione dei parametri cinetici (velocità di dealogenazione con ZVI) e termodinamici (capacità sorbente zeoliti). Un stima preliminare dei tempi è indicata nella descrizione delle fasi sperimentali.

11.1 Fase 1: Sperimentazione in colonna per trattamento alifatici clorurati con ZVI

Si preleverà un campione di acqua con caratteristiche rappresentative di quelle in ingresso alla PRB, per un quantitativo totale di circa 30-40 litri, così come dettagliato precedentemente.

L'apparecchiatura sperimentale verrà riempita con ZVI, che sarà acquistato da produttore in grado di fornire specifici dati prestazionali.

I dati di esercizio dell'impianto in scala da laboratorio, sono stati derivati partendo dalla considerazione di riprodurre le condizioni idrogeochimiche del sito.

Per quanto riguarda le caratteristiche della filtrazione in colonna, si è stimata la portata da garantire con la pompa di adduzione, partendo dalle caratteristiche idrogeologiche riportate nel Progetto preliminare e di seguito sintetizzate:

Conducibilità idraulica= 0,0035 m/s
 Altezza PRB= 10 m
 Gradiente idraulico=0,004
 Velocità= 0,000014 m/s= 0,05 m/h

Dal vincolo di bilancio idrico tra le portate in ingresso ed in uscita dal gate, si ottiene che la velocità apparente di filtrazione nel gate è pari a 0,05 m/h, mentre quella efficace è pari a:

$$V_{\text{eff_gate}} = V_{\text{app}} / \varepsilon = 0,05 / 0,66 = 0,076 \text{ m/h}$$

dove ε è la porosità del ZVI, di solito pari a 0,66

Con una colonna del diametro da 6 cm, la portata di acqua influente nella colonna sarebbe pari a 2,35 ml/min, dato utile per la scelta della pompa da utilizzare.

Inoltre, la velocità del flusso idrico nella colonna, pari a 0,076 m/h, consente di fare alcune valutazioni in merito al tempo di osservazione.

Con tale velocità efficace, una colonna di 60 cm sarebbe attraversata in circa 8 ore.

La verifica dell'andamento delle cinetiche di degradazione dopo lunghi periodi di eluizione hanno mostrato deterioramenti significativi dell'efficacia delle PRB. Sarebbe pertanto necessario valutare la legge di esaurimento delle capacità riducenti del reagente. In tale direzione, appare necessario prolungare il tempo di osservazione della prova per almeno 60 giorni.

Tenuto conto della portata oraria trattata e del periodo di trattamento, risulta necessario provvedere al campionamento di un quantitativo di acqua pari a circa 200 litri.

Durante il periodo di sperimentazione, oltre al monitoraggio in continuo delle caratteristiche dell'influente e del trattato con sonda multiparametrica (pH, T, redox, ossigeno disciolto), verranno effettuati dei prelievi dai fori laterali posti lungo la colonna di filtrazione. Tali dati verranno interpretati sulla base delle cinetiche teoriche di degradazione dei composti clorurati, in modo da ottenere con procedure di data fitting, le cinetiche specifiche per i singoli composti.

11.2 Fase 2: sperimentazione in colonna per trattamento altri composti con zeoliti

Per questa fase di sperimentazione, la colonna dovrà essere riempita con zeoliti, acquistate da produttori in grado di fornire specifici dati prestazionali.

La fase 2 potrà avvenire in parallelo allo svolgimento della Fase 1, prevedendo la realizzazione di n.2 sistemi sperimentali operanti in parallelo.

La portata di filtrazione in questa fase della sperimentazione sarà, ovviamente, pari a quella determinata nella fase 1 (circa 2,35 ml/min), con una velocità di filtrazione apparente di 0,05 m/h.

Il tempo di osservazione per la fase 2 dipende dalla capacità di saturazione specifica delle zeoliti con i composti che si intende trattare. Elevate concentrazioni in ingresso e bassa

capacità sorbente specifica, comportano un tempo di raggiungimento delle condizioni di saturazione (tempo di breakthrough) molto rapido.

In questa fase è ragionevole fissare un tempo di osservazione pari a quello della Fase 1.

In tal modo, dopo circa 60 giorni, sarà possibile avviare la fase 3.

Durante il periodo di sperimentazione, oltre al monitoraggio in continuo delle caratteristiche dell'influente e del trattato con sonda multiparametrica (pH, T, redox, ossigeno disciolto), verranno effettuati dei prelievi dai fori laterali posti lungo la colonna di filtrazione. Tali dati verranno interpretati sulla base di modelli di adsorbimento, in modo da ottenere la capacità complessiva di adsorbimento relativa alle concentrazioni caratteristiche in ingresso.

11.3 Fase 3: sperimentazione in colonna per trattamento su miscele zeoliti/ZVI

Al termine delle Fasi 1 e 2 (svolte in parallelo), i sistemi sperimentali verranno svuotati e poi riempiti con una miscela di zeoliti e ZVI in 2 diversi rapporti. Sulla base delle indicazioni riportate nel progetto preliminare si utilizzerà una miscela con 30% ZVI e 70% zeoliti (miscela base) ed una miscela con un minor quantitativo di ZVI per un'ottimizzazione dei costi. La proporzione precisa delle miscele dipenderà dai risultati delle Fasi 1 e 2. La durata di questa fase potrà essere anche inferiore alle precedenti, qualora venga rilevata una certa stazionarietà nelle concentrazioni in uscita.

Durante il periodo di sperimentazione, oltre al monitoraggio in continuo delle caratteristiche dell'influente e del trattato con sonda multiparametrica (pH, T, redox, ossigeno disciolto), verranno effettuati dei prelievi dai fori laterali posti lungo la colonna di filtrazione.

Tali dati verranno confrontati con quelli ottenuti nelle Fasi 1 e 2 per la valutazione degli effetti sinergici e/o antagonisti tra i due processi (dealogenazione riduttiva ed adsorbimento) in modo da ottenere tutti i dati utili al dimensionamento della PRB in piena scala.

I risultati della suddetta sperimentazione dovranno essere validati ed attestati da laboratori universitari o del CNR specializzati nella formulazione di tali modelli sperimentali e nell'analisi di dati provenienti dall'esecuzione di prove in batch ed in colonna.

12 Piano sostitutivo di sicurezza

Entro 30 giorni dall'aggiudicazione e comunque entro 10 giorni prima dell'inizio dei lavori, l'appaltatore, deve predisporre e consegnare un piano di sicurezza sostitutivo del piano di sicurezza e coordinamento ai sensi dell' art. 131, comma 2, lettera b del D. Lgs. 163/2006, nel rispetto delle vigenti disposizioni legislative e regolamentari in materia di sicurezza.

13 Importo delle prestazioni

L'importo complessivo dei servizi tecnici-ambientali da svolgere risulta determinato in € 192.650,51 come dal seguente prospetto:

A	SERVIZI		Euro
1	IMPORTO LAVORI DA COMPUTO METRICO		190 743,08
2	Oneri per la sicurezza inclusi	0,5%	953,72
3	Oneri per la sicurezza esclusi	1,0%	1 907,43
4	Oneri totali per la sicurezza		2 861,15
5	A IMPORTO TOTALE	TOT. A	192 650,51
6	A' IMPORTO A BASE D'ASTA		189 789,36