

“Presenza di falda freatica nella zona di scavo delle fondazioni: valutazioni preventive e soluzioni progettuali - esecutive”

Simone Zanessi

ITT Water & Wastewater Italia Srl
Via Orlanda,219 – 30030 Tesserà (VE)
simone.zanessi@itt.com

Sommario

La presenza di falda freatica nella zona di scavo è un elemento ricorrente, soprattutto per chi si trova ad operare in specifiche aree del territorio nazionale. Una valutazione preventiva ed un’attenzione particolare nella fase progettuale possono prevenire e risolvere anticipatamente i problemi che si potrebbero verificare nella fase esecutiva trovando la soluzione di drenaggio più adeguata.

1 Problemi causati dalla presenza d’acqua nel terreno

1.1 Introduzione

L’esecuzione di non poche opere idrauliche comporta di dover provvedere all’allontanamento delle acque di falda, per consentire, con il suo abbassamento, di potere operare all’asciutto durante l’esecuzione. Questo risultato si può ottenere con vari procedimenti quali: pozzi di accumulo, pozzi profondi, dreni e impianti wellpoint, adottando fra i metodi possibili quello più adatto al manufatto da costruire, alla struttura del terreno di fondazione e al valore della portata da smaltire. Quale che sia il metodo usato, le caratteristiche del moto che si stabilirà nella falda con l’attingimento della portata, devono essere tali da non provocare la parziale rimozione del materiale terroso in modo da evitare che si ingenerino conseguenti forme d’instabilità. Per evitare che questi fatti possano accadere si devono contenere i valori della velocità d’acqua, nel rispetto della struttura granulometrica del terreno da drenare, ed il drenaggio del fronte di falda dev’essere distribuito in modo uniforme sull’area interessata. Appare evidente come la scelta, e il corretto dimensionamento di un impianto di drenaggio, si collochi tra il campo geotecnica ed idraulico. Forse è questa la tale ragione per la quale il

problema viene talvolta trascurato dai progettisti dell'uno e dell'altro campo e lasciato alla abilità pratica degli esecutori. La conseguenza spesso è che senza un adeguato progetto, l'impianto risulti sovra o sottodimensionato, con oneri aggiuntivi che talvolta possono essere non trascurabili: per tacere dei casi in cui possono crearsi condizioni di pericolo per uomini e mezzi in cantiere.

Richiamo normativo

All'art. A.2. del D.M. 11/03/88 si legge che "*le scelte di progetto, i calcoli e le verifiche devono essere sempre basati sulla caratterizzazione geotecnica del sottosuolo ottenuta per mezzo di rilievi, indagini e prove*".

I risultati delle indagini, degli studi e dei calcoli geotecnici devono essere esposti, come si evince dai punti B.5 e C.2 del D.M. 11/03/88 ed anche dal comma A.3. della Circ. LL.PP. 24/9/1988 n. 30483 (istruzioni applicative) in una **relazione geotecnica**, parte integrante degli atti progettuali, costituita dai seguenti elaborati:

a) una **relazione geotecnica sulle indagini**, che illustra le indagini sui terreni e sulle rocce finalizzate a ricostruire il modello reale del terreno, cioè a supportare il Progettista nelle scelte progettuali. Essa comprenderà di norma:

- * Planimetria con ubicazione delle indagini, a scala del progetto
- * Profili litologici e stratigrafici con correlazioni tra i diversi punti sondati e localizzazione delle falde idriche
- * Documentazione ed elaborazione delle prove in sito e delle analisi di laboratorio
- * Caratterizzazione litologico-geotecnica del terreno fondazionale ed acquisizione dei parametri necessari per la scelta ed il dimensionamento delle fondazioni e per la previsione dei cedimenti.
- * Valutazione della permeabilità dei terreni, localizzazione della/e falda/e idrica/che, escursione del livello piezometrico.
- * metodologie di scavo delle fondazioni, stabilità dei fronti di scavo;
- * **sistemi di drenaggio degli scavi e relativo dimensionamento**

1.2 Frane e scivolamento delle scarpate

Nel caso in cui lo scavo non sia protetto da opere di sostegno (palancolato, diaframmi, sostegni) l'aggottamento dell'acqua dalle scarpate degli scavi al di sotto del livello di falda genera frane e trasporto di materiale verso il fondo, il pericolo maggiore è costituito però dalla

perdita di stabilità globale della scarpata stessa con la possibilità di rottura lungo superfici critiche e di slittamento dell'intero fronte. La diminuzione delle pressioni effettive, generata dalla presenza dell'acqua, comporta infatti una riduzione della resistenza al taglio con conseguente abbattimento delle forze stabilizzanti. Spesso frane e smottamenti sono improvvisi e mettono in grave pericolo sia la realizzazione dell'opera sia l'incolumità del personale e dei macchinari di cantiere.

1.3 Spinte sulle opere di sostegno

In molti casi risulta economicamente favorevole eseguire sistemi di protezione e di sostegno per lo scavo. Tali realizzazioni eliminano molti degli inconvenienti connessi con l'aggottamento del fondo, la stabilità ed il drenaggio delle scarpate sono però soggette ai problemi della maggior spinta esercitata dal terreno immerso rispetto al terreno asciutto e della minor resistenza offerta al piede di un terreno saturo. Anche in questa situazione può presentarsi la necessità di eseguire un drenaggio appropriato sia alle spalle del sostegno (diminuzione della spinta idrostatica) che all'interno dello scavo.

1.4 Sollevamento del fondo scavo

Se uno scavo giunge ad interessare un sottile strato di terreno coesivo soprastante un acquifero in pressione, può capitare che la pressione dell'acqua sia così elevata da sollevare lo strato impermeabile. E' questo che possiamo osservare negli scavi protetti da opere di sostegno che in genere vengono appositamente spinte fino a banchi di terreno argilloso al fine di ridurre i flussi affioranti dal fondo. In questi casi è necessario abbattere la pressione all'interno dell'acquifero con emungimenti.

2 Indagini preliminari per una corretta scelta e dimensionamento del sistema di drenaggio

2.1 Prove di permeabilità

Benché il concetto di permeabilità (o più esattamente di *conducibilità idraulica*) sia di per se molto semplice, e altrettanto concettualmente semplici siano le tecniche in sito e in laboratorio, la determinazione sperimentale del coefficiente di permeabilità reale è

estremamente complicata. Infatti, salvo casi eccezionali, il valore di K ottenuto può essere affetto da un errore di ordine di grandezza. In molti casi comunque pur sussistendo tale incertezza, risulta ancora possibile una progettazione economicamente valida. La scelta del tipo di prova dipende dalla natura del terreno e dalla precisione che si intende raggiungere.

- *Prove nei fori di sondaggio* sono eseguite in terreni con permeabilità da media ad elevata ($K > 10^{-6}$ m/s). I valori ottenuti fanno riferimento ad una zona di terreno localizzata e possono essere poco rappresentativi in situazioni stratigraficamente complesse. Nei casi più semplici il risultato ottenuto va considerato come un'indicazione dell'ordine di grandezza della permeabilità nella zona del terreno investigata. Il carattere puntuale della prova può essere in parte superato dalla possibilità di eseguirne un numero elevato, data la semplicità operativa.
- In aree problematiche che comportano un certo onere di rischi e costi, *le prove di pompaggio* sono considerate le più affidabili, visto il grande volume di terreno interessato. In particolare, nei casi di scavo con abbassamento di falda, tale prova duplica esattamente le condizioni esecutive reali. Esse sono realizzate in terreni relativamente permeabili.
- Nei terreni a grana fine ($K < 10^{-6}$ m/sec), a causa della bassa permeabilità, non è possibile eseguire prove su grande scala e normalmente si ricorre all'impiego di *piezometri idraulici di piccole dimensioni per ridurre i tempi di prova*.

Nell'esecuzione delle prove sopraindicate, tralasciando gli aspetti legati al complesso comportamento del terreno, diverse possono essere le fonti di errore:

- a. Errori legati alle misure di portata, del carico idraulico, delle dimensioni della sezione filtrante;
- b. Errori legati a fenomeni di erosione o intasamento nel corso di prove in terreni a grana grossa

2.1.1 Cenni sulle modalità di esecuzione delle prove di pompaggio

Le prove di pompaggio, come già detto, sono eseguite per caratterizzare un acquifero. Esse consistono nell'abbassare, mediante un pozzo, il livello della falda e nell'osservare, in corrispondenza di una o più verticali, l'andamento nel tempo del cono di depressione. Tale andamento è caratteristico dell'acquifero in esame. Il numero delle prove da eseguire, come lo schema generale delle prove, dipendono dalle condizioni idrogeologiche del sito. Pertanto

prima di eseguire una prova occorre disporre di un numero di sondaggi sufficiente a definire il profilo stratigrafico e l'estensione dell'acquifero.

Pozzo

- Acquifero confinato: in questo caso il pozzo di pompaggio dovrebbe attraversare tutto lo spessore;
- Acquifero non confinato: in queste condizioni la massima depressione della falda può essere conseguita predisponendo una sezione filtrante pari ad un terzo dello spessore dell'acquifero.

Le condizioni di drenaggio possono essere migliorate se nell'intercapedine tra pozzo e terreno si realizza un dreno artificiale che va progettato in modo da soddisfare tre criteri

- Il dreno deve avere una permeabilità superiore a quella del terreno naturale;
- La sua distribuzione granulometrica deve impedire che le particelle fini del terreno naturale possono infiltrarsi nei vuoti provocandone nel tempo l'occlusione;
- Infine, deve essere stabile, ossia le particelle più fini, non devono muoversi liberamente attraverso i pori creati dalle particelle di dimensioni maggiori.

Piezometri

Il numero e la disposizione dei piezometri dipendono dal tipo di acquifero

Durata della prova

Indicativamente, in un acquifero confinato la prova può avere una durata di 24 ore, in acquifero non confinato possono essere necessari anche 3 giorni.

3 Cenni sulle più comuni tecniche di drenaggio

3.1 Drenaggio passivo: aspirazione normale

Il drenaggio per aspirazione normale o diretta è sicuramente l'approccio più semplice nelle attività di controllo ed evacuazione delle acque di falda. Il pericolo più comune da evitare nella scelta del sistema di drenaggio è il formarsi di vie preferenziali di scorrimento dell'acqua con il conseguente spostamento di particelle solide che rende precaria la stabilità delle scarpate e del terreno circostante. Sono questi i pericoli maggiori in cui si incorre nell'adozione di questo sistema. Il drenaggio passivo può ottenersi con qualsiasi tipo di pompa autoadescante e/o sommergibile e consiste nel pompaggio dell'acqua dallo scavo al punto di recapito attraverso una tubazione di aspirazione, una griglia di fondo e tubazioni

zincate con attacchi rapidi come scarico. Può essere utilizzata per abbattimenti e svuotamenti di modesta entità in terreni limosi argillosi scarsamente permeabili e sufficientemente compatti oppure in terreni ghiaiosi con elevata permeabilità,. In questo caso dovranno essere impiegate pompe di notevole portata.

3.2 Sistema wellpoint

Il sistema wellpoint è costituito da una pompa munita di depressore



Fig.1 Infissione nel terreno di punte wellpoint con trivellazione

e da una punta perforante-filtrante, il Wellpoint vero e proprio



Fig. 2 Infissione utilizzando un getto d'acqua ad alta pressione.

La pompa genera un'elevata depressione nel terreno attorno alle punte infisse, favorendo l'afflusso dell'acqua. L'intero circuito pompa-Wellpoint deve essere ermeticamente chiuso, tuttavia la pompa del vuoto, anche in presenza di aspirazione d'aria dovuta alla non perfetta tenuta dei giunti e dei raccordi, assicura ugualmente il funzionamento grazie ad una decisa capacità di espulsione dell'aria.

In sostanza, l'impianto Wellpoint è costituito da un insieme di collettori orizzontali cui fanno capo una o più pompe aspiranti; dai collettori orizzontali si dipartono a interasse variabile una serie di raccordi flessibili, collegati a tubi di sollevamento verticali infissi nel terreno fino alla profondità voluta e che hanno alla loro estremità la punta Wellpoint per l'aspirazione dell'acqua filtrata.

La profondità e l'interasse dei Wellpoints sono determinati evidentemente dalla natura del terreno, dalla sua permeabilità e dal valore di abbattimento richiesto rispetto al livello indisturbato della falda freatica. In ogni caso i collettori zincati di raccolta dispongono di prese ad interasse di circa 1 m.

La disposizione dell'impianto rispetto allo scavo potrà essere perimetrale o laterale, a seconda delle dimensioni dello scavo stesso e della stratigrafia del terreno. Il Wellpoint è costituito da un'estremità a puntale perforante e da una serie di filtri metallici o di materiale plastico

finestrato. Il tubo esterno perforato permette il passaggio di un minor volume d'acqua che non quello interno. Questa differenza crea una caduta di pressione fra le due pareti e quindi la riduzione in pressione sul filtro interno e sulla sabbia contenuta nello spazio tra maglia esterna e filtro interno genera una bassa velocità d'afflusso costante durante tutto il pompaggio.

A seconda della consistenza dei terreni i sistemi di infissione possono essere di due tipi: mediante lancia ad acqua ad alta pressione e tramite trivella. Nei terreni sciolti e sabbiosi, limosi o limoso argillosi si ricorre all'attrezzatura Jetting con pompa premente-aspirante ad acqua che sviluppa fino a 3÷7 atmosfere di pressione.

Il getto d'acqua fora il terreno e consente alla punta di penetrare fino alla profondità voluta. Nel caso di terreni argillosi, o comunque compatti, si utilizzano invece trivelle idrauliche. Per terreni ghiaiosi infine si usano perforatori a percussione, che una volta raggiunta la profondità desiderata, vengono ritirati lasciando sul posto un tubo in acciaio che sostiene la colonna di ghiaia. Nel terreno di falda si stabilisce così un moto di filtrazione dell'acqua, diretto agli stessi wellpoint, moto testimoniato dall'abbassamento del livello dinamico della falda in corrispondenza, e nell'intorno, dei wellpoint stessi, rispetto al livello statico della falda indisturbata. Il pompaggio da ogni singolo wellpoint produce un abbassamento del livello di falda portando la superficie dell'acqua ad assumere la forma di un conoide rovescio (*cono d'influenza*) con l'asse in corrispondenza di ogni singolo wellpoint.

La forma e la geometria del cono variano al variare della:

- Portata emunta;
- Durata del pompaggio
- Permeabilità della falda

4 Pozzi profondi

IL sistema di drenaggio per mezzo dei pozzi a grande diametro, risulta vantaggioso nell'abbattimento della falda freatica , alle seguenti condizioni:

- Che la permeabilità del terreno aumenti con la profondità;

- Che lo scavo successivo interessi un terreno sabbioso, comunque permeabile a grossa granulometria;
- Che lo strato di terreno sottostante il fondo sia permeabile e di uno spessore tale da consentire un'adeguata immersione della parte finestrata dei pozzi;

Il pozzo profondo è costituito da una serie di elementi in acciaio o in materiale plastico opportunamente finestrati o ciechi e collegabili tra loro. L'installazione avviene con apposite attrezzature che scavano all'interno di una camicia in acciaio di diametro superiore a quello del pozzo. Raggiunta la quota voluta, si installa il pozzo all'interno della camicia dosando e ubicando opportunamente gli elementi ciechi e quelli finestrati. Lo spazio residuo tra pozzo e camicia viene saturato con ghiaietto monogranulare di elevata permeabilità e quindi si procede all'estrazione della camicia. Tali pozzi hanno generalmente un diametro di 150 mm fino a 500 mm con settori finestrati che variano dai 6 ai 25 m.

Metodi di perforazione

- a. Metodo a percussione
- b. Sistema a rotazione a circolazione inversa
- c. Sistema a rotazione a circolazione diretta a fango
- d. Perforazione ad aria compressa
- e. Pozzi battuti
- f. Pozzo Norton

5 Pozzi disperdenti auto-affondanti

In condizioni di terreni caratterizzati da ghiaie e per abbattimenti della falda freatica di modesta entità (3-5 mt) è possibile utilizzare il metodo dei pozzi disperdenti in calcestruzzo, costituiti da anelli modulari di diametro 1 m e altezza 1 m (facilmente reperibili in mercato). Tali anelli vengono posati attraverso l'utilizzo di una benna mordente la quale asportando il terreno al loro interno permette il loro affondamento per peso proprio fino alla quota desiderata che generalmente è consigliabile non superi il metro e mezzo al di sotto della quota di progetto di fondo scavo. Il pompaggio della falda attraverso tali pozzi può essere effettuato attraverso l'utilizzo di pompe centrifughe autoadescanti immergendo all'interno del pozzo

stesso un flessibile di aspirazione o di pompe sommergibili . In alcuni casi i pozzi possono essere utilizzati in combinazione con gli impianti Wellpoint installati per esempio ai piedi delle scarpate per l'intercettazione di piccole infiltrazioni.



Fig.3 Prosciugamento di un'area di cantiere con pozzi auto-affondanti

6 Drenaggio orizzontale a gravità

In presenza di falde freatiche artificiali, o quando il battente idraulico da deprimere e controllare è modesto, si può ricorrere alle trincee drenanti. Si tratta generalmente di scavi disposti trasversalmente alla direzione del flusso della falda, con l'obiettivo di incanalare l'acqua di falda, convogliandola verso i punti di raccolta. Le trincee possono essere colmate di materiale drenante e sul fondo può essere eventualmente posizionata una tubazione drenante di PVC. Nel caso di drenaggio con l'impiego di una trincea drenante, la capacità di emungimento del sistema può essere aumentata mettendo in depressione la tubazione drenante mediante una pompa centrifuga autoadescante.

7 Alcune applicazioni

7.1 Drenaggio mediante impianto wellpoint con filtri da ghiaia per la realizzazione dei plinti di fondazione di un capannone in provincia di Padova

L'intervento è un tipico esempio di impianto wellpoint ad anello con chiusura perimetrale su 4 lati dello scavo. In modo particolare occorre una soluzione di drenaggio che sponesse perfettamente le esigenze di logistica del cantiere con le condizioni idrogeologiche dell'area interessata.

Dati di progetto

- L'area da drenare di 10.000 mq (100 mt x 100 mt)
- Profondità di scavo da p.c : - 3,50 mt
- Livello di falda indisturbato da p.c: -1,70 mt
- Battente da deprimere: 1,80 mt
- Stratigrafia del terreno: sabbie e ghiaie con diametri inferiori ai 7 cm

Vista l'ampia area su cui intervenire si è optato di suddividere il lotto in 3 sotto anelli di dimensioni rispettivamente 35 mt x 100 mt al fine di localizzare gli impianti wellpoint in modo da rendere più efficace ed efficiente il dimensionamento del sistema pompe-impianto.

Dimensionamento impianto wellpoint singolo anello 35 mt x 100 mt

- Estensione lineare dell'impianto wellpoint diam. 150 mm: 270 mt
- Numero dei wellpoint da ghiaia da 1"1/2 di lunghezza 5,00: nr° 270
- Numero di elettropompe da 6" (11 kw/h/cadauna): 4
- Tubazione di scarico totale diam. 150 mm: 300 mt
- Numero di elettropompe da 6" di rilancio: 2

Questo ha permesso di poter raggiungere le quote di progetto in condizioni drenate evitando (alta permeabilità del terreno) fenomeni di risalita della falda nelle parti centrali dello scavo.

L'installazione degli impianti è avvenuta attraverso la tecnica classica della perforazione mediante trivella oliodinamica e immissione all'interno del foro dell'asta wellpoint con

motopompa jetting ad alta pressione fino a quota 1,50 metri al di sotto del fondo scavo. L'interasse dei wellpoint è stato calcolato pari ad 1 metro proprio per ovviare alla elevata permeabilità del terreno interessato al drenaggio.

In fase di dimensionamento un problema rilevante si è dimostrato quello di valutare le portate di scarico e quindi di trovare un ricettore idoneo a tali valori. Si è optato pertanto di creare un canale artificiale ove disporre le tubazioni di scarico . Il dimensionamento ha portato a valutare l'utilizzo di quattro elettropompe centrifughe autoadescanti munite di depressore più due elettropompe di rilancio per ridurre le perdite di carico dell'impianto wellpoint altrimenti causate dalla eccessiva distanza dei punti di recapito delle acque emunte. In condizioni di regime ciascun anello produceva una portata di emungimento pari a 10.500 litri/min.

Fasi d'installazione: Trivellazione	Fasi d'installazione: Infissione attraverso alta pressione
Fig 1	Fig 2
Operazione di assestamento dell'asta-filtro wellpoint alla quota di dimensionamento (1,5 m al di sotto della quota di fondo scavo)	Fasi d'installazione: Infissione attraverso alta pressione
	Fig 4



Fig.4 Infissione delle punte wellpoint con getti ah alta pressione

Sistema di scarico delle acque emunte	
Fig 5	Fig 6



Fig.5 Emungimento e scarico delle acque con una pompa autodescante



Fig.6 Sistema di scarico delle acque emunte

7.2 Drenaggio per la posa di un metanodotto mediante impianti misti: wellpoint con filtri da ghiaia e pozzi auto-affondanti.

Generalmente la posa di un metanodotto sotto falda rappresenta ai fini del dimensionamento dei sistemi di drenaggio un contesto molto complesso, in quanto tali opere interessano per estensione aree di diverse condizioni idrogeologiche. Il caso di seguito descritto è un esempio significativo di quanto appena detto, infatti in fase progettuale è stato fondamentale conoscere la stratigrafia e le caratteristiche dell'acquifero interessato lungo tutta la tratta di posa della tubazione DN 400. Dalle indagini puntuali (prove puntuali di permeabilità, sondaggi meccanici, carotaggi e prove penetrometriche) sono emerse condizioni idrogeologiche fortemente diverse per permeabilità, portate di filtrazione e litologia del terreno.

A. Trincea di posa della linea di Metanodotto

Dati di progetto

- Lunghezza complessiva : 8 km
- Fondo scavo medio di posa tubazione: -4,00 m da p.c
- Livello della falda indisturbata: da -1,20 a -3,90
- Stratigrafia: limi-sabbie fini-argille e ghiaie grossolane

B. Camerette di Spinta per attraversamenti

Dati di progetto

- Area camerette : 225 mq
- Fondo scavo medio di posa tubazione: -4,50 mt da p.c
- Livello della falda indisturbata: da -1,20 mt a -3,90 mt
- Stratigrafia: limi-sabbie fini-argille e ghiaie grossolane

La variabilità della litologia del terreno interessato e delle escursioni della falda lungo l'intera tratta ha suggerito l'utilizzo di impianti di drenaggio misti costituiti da impianti wellpoint (zone sabbiose-argillose e limose) disposti lungo la trincea di posa della tubazione a circa 2 metri dal ciglio della scarpata con aste wellpoint lunghe 5,50 metri con interasse di 1,50 metri, e pozzi di emungimento modulari autoaffondanti nelle tratte di terreno caratterizzate da ghiaie grossolane con interasse di 15 metri e profondità 5,00 metri. A causa dell'assenza di

disponibilità di corrente elettrica sia gli impianti wellpoint che i pozzi modulari sono stati collegati a motopompe ad alimentazione diesel munite di depressore che garantivano attraverso delle valvole di flussaggio, sondine di regolazione di livello piezometrico e regolazione delle portate, il mantenimento a regime degli impianti wellpoint e dei pozzi in modo da garantire le corrette portate di emungimento e il corretto funzionamento delle pompe. Lo scarico delle acque derivanti dall'emungimento era garantito dalla vicinanza di numerose rogge di capacità idraulica sufficiente da smaltire l'afflusso d'acqua.



Fig.7 Drenaggio durante i lavori di posa di un metanodotto

BIBLIOGRAFIA

- Simone Zanessi, *Tecnologie per il drenaggio*, Editrice La Fiaccola, Supplemento Rivista Costruzioni, Milano 2008- Download da <http://www.itwww.it/2454052.pdf>
- Bringiotti M., Bottero D., *Consolidamenti & Fondazioni*, Ed. PEI.
- Zanessi S., *Analisi dei criteri di abbassamento delle falde*, Università degli Studi di Padova – Facoltà d'Ingegneria, Tesi di laurea, anno accademico 2002-2003
- Chiesa G., *Pozzi per acqua*, Hoepli, Milano, 1986.
- Chiesa G., *Prosciugamento delle falde*, Geo-Graph.
- Lancellotta R., *Geotecnica*, Zanichelli, Bologna, 1997