



*Direzione Ingegneria
Area Standard Infrastrutture
Area Tecnologia dei Materiali*

Scavi in presenza di falda Cenni di teoria e linee guida progettuali

*A cura di:
Ing. Anna Maria Memoli*

Geol. Alfredo De Giovanni

*Il Responsabile Area SININ
Ing. Antonio Carbonara*

*Il Responsabile Area TEMIN
Ing. Giuseppe De Stefano*

*Visto: Il Direttore
Ing. Andrea Volpe*

Edizione novembre 2019

INDICE

1. PREMESSA	3
2. GENERALITÀ	3
3. IL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ E CENNI SULL'EQUAZIONE GENERALE DEL FLUSSO.	6
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DEI TERRENI NELLA ZONA D'INTERVENTO	7
5. CARATTERISTICHE DEL TERRENO	8
6. VALUTAZIONE DELLA PORTATA DA AGGOTTARE - METODI DI DRENAGGIO.....	10
6.1. POMPE DI AGGOTTAMENTO - SCAVI IN ACQUA	13
6.2. WELLPOINT	14
6.3. DRENAGGI ORIZZONTALI.....	20
6.4. POZZI.....	21
6.5. SCAVI CON PARATIE/DIAFRAMMI	23
6.5.1. DIAFRAMMA SEMPLICE CON SCAVO.....	24
6.5.2. DIAFRAMMA DOPPIO CON SCAVO.....	24
6.6. SISTEMI DI INIEZIONE.....	26
6.6.1. INIEZIONI IN ROCCIA.....	26
6.6.2. INIEZIONI IN TERRENI SCIOLTI.....	27
6.6.3. LE MISCELE	28
7. RECAPITI FINALI PER LE ACQUE DI FALDA	29

1. Premessa

La presente linea guida si prefigge lo scopo di esaminare gli aspetti geotecnici principali sia di carattere progettuale sia esecutivo tipici delle opere che prevedano l'esecuzione di scavi con presenza di falda, in particolare la falda freatica.

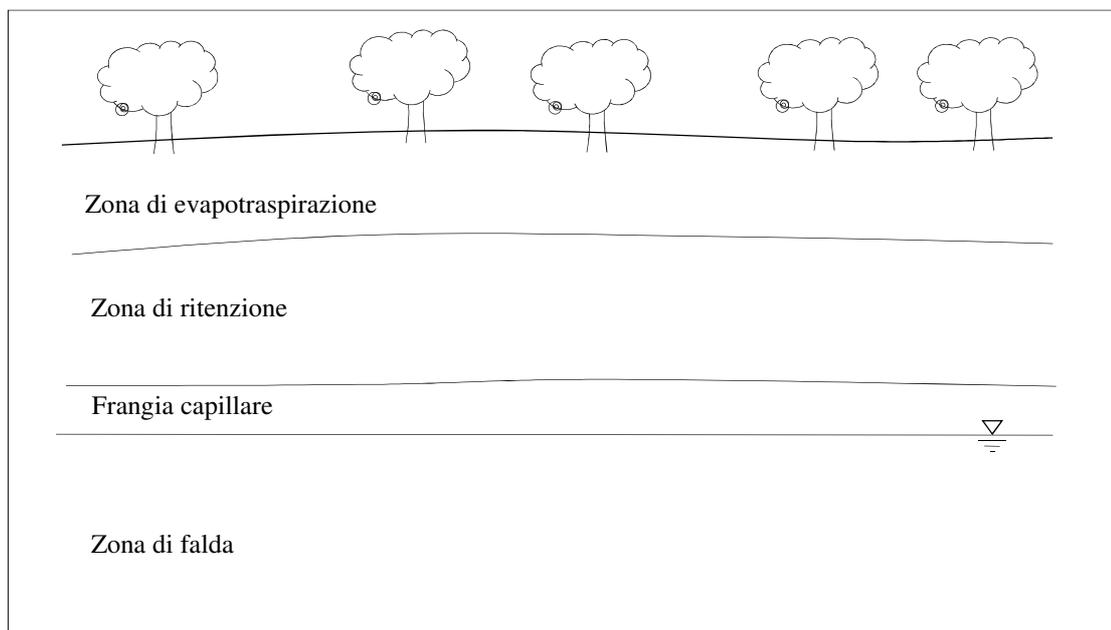
La linea guida intende fornire indicazioni tecniche sulle prove di carattere geotecnico e idrogeologico necessarie alla caratterizzazione dell'intervento e individuare le soluzioni tecniche più idonee per la progettazione e l'esecuzione delle opere.

In particolare si esamineranno le modalità per eseguire il drenaggio degli scavi o la loro impermeabilizzazione, fornendo elementi che consentano l'individuazione della più corretta metodologia/tecnologia da adottare per garantire lo "scavo in asciutto", sulla base delle caratteristiche del sottosuolo e della stima della portata da emungere.

2. Generalità

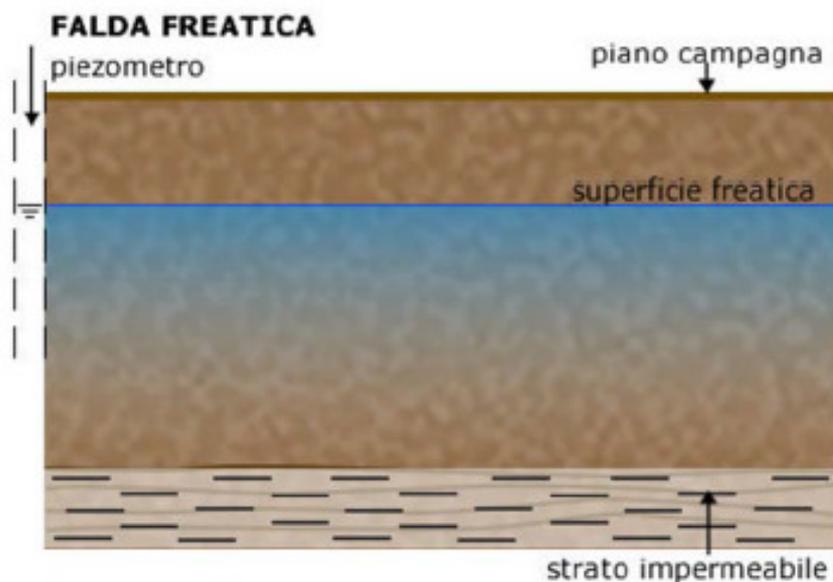
L'acqua distribuita dalle precipitazioni meteoriche sulla superficie terrestre in parte va ad alimentare corsi d'acqua, laghi e mari ed in parte si infiltra nel sottosuolo andando ad occupare i vuoti più o meno grandi (dalle cavità sotterranee agli interstizi tra i granelli di terra) presenti nel terreno e nelle rocce.

Al di sotto della superficie del terreno possiamo distinguere più strati, dall'alto verso il basso:



- Lo strato più superficiale è denominato zona di evapotraspirazione, in questa porzione del terreno l'acqua di infiltrazione è utilizzata dalle piante che la assorbono attraverso le radici;
- Al di sotto di questo strato troviamo la zona di ritenzione; nella quale l'acqua presente è aderente ai grani di terreno come acqua adsorbita o pellicolare.

- La zona sottostante è denominata frangia capillare perché caratterizzata dalla risalita dell'acqua sottostante grazie alla tensione superficiale che consente di vincere la forza di gravità.
- Lo strato di fondo è definito falda freatica o falda libera ed è caratterizzato da un livello di saturazione pari al 100%. L'acquifero così costituito è normalmente caratterizzato dalla presenza di uno strato inferiore di terreno impermeabile, o che permette un flusso trascurabile.

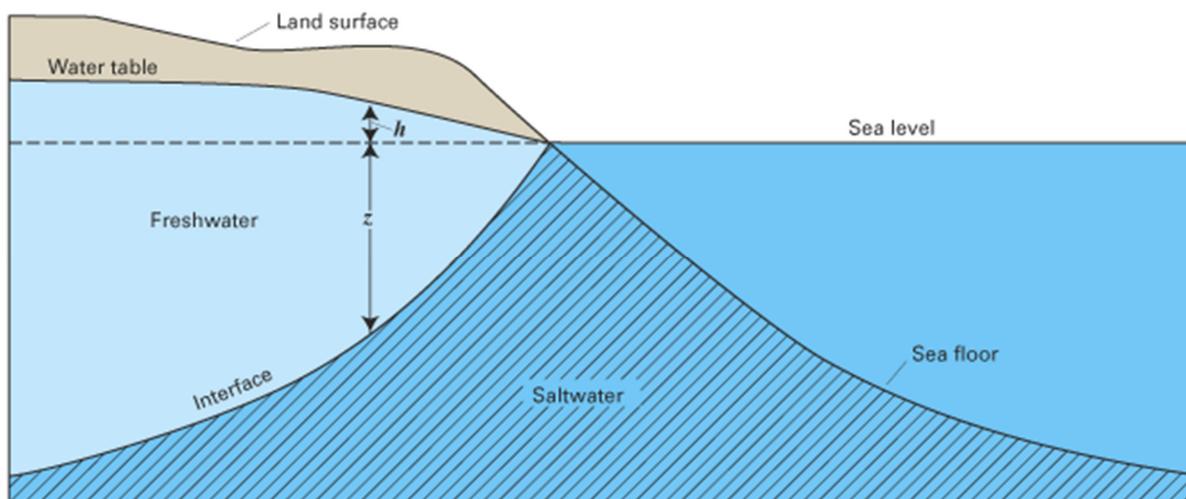


La falda è delimitata superiormente dalla superficie freatica in corrispondenza della quale l'acqua si trova alla pressione atmosferica. Se inseriamo un tubo aperto all'interno della falda (piezometro) il livello d'acqua raggiunto nel tubo è in corrispondenza della superficie freatica.

Di norma la superficie piezometrica si trova al di sotto del piano di campagna, pertanto la pressione non è sufficiente a far affiorare spontaneamente l'acqua in superficie e l'estrazione dell'acqua in una falda freatica è generalmente realizzata attraverso sistemi di emungimento da pozzo.

Tipica della Puglia è la condizione in cui viene a trovarsi una falda freatica in zone costiere geologicamente costituite da rocce permeabili nella quale l'acquifero costituito da acqua dolce, alimentato dalle precipitazioni meteoriche, in virtù della densità minore dell'acqua dolce rispetto all'acqua salata, flotta sull'acqua marina sottostante¹.

¹ Influenza dell'acqua marina sulle falde acquifere in zone costiere, con particolare riferimento alle ricerche d'acqua sotterranea in Puglia - V. Cotecchia - 1955.



I lavori che prevedono la realizzazione di opere al servizio di insediamenti in prossimità della linea di costa (le cosiddette marine) intercettano sistematicamente la falda freatica (o in qualche caso anche debolmente in pressione) la cui superficie piezometrica è sempre superiore al livello medio del mare.

Si tenga presente inoltre che sia le tecniche di aggotamento degli scavi sia le tecniche di impermeabilizzazione hanno carattere temporaneo; concluse le operazioni di scavo e posa o realizzazione delle opere, l'acqua torna ad occupare il proprio spazio naturale nel terreno al di sotto della linea di falda.

Gli interventi previsti in progetto devono garantire le migliori condizioni di lavoro all'interno degli scavi, ossia condizioni che eliminino o riducano i fenomeni di:

- allagamento dei cavi;
- franamento delle pareti di scavo;
- sifonamento/sollevamento al fondo dello scavo;
- spinta d'Archimede con pericolo di galleggiamento delle opere di fondazione;
- rischi legati alla sicurezza personale di coloro che si trovano ad operare negli scavi (es. rischio seppellimento).

Al fine di poter stabilire le migliori tecniche di drenaggio o di impermeabilizzazione e la conseguente sicurezza degli scavi durante le lavorazioni, è fondamentale per il progettista e l'esecutore dell'opera conoscano l'esatta natura dell'acquifero e dei terreni attraversati per mezzo delle opportune indagini di carattere geognostico e idrogeologico.

Le indagini conoscitive dei terreni potrebbero, ad esempio, rilevare la presenza di uno strato di terreno impermeabile, quale l'argilla, a sua volta tetto di una falda in pressione (falda artesianica). Uno scavo eseguito in tali condizioni potrebbe comportare una rottura della falda ed il conseguente fenomeno di sifonamento. Il caso anzi detto, tuttavia, non viene contemplato nella presente trattazione, in quanto si è convenuto di approfondire la casistica più diffusa a livello locale, ossia quella della falda freatica.

Il processo conoscitivo che porta alla definizione delle tecniche più appropriate per consentire le lavorazioni in scavi asciutti anche in presenza di falda si articola, in sostanza, nelle seguenti fasi:

- inquadramento della zona d'intervento;
- raccolta di dati sulle caratteristiche idrologiche e geomorfologiche del terreno;
- analisi idrogeologica finalizzata alla stima delle portate di emungimento;

- stima delle portate;
- scelta delle tecniche di drenaggio o impermeabilizzazione da utilizzare.

3. Il coefficiente di permeabilità e cenni sull'equazione generale del flusso.

Il moto di filtrazione all'interno di un acquifero è governato dalla differenza di carico piezometrico tra due punti distinti.

Gli studi di Darcy hanno permesso di osservare che, in condizioni di moto laminare (che sono tipicamente quelli che si verificano all'interno degli acquiferi in virtù delle dimensioni degli interstizi), la velocità di filtrazione in un terreno permeabile è direttamente proporzionale alla perdita di carico e inversamente proporzionale alla lunghezza del percorso.

$$v = \frac{Q}{S} = k \frac{\Delta h}{L} = k \cdot i \quad \text{legge di Darcy}$$

nella quale:

v = velocità apparente del filetto liquido

Q = portata in una determinata sezione

S = sezione

Δh = differenza di carico idraulico

L = distanza

k = coefficiente di permeabilità

i = gradiente idraulico

Va tuttavia considerato che la permeabilità di un terreno ha generalmente caratteristiche anisotrope lungo le tre dimensioni dello spazio, pertanto la legge di Darcy può essere scritta:

$$v_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} = -k_x \cdot i_x$$

$$v_y = -k_y \frac{\partial h}{\partial y} = -k_y \cdot i_y$$

$$v_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z} = -k_z \cdot i_z$$

Il coefficiente di permeabilità o conducibilità idraulica "k" è pertanto la costante che lega la velocità apparente del flusso liquido al gradiente idraulico dell'acquifero. Il campo di variazione del coefficiente di permeabilità nei terreni è molto grande ed è influenzato da molti fattori oltre che dalla morfologia.

Per terreni a grana grossa (sabbia e ghiaia), con particelle di natura subsferica, il coefficiente di permeabilità è influenzato prevalentemente dalla granulometria.

Per terreni a grana fine il coefficiente k, oltre che dalla granulometria, è influenzato dalla composizione mineralogica e dal grado di saturazione.

In grande scala, il coefficiente di permeabilità può essere largamente condizionato dalle discontinuità nel terreno come livelli stratigrafici differenti, presenza di cavità, faglie o fessurazioni.

Tipo di terreno	Intervallo dei valori di K [m/s]	
Ghiaia pulita	10^{-2}	1
Sabbia grossolana	10^{-5}	10^{-2}
Sabbia fine	10^{-6}	10^{-4}
Sabbia con limo e argilla	10^{-9}	10^{-5}
Limo	10^{-8}	10^{-6}
Argilla omogenea	10^{-10}	10^{-9}
Roccia compatta	10^{-12}	10^{-10}

Valori tipici di permeabilità

Le formule che descrivono il moto di filtrazione all'interno dei terreni sono equazioni differenziali la cui soluzione non è banale. Esse tengono conto della anisotropia del mezzo, del grado di saturazione del terreno e della variazione del moto di che avviene nel mezzo. A scopo informativo si riporta l'equazione generale del flusso così rappresentata:

$$\left(k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) = \frac{e}{1+e} \left(e \frac{\partial S_r}{\partial t} + S_r \frac{\partial e}{\partial t} \right)$$

nella quale:

k_x, k_y, k_z = coefficienti di permeabilità nelle tre direzioni dello spazio;

h = altezza piezometrica;

e = indice dei vuoti del mezzo poroso

S_r = grado di saturazione del mezzo poroso

Nel caso di moto permanente, in un mezzo incompressibile, omogeneo e isotropo l'equazione generale del flusso si semplifica nell'equazione di Laplace.

$$\left(k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) = 0$$

4. Inquadramento geomorfologico e idrogeologico dei terreni nella zona d'intervento

In fase di progettazione, a partire dalla localizzazione geografica dell'opera da realizzare (puntuale o lineare) è importante individuare con accuratezza le caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche dei terreni interessati.

In fase di ricognizione preliminare possono essere d'aiuto gli strumenti di piano regionale. In particolare, il Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia, nel quale sono censiti e caratterizzati i corpi idrici della regione, consente l'identificazione in prima istanza delle falde sotterranee presenti nel sottosuolo e l'inquadramento del problema dal punto di vista idrogeologico (<http://webapps.sit.puglia.it/freewebapps/ConsultaPubbPTA2019/>).

In tali documenti tutti gli acquiferi del sottosuolo regionale vengono infatti tipizzati e definiti per estensione geografica e caratteristiche geologiche e litologiche.

è anche possibile stimare, con un certo grado di approssimazione, anche utilizzando le tabelle e abachi presenti in letteratura, la permeabilità del terreno.

Tuttavia, poiché il coefficiente di permeabilità può assumere valori estremamente variabili è sempre necessario determinarlo con accuratezza in quanto una sua stima errata determina incertezze di valutazione in misura maggiore rispetto ad altri parametri geotecnici.

Ai fini progettuali, tuttavia, la permeabilità deve essere determinata (a seconda dei gradi di precisione desiderato) mediante le seguenti prove da effettuare secondo i metodi proposti nelle “Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche” pubblicate dall’AGI nel 1977:

- prove in foro di sondaggio tipo Lefranc a carico costante o variabile;
- prove in foro di sondaggio tipo Lugeon in presenza di roccia;
- prove di laboratorio (per terreni fini).

<i>K</i> [m/s]	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
PERMEABILITÀ	alta		media			bassa	molto bassa		impermeabile			
DRENAGGIO	buono					povero			praticamente nullo			
TERRENO	ghiaie pulite		sabbie pulite e miscele di ghiaie e sabbie pulite		sabbie fini, limi, miscele di sabbie, limi e argille, depositi di argille stratificati			Argille alterate		Argille omogenee non alterate		
MISURA DIRETTA	Prova in foro di sondaggio (delicata esecuzione; misura locale) Prova di pompaggio (delicata esecuzione; significativa)											
	Permeometro a carico costante (facile esecuzione)					Permeometro a carico variabile						
STIMA INDIRETTA	curva granulometrica (solo per ghiaie e sabbie pulite)					facile esecuz.; significativa		delicata esecuz.; poco significativa		delicata esecuz.; molto poco significativa		
						Piezometro; Pressiometro; Piezocono (delicata esecuzione; misura locale)						
											prova edometrica	

Tabella indicativa per diverse prove di permeabilità

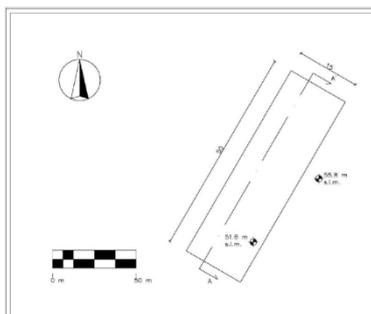
Un accurata stima del coefficiente di permeabilità e dell’altezza del battente idraulico permettono di stimare il valore della portata d’acqua da aggottare dai terreni oggetto di scavo.

In sintesi, al fine di determinare il livello della falda, la tipologia di terreno con le relative successioni stratigrafiche, ed infine la portata da aggottare dalle opere di scavo, si consigliano le seguenti attività:

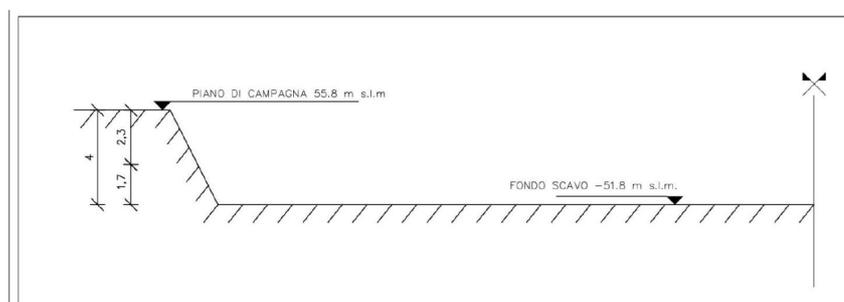
- la consultazione approfondita di tutte le carte geologiche relative alla permeabilità, disponibili nell’ambito degli strumenti di Piano Regionale;
- l’esecuzione di piccoli saggi in sito (mediante utilizzo di escavatore) per il monitoraggio locale del fenomeno di filtrazione;
- determinazione della permeabilità mediante l’esecuzione (secondo le norme AGI 1977) di prove in foro di sondaggio (tipo Lefranc a carico costante e variabile o Lugeon) o prove di laboratorio.

6. Valutazione della portata da aggottare - Metodi di drenaggio

Per la determinazione della portata da allontanare è elemento indispensabile la geometria dello scavo interessato dalla presenza di falda. Pertanto è necessario definire con chiarezza l'estensione planimetrica e la profondità dello scavo rispetto al piano campagna ed in rapporto alla superficie piezometrica della falda.



Planimetria dello scavo



Sezione A-A dello scavo

Definite le caratteristiche dimensionali dello scavo di progetto e il battente idraulico che si andrà a generare rispetto alla superficie freatica, è necessario procedere alla determinazione delle caratteristiche di permeabilità del terreno secondo le prove descritte.

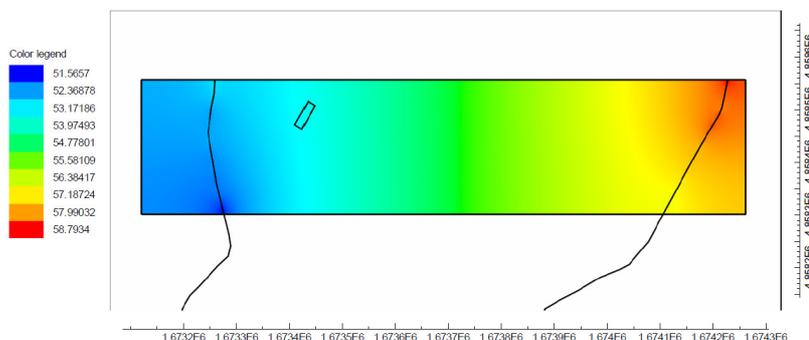
Poiché l'equazione di Laplace è un'equazione differenziale di non facile soluzione, per lo studio del moto di filtrazione nell'acquifero potranno essere utilizzati modelli idraulici che riproducono la filtrazione del sottosuolo.

L'utilizzo di programmi di modellazione della filtrazione all'interno degli acquiferi permette la ricostruzione del fenomeno in maniera spaziale. Come dato di input è richiesto il modello tridimensionale del terreno discretizzato in micro celle. Ciascuna porzione ha caratteristiche di isotropia e omogeneità. Il moto di filtrazione è studiato in condizioni di moto permanente (o stazionario).

Tale modalità di calcolo è possibile anche in presenza nel sottosuolo di roccia fessurata, allorquando le fratture nell'ammasso roccioso abbiano una regolarità geometrica tale da rendere l'acquifero oggetto di studio identificabile con delle caratteristiche di conducibilità idraulica uguale per ogni punto. Se, diversamente, le fratture hanno caratteristiche di irregolarità, per evidente eterogeneità delle fessure, il comportamento reale dei moti di filtrazione in falda è imprevedibile e diventa difficile ricostruire il fenomeno di filtrazione attraverso un modello idraulico del sottosuolo.

In questi casi è inutile procedere con la modellazione e si consiglia di adottare senza riserve la metodologia dello scavo in acqua, affrontato nei paragrafi successivi.

Nella figura successiva si riporta, a titolo illustrativo, la distribuzione di un battente idraulico di falda in relazione alla zona di intervento elaborata con un modello matematico del tipo Model Muse.



Battente idraulico della falda nella zona elaborata con Model Muse

Una volta dunque individuato l'andamento della falda nell'area di indagine e definite le dimensioni dello scavo, è possibile definire con certezza il battente idraulico da abbattere.

Per motivi di sicurezza, si assumerà un franco di un metro sul battente idraulico da deprimere. Pertanto si pianificherà l'aggottamento in modo che la superficie freatica si abbassi di un metro al di sotto della quota del fondo dello scavo.

Esistono delle formule analitiche per la stima della portata da aggottare. Tali formule cambiano in base alla tecnica di drenaggio da utilizzare.

Nella scelta del metodo più idoneo di drenaggio devono essere considerati i seguenti parametri:

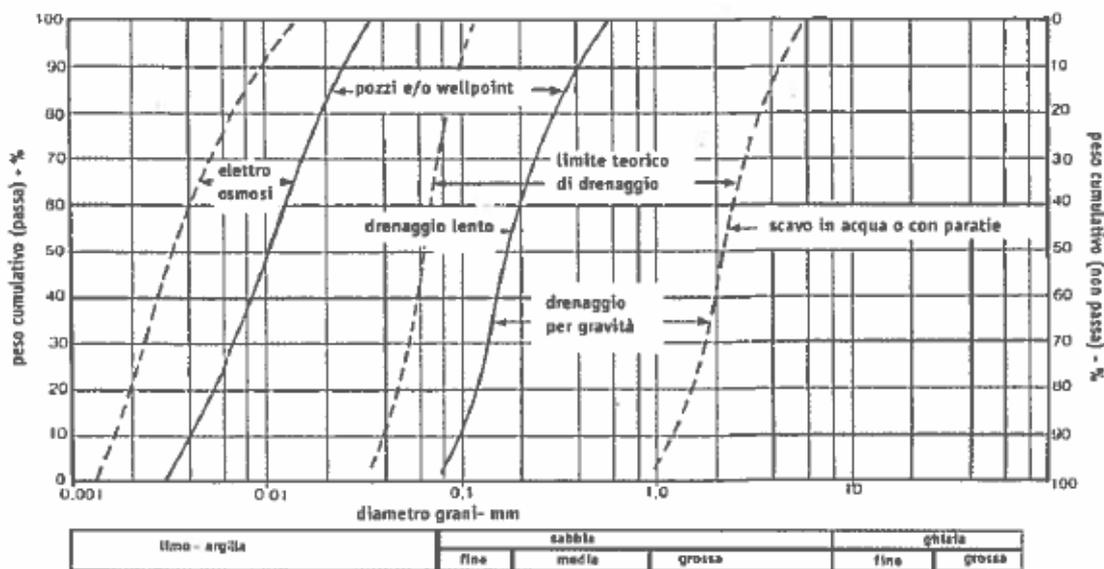
- le dimensioni degli scavi in progetto;
- le caratteristiche granulometriche del terreno ed il valore della permeabilità;
- l'entità dell'abbassamento della superficie freatica e il gradiente idraulico che si crea verso lo scavo;
- lo spessore della falda;
- la potenza elettrica necessaria e la capacità ricettiva dei corpi idrici superficiali destinati al recapito delle acque.

Esistono, in letteratura, alcune tabelle/abachi che, in base al tipo di terreno, alla permeabilità ed alla profondità dell'intervento, portano alla veloce individuazione delle metodologie di drenaggio più idonee.

Si riportano di seguito due esempi di tabelle/abachi utilizzati per la definizione delle tecniche di drenaggio.

Soil type	Average particle size (mm)	Coefficient of permeability (m/sec)	Suitable dewatering depth					
			4 m	8 m	12 m	16 m	20 m	24 m
Coarse gravel	60 ~ 20	> 1						
Medium gravel	20 ~ 6	> 1						
Fine gravel	6 ~ 2	$+10^{-1}$						
Coarse sand	2 ~ 0.5	$>10^{-2}$						
Medium sand	0.5 ~ 0.2	$>10^{-3}$						
Fine sand	0.2 ~ 0.05	$>10^{-4}$						
Coarse silt	0.05 ~ 0.02	$>10^{-5}$						
Medium silt	0.02 ~ 0.005	$>10^{-6}$						
Fine silt	0.005 ~ 0.002	$>10^{-7}$						
Clays	< 0.002	$<10^{-7}$						
Suggested dewatering method			Open sump method Well point method Vacuum well point method Electro-osmosis method Deep well method Deep wells + auxiliary vacuum pumps					

Metodi di drenaggio consigliati in relazione al tipo di materiale e all'abbassamento della falda



Metodi di prosciugamento in relazione alla granulometria (*Prosciugamento delle falde, G. Chiesa*)

Le tecniche più diffuse per l'effettuazione del drenaggio di acque di falda dagli scavi sono:

- pompe di aggotamento;
- sistemi di well-point;
- dreni orizzontali;
- pozzi.

Inoltre si può ricorrere anche a diaframmi/paratie o iniezioni di idonee miscele.

6.1. Pompe di aggotamento - Scavi in acqua

È il metodo di prosciugamento più semplice, meno costoso, più rapido e molto efficace se si opera in condizioni favorevoli, come il tipo e la granulometria del terreno e l'idrologia sotterranea.

È utilizzabile soprattutto per i casi in cui:

- gli scavi siano molto estesi e di non grande profondità al di sotto del livello stazionario dell'acqua
- terreni compatti coesivi e debolmente cementati, granulometricamente ben assortiti, privi di grani molto fini, come le miscele di ghiaia fine e di sabbia medio grossa, e argille purché non inglobate in lenti di sabbia acquifera.
- filtrazioni d'acqua laterali e dal fondo molto ridotte
- profondità di scavo limitate a 8 m

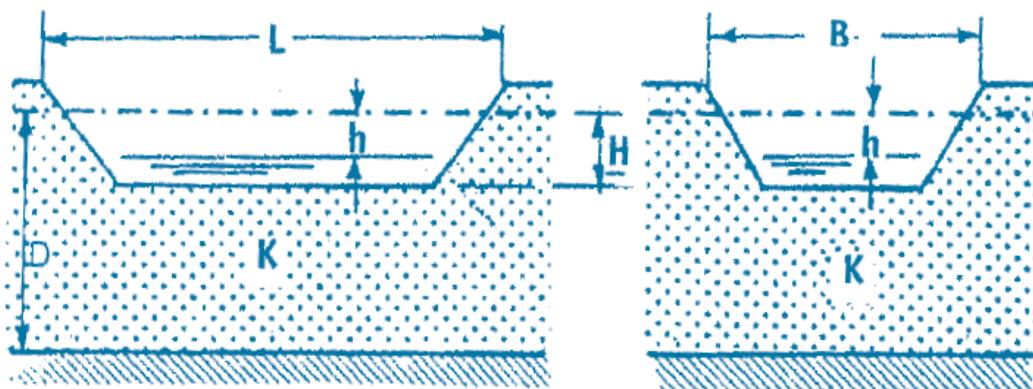
Per raccogliere ed asportare acqua dallo scavo si possono creare dei pozzetti di raccolta (sentine) quasi sempre in corrispondenza degli angoli delle sponde in cui installare pompe. In questi casi è molto importante la scelta della pompa (da cui dipendono anche le dimensioni del pozzetto), quasi sempre si opera con metodo osservazionale e non è esclusa l'eventualità che si debbano sostituire, anche più volte tali pompe con pompe di maggiori portate.

Se la portata che filtra all'interno dello scavo è tale da non poter essere raccolta in pozzetti, tutto lo scavo diventa un pozzo di raccolta e si dovrà operare con più pompe in diversi punti nel fondo dello scavo.

Assumendo che lo scavo abbia una forma ellittica con gli assi di dimensioni L e B la portata da aggotare potrà essere stimata con la formula:

$$Q = C \cdot k \cdot h \frac{B}{2}$$

nella quale il valore di C è desumibile dalla tabella seguente, ponendo $p=L/B$ e $q=2H/B$.



q	P																		
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	15	20
0,0	4,00	4,38	4,76	5,12	5,46	5,80	6,60	7,42	8,13	8,80	9,50	10,24	11,74	13,14	14,46	14,72	16,98	22,98	28,62
0,2	4,50	4,88	5,26	5,62	6,00	6,32	7,16	7,98	8,72	9,42	10,12	10,88	12,38	13,90	15,24	16,58	17,88	24,14	29,90
0,4	4,96	5,36	5,74	6,12	6,46	6,84	7,70	8,56	9,34	10,02	10,76	11,50	13,18	14,62	16,00	17,34	18,70	25,04	31,04
0,6	5,42	5,82	6,20	6,58	6,94	7,32	8,18	9,02	9,96	10,70	11,42	12,14	13,62	15,28	16,70	18,08	19,46	25,96	32,10
0,8	5,86	6,26	6,66	7,04	7,44	7,76	8,72	9,50	10,30	11,14	12,04	12,80	14,40	15,92	17,36	18,80	20,20	26,84	33,10
1,0	6,28	6,70	7,10	7,50	7,89	8,26	9,18	10,08	10,94	11,80	12,62	13,42	15,00	16,52	18,00	19,46	20,80	27,60	34,00
1,2	6,70	7,12	7,52	7,90	8,28	8,68	9,60	10,54	11,38	12,14	12,94	13,82	15,62	17,12	18,62	20,10	21,56	28,44	34,92
1,4	7,10	7,52	7,94	8,34	8,72	9,12	10,06	10,98	11,98	12,69	13,50	14,32	16,04	17,68	19,22	20,72	22,20	29,20	35,78
1,6	7,50	7,90	8,34	8,76	9,16	9,54	10,50	11,46	12,34	13,18	14,02	14,88	16,58	18,18	19,58	21,32	22,82	29,92	36,60
1,8	7,88	8,28	8,72	9,16	9,58	9,98	10,95	11,88	12,82	13,70	14,52	15,40	17,10	18,66	20,12	21,62	23,44	30,62	37,40
2,0	8,26	8,68	9,12	9,54	9,98	10,40	11,38	12,34	13,26	14,16	15,00	15,88	17,64	19,20	20,68	22,16	23,64	31,32	38,16
2,5	9,18	9,60	10,06	10,50	10,94	11,38	12,42	13,40	14,36	15,30	16,18	17,10	18,82	20,52	22,12	23,58	25,04	31,96	40,02
3,0	10,08	10,54	10,98	11,46	11,88	12,34	13,40	14,44	15,40	16,38	17,30	18,24	20,02	21,72	23,38	25,08	26,56	33,88	41,74
3,5	10,94	11,38	11,88	12,34	12,82	13,26	14,36	15,40	16,44	17,42	18,38	19,32	21,16	22,94	24,64	25,30	27,94	35,28	42,78
4,0	11,88	12,14	12,68	13,18	13,70	14,16	15,30	16,38	17,42	18,46	19,42	20,40	22,26	24,08	25,84	27,56	29,16	36,82	44,12
4,5	12,62	12,94	13,50	14,02	14,52	15,00	16,18	17,30	18,38	19,42	20,40	21,46	23,34	25,20	27,00	28,74	30,52	38,50	45,54
5,0	13,42	13,82	14,32	14,88	15,40	15,88	17,10	18,24	19,32	20,40	21,46	22,40	24,42	26,34	28,14	29,90	31,64	39,92	47,06
6,0	15,00	15,62	16,04	16,58	17,10	17,64	18,82	20,02	21,16	22,26	23,34	24,22	26,40	28,40	30,30	31,14	34,02	42,36	50,44
7,0	16,52	17,12	17,68	18,18	18,66	19,20	20,52	21,72	22,94	24,08	25,20	25,34	28,40	30,40	32,42	34,32	36,22	45,08	53,06
8,0	18,01	18,62	19,22	19,58	20,12	20,68	22,12	23,38	24,64	25,84	27,00	28,14	30,30	32,42	34,60	36,46	38,36	47,30	55,88
9,0	19,46	20,10	20,72	21,32	21,62	22,16	23,58	25,08	26,30	27,56	28,74	29,90	32,14	34,32	36,46	38,60	40,44	49,76	58,40
10	20,88	21,56	22,20	22,82	23,44	23,84	25,04	26,56	27,94	29,16	30,52	31,64	34,02	36,22	38,36	40,44	42,60	51,88	60,66
15	27,65	28,44	29,20	29,82	30,62	31,32	32,96	33,88	35,28	36,82	38,50	39,92	42,36	45,08	47,30	49,76	51,88	62,60	72,02
20	34,02	34,92	35,78	36,60	37,40	38,16	40,02	41,74	42,78	44,12	45,54	47,06	50,44	53,06	55,58	58,40	60,66	72,02	82,60

Tabella tratta da Tecnologie per il drenaggio QUADERNI TECNICI - COLLANA DI PRATICA EDILE E IMPIANTISTICA Casa Editrice La Fiaccola Srl Milano

6.2. Wellpoint

Con il termine *wellpoint*, parola inglese dal significato letterale “punta da pozzo”, si intende il metodo di drenaggio attraverso pozzi di veloce realizzazione, oggi pienamente riconosciuto come il più diffuso, il più efficace ed il più economico per l'abbassamento e il controllo del livello di falda all'interno degli scavi in presenza di terreni sciolti permeabili per porosità (limi, sabbie, ghiaie fini). Il metodo presenta alcuni limiti applicativi legati alla larghezza e alla profondità dello scavo.

Dal punto di vista tecnologico i *wellpoint* sono costituiti da punte perforanti e filtranti (i veri e propri *wellpoint*) e una o più pompe corredate di depressore.

I pozzi di un impianto di *wellpoint* sono connessi da una rete di collettori di aspirazione orizzontali a cui sono collegati, per mezzo di raccordi flessibili, dei tubi di sollevamento verticali che, all'estremità, hanno un filtro (il *wellpoint*).

I collettori sono posti in depressione con una o più pompe che assicurano, per mezzo di un funzionamento continuo e ininterrotto, l'emungimento dell'acqua di falda.

Il principio di funzionamento si fonda sulla deviazione del flusso di falda in direzione di elementi filtranti messi in depressione dalla pompa. L'impianto *wellpoint*, quando in funzione, provoca un abbassamento della falda freatica creando un cono di influenza raffigurato in una porzione di terreno drenato a forma di cono rovesciato.

In rapporto alla stratigrafia del terreno e del tipo di scavo, i *wellpoint* possono essere posti in opera con modalità diverse: ad anello chiuso; ad “U”; esterno a paratie; lineare laterale; lineare centrale; a gradoni; laterale a rotazione.

L’infissione dei *wellpoint* in terreni sabbiosi avviene per mezzo dell’azione di un gruppo *jetting* a pressione d’acqua.

Nei terreni stratificati, invece, si procede all’infissione con l’ausilio di una trivella meccanica.

Il limite d’impiego di tale sistema è rappresentato dalla presenza di terreni a granulometria elevata ad alta permeabilità, con difficoltà a deprimere la falda con portate accettabili.

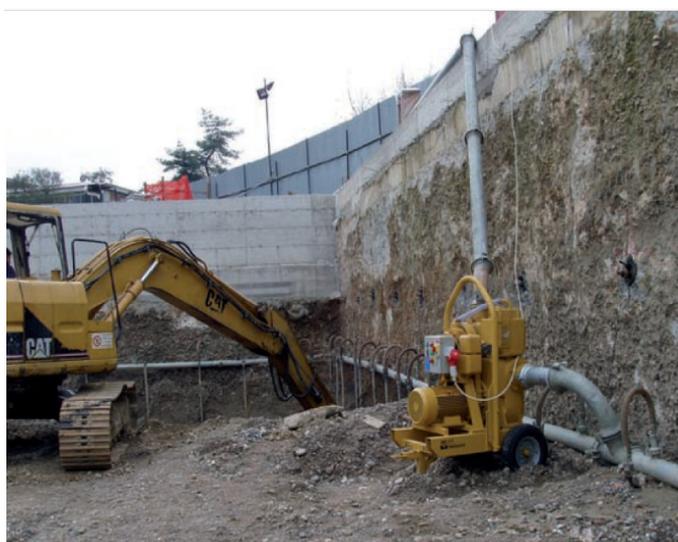
Per installare un *wellpoint* si realizza un foro con una trivella e si fa scorrere il *wellpoint* nel foro stesso. A seguire, si collega il *wellpoint* con una manichetta a una pompa *jetting* che pompa acqua calda in pressione, a sei atmosfere, sino alla testa del *wellpoint* stesso, in modo da stabilizzare la geometria.

In terreni a matrice fine e argillosi, per ottenere un migliore rendimento dell’impianto è necessario realizzare intorno al *wellpoint* un prefiltro di sabbia.

La parte filtrante del *wellpoint* è necessario che sia posizionata ad almeno 150 centimetri al di sotto della quota di base dello scavo, in modo da consentire un corretto drenaggio.

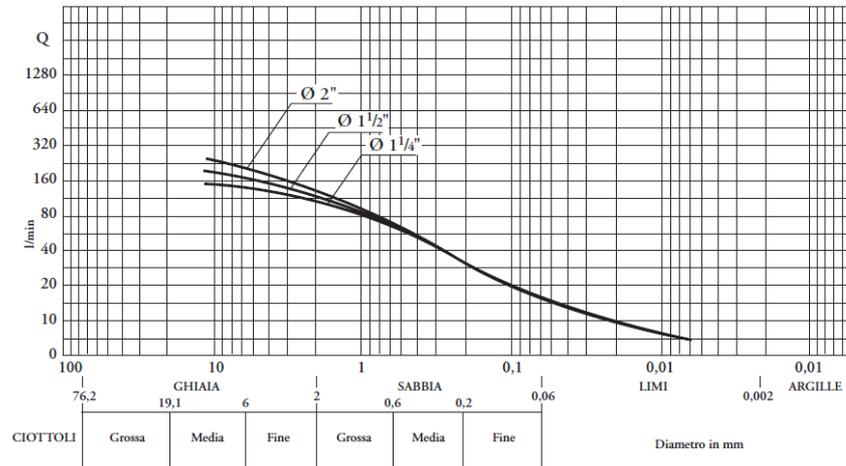
Nella circostanza di fronti di scavo oltre i 40 metri e di molta acqua, è possibile che al centro dello scavo ci sia una risalita di falda.

In presenza di terreni ghiaiosi, il richiamo d’acqua può abbassare la falda anche a 450 metri di distanza: si rende così necessario fare attenzione alla presenza di edifici limitrofi che potrebbero registrare cedimenti in fondazione a causa di subsidenza del terreno.

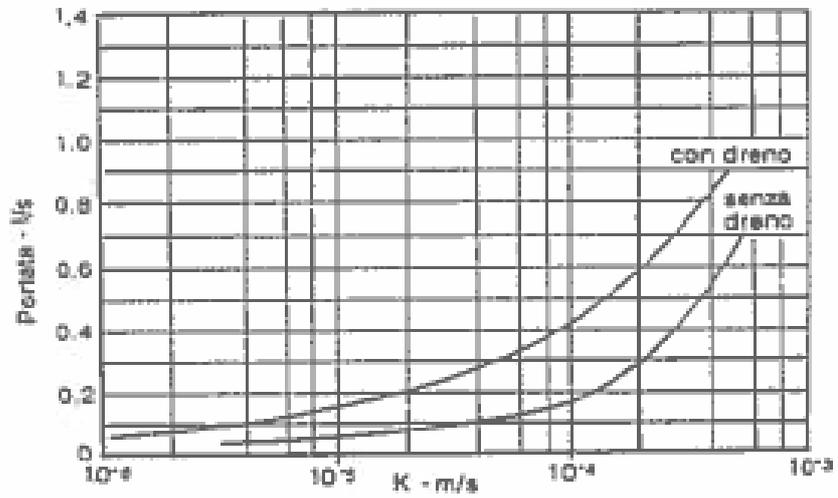


Impianti di wellpoint

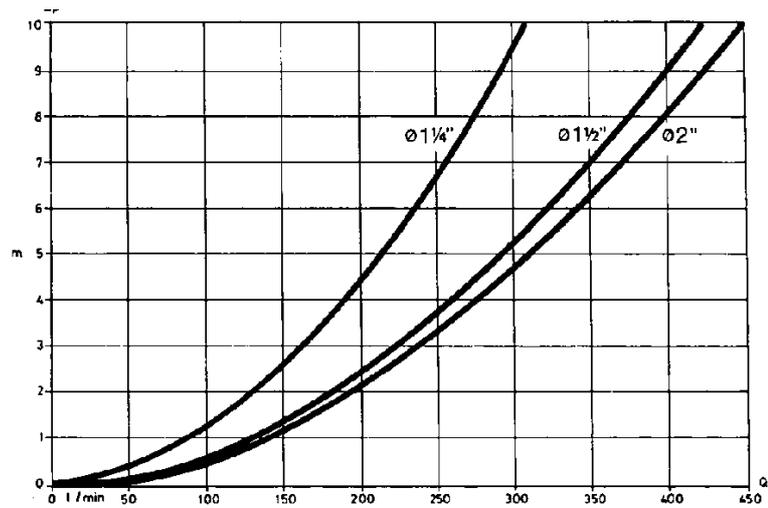
Il suo utilizzo presenta alcuni limiti perché si opera con pompe aspiranti che non possono abbassare il livello all’interno dei *wellpoint* di più di 7 m circa.



Portata emungibile dai wellpoint in funzione della granulometria del terreno (Prosciugamento delle falde, G. Chiesa)



Portata emungibile dai wellpoint in funzione della conducibilità idraulica del terreno (Prosciugamento delle falde, G. Chiesa)



Portata emungibile dai wellpoint in funzione dell'abbassamento (Prosciugamento delle falde, G. Chiesa)

I terreni fittamente stratificati, entro certi limiti, hanno un comportamento abbastanza simile e, agli effetti del drenaggio, la casistica relativa alle varie possibilità di stratificazione può essere ricondotta ad un modello unico. Le principali caratteristiche degli impianti wellpoint, distinte per tipo di terreno, sono evidenziate in alcune tabelle secondo la classificazione riportata nello specchio seguente.

Le tabelle a seguire sono tratte dal manuale tecnico di wellpoint Crewell e sono esplicative delle caratteristiche dell'impianto a seconda del tipo di terreno di sito.

Tabella N.	Tipo di terreno	Dimensioni mm	Permeabilità K cm/sec.
1	Sabbie grosse e ghiaio	0,5 - 6	10E-2 - 1
2	Sabbie medie	0,25 - 0,5	10E-3 - 10E-1
3	Sabbie fini	0,0625 - 0,25	10E-4 - 10E-2
4	Limi sabbiosi e argille limose	0,004 o inferiori	10E-7 - 10E-5

Tabella 3

Abbassamento falda	Area di drenaggio	Interasse wellpoints		Portata emungim. impianto	Gruppi aspiranti necessari		Potenza richiesta Kw		Tempo di drenaggio (ore)	
(m di H2O)	(m2)	1° stadio	2° stadio	(m3/h)	1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio
A = 1 m	100-2500	-	-	36 - 96	1	-	7,5	-	8-12	-
A = 2 m	100-2500	2,50 m	-	66 - 144	1	-	11	-	8-14	-
A = 3 m	100-2500	2,00 m	-	90 - 156	1	-	11	-	12-18	-
A = 4 m	100-2500	2,00 m	-	132 - 192	1	-	11	-	18-24	-
A = 5 m	100-2500	1,50 m	-	192 - 288	1-2	-	11-22	-	14-20	-
A = 6 m	100-2500	1,00 m	1,50 m	252 - 336	1	1	11	11	12-18	12-18
A = 7 m	100-2500	2,00 m	1,50 m	288 - 360	1	1	11	11	14-20	24-30
A = 8 m	100-2500	2,00 m	1,50 m	312 - 384	1	1	11	11	14-20	24-30
A = 9 m	100-2500	1,50 m	1,50 m	384 - 480	1	1-2	11	11-22	14-20	30-36
A = 10 m	-	1,00 m	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 4

Abbassamento falda	Area di drenaggio	Interasse wellpoints		Portata emungim. impianto	Gruppi aspiranti necessari		Potenza richiesta Kw		Tempo di drenaggio (ore)	
(m di H2O)	(m2)	1° stadio	2° stadio	(m3/h)	1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio
A = 1 m	100-2500	2,50 m	-	giu-48	1	-	6	-	24	-
A = 2 m	100-2500	2,00 m	-	set-54	1	-	6	-	24	-
A = 3 m	100-2500	2,00 m	-	dic-60	1	-	6	-	36	-
A = 4 m	100-2500	1,50 m	-	18 - 66	1	-	6	-	42	-
A = 5 m	100-2500	2,00 m	1,50 m	24 - 72	1	1	6	6	56	-
A = 6 m	100-2500	2,00 m	1,50 m	30 - 84	1	1	6	6	36	48
A = 7 m	100-2500	1,50 m	1,50 m	36 - 96	1	1	6	6	48	56
A = 8 m	100-2500	1,50 m	1,50 m	42 - 108	1	1	6	6	48	72
A = 9 m	100-2500	1,50 m	1,50 m	48 - 114	2	2	12	6	56	90
A = 10 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

6.3. Drenaggi orizzontali

Nella realizzazione di lunghe condotte extra-urbane, qualora fosse necessario deprimere e controllare il livello di falda per lunghi tratti di tracciato (anche di 1 Km) al fine di consentire un'elevata produzione giornaliera nei lavori di scavo, posa e rinterro delle tubazioni, si può far ricorso ai drenaggi orizzontali (quando le condizioni logistiche del cantiere, le dimensioni e la durata dei lavori lo consentano).

Con la tecnologia dei dreni orizzontali il drenaggio dei terreni viene ottenuto pompando l'acqua di falda attraverso una tubazione drenante flessibile di PVC.

Tale tubazione è micro fessurata e corrugata, di diametro variabile (generalmente \varnothing 125 mm), coperta da una garza di *nylon* anti-intasamento e posata ad una profondità superiore di circa 0,5 m a quella raggiunta dagli scavi. mediante l'utilizzo di una *trencher-machine* (posadreni).

In funzione di diversi modelli di *trencher*, la profondità di posa della tubazione varia tra 0,5 m e 7,0 m.

Dopo la posa di tratti di circa 100 m, una parte della tubazione (parte cieca) viene fatta emergere dal terreno e collegata a una pompa centrifuga autoadescante.

Gli effetti sulla falda prodotti dal pompaggio, attraverso la tubazione drenante, sono riconducibili a quelli ottenibili con l'impiego di una linea di impianto *wellpoint*.

Il numero di linee di tubo da posare, per ottenere un drenaggio efficace, è in funzione del battente di falda da deprimere, della conducibilità idraulica dei terreni e della larghezza dello scavo.

I vantaggi offerti dal drenaggio orizzontale possono essere riassunti nella completa assenza di tubazioni e manicotti flessibili in superficie, tali da creare, in alcuni casi, ostacoli alle operazioni di scavo e movimento terra.

Inoltre, con questo sistema, vi è la possibilità di posare la tubazione drenante con largo margine di anticipo rispetto agli scavi.

Sono quindi solo le pompe ad essere traslate lungo la linea e collegate di volta in volta ai tratti di tubazione dai quali pompare l'acqua di falda.

Il tubo drenante a perdere, può inoltre essere riutilizzato per le operazioni di ripristino o manutenzione future dei tratti di condotta sotterranea danneggiati.

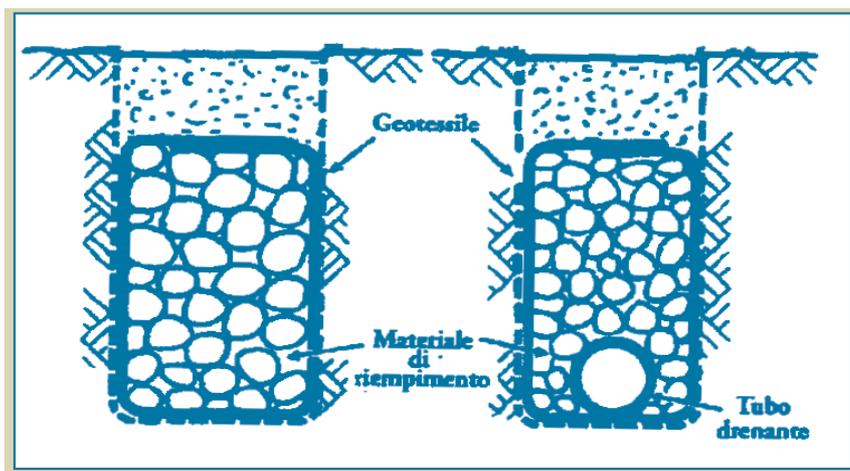
Le limitazioni alla posa meccanica del dreno orizzontale sono invece rappresentate dalla presenza di terreni a granulometria elevata, come ghiaie o ciottoli che, di fatto, impediscono le normali operazioni di scavo.

In presenza di falde freatiche superficiali e quando il battente idraulico da deprimere e controllare è modesto, si può ricorrere all'impiego delle trincee drenanti (drenaggio orizzontale a gravità).

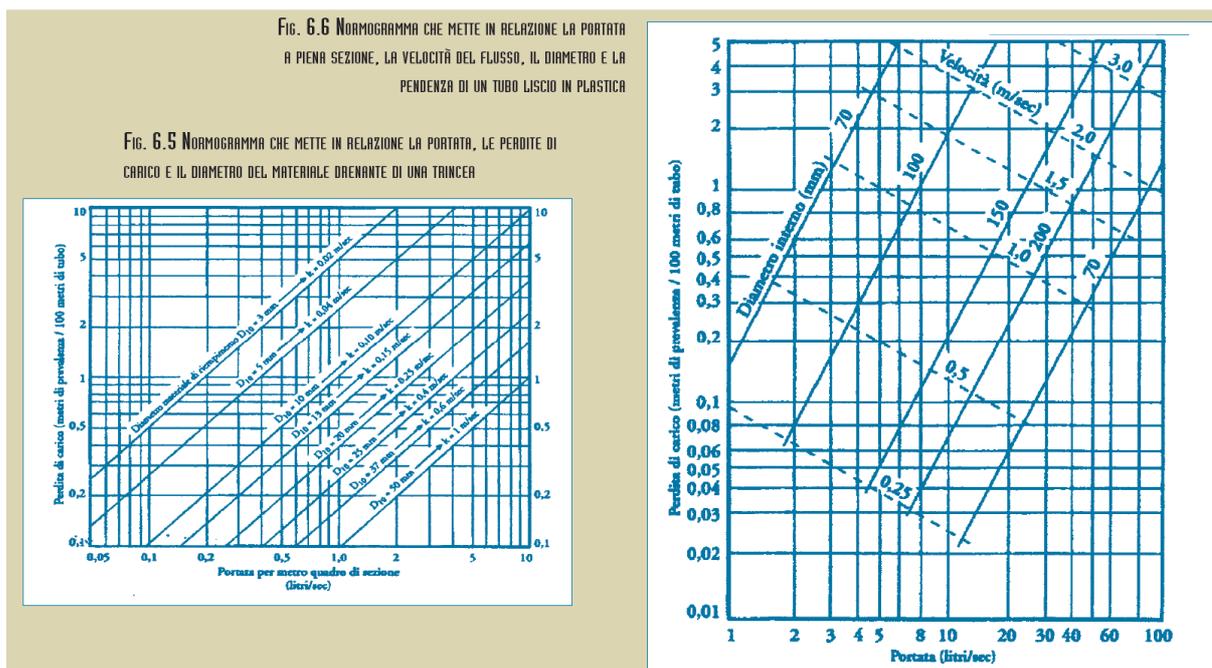
Si tratta generalmente di scavi disposti trasversalmente alla direzione di flusso della falda, con l'obiettivo di incanalare l'acqua di falda, convogliandola a gravità verso punti di raccolta prestabiliti.

Il metodo delle trincee drenanti consiste nello scavo di trincee di profondità variabile (normalmente sino a circa 5 metri, ma non mancano applicazioni per profondità maggiori) con sostituzione del terreno scavato con un pacchetto di ghiaia o altro materiale drenante di opportuna granulometria.

All'interno del pacchetto drenante possono essere collocati dei tubi finestrati che, con opportuna pendenza, permette l'allontanamento dell'acqua raccolta. I tubi drenanti sono costituiti, in genere, da tubi flessibili in PVC corrugato, con diametro variabile tra i 50 e gli 80 millimetri, opportunamente forati e rivestiti di una garza di nylon o con geotessili, per evitare l'intasamento da parte di sedimenti a granulometria fine.



Per stimare la capacità drenante di una trincea costituita di solo materiale drenante, si può fare riferimento al grafico riportato di seguito.



Normogrammi tratti da "Tecnologie per il drenaggio" QUADERNI TECNICI - COLLANA DI PRATICA EDILE E IMPIANTISTICA Casa Editrice la fi accola srln Milano

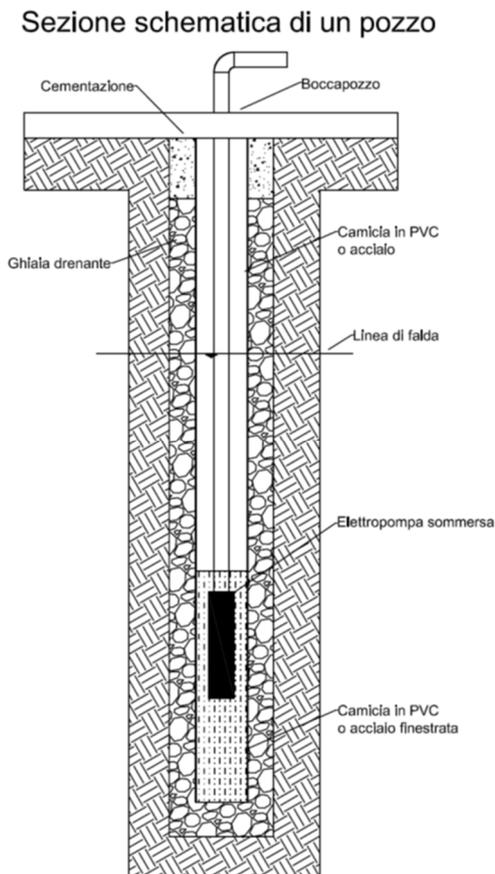
6.4. Pozzi

In presenza di terreni ad elevata granulometria e conducibilità idraulica, quando si deve abbassare la linea di falda oltre i 7 m oppure quando la superficie freatica si trova a profondità oltre i 7 metri dal piano campagna si rende necessario operare mediante pozzi.

Infatti nelle suddette condizioni emerge il limite di impiego dell'impianto wellpoint.

Tali limiti, oltre al limite teorico delle pompe in depressione, sono riconducibili sia alle difficoltà di installazione manuale dei singoli wellpoint ma soprattutto alle elevate portate di filtrazione, difficilmente controllabili con un pompaggio eseguito mediante wellpoint.

Difatti mediante l'utilizzo dei pozzi si possono emungere portate di qualunque entità senza i limiti di funzionamento del sistema a depressione dei wellpoint.



Tale sistema è l'ideale per ridurre la piezometrica nelle falde artesiane quando non si voglia causare una rottura del tetto impermeabile, assottigliato dalle operazioni di scavo.

Sono, inoltre, sostitutivi dei wellpoint in caso di spazi ridotti. I circuiti di aspirazione del sistema wellpoint potrebbero risultare ingombranti, invece i pozzi possono essere utilizzati, se necessario, anche collocando la pompa all'interno dello stesso scavo opportunamente protetto.

Nella progettazione di un pozzo vanno definiti i seguenti aspetti principali:

- metodo di perforazione;
- tipo e lunghezza del filtro da impiegare e sua profondità di collocazione;
- granulometria del materiale filtrante all'interno del perforo, quando questo si renda necessario.

In merito ai metodi di perforazione per i pozzi questi possono essere suddivisi nelle due categorie principali: percussione e rotazione; quest'ultima a circolazione diretta o inversa.

Infine nell'esecuzione di un pozzo si possono distinguere le seguenti fasi principali:

- perforazione;
- posa delle tubazioni definitive e dei filtri;

- formazione eventuale del dreno;
- cementazione e isolamento.

6.5. Scavi con paratie/diaframmi

La realizzazione di paratie sul perimetro dello scavo è una valida soluzione nel caso sia necessario realizzare strutture in corrispondenza del bordo scavo. In questo caso le paratie, oltre che per risolvere i problemi di natura idraulica (di continuità e impermeabilità), possono essere utilizzate anche in funzione prettamente statica dei manufatti da erigere o per strutture di sostegno del terreno. Il metodo in oggetto dà ragguardevoli risultati se applicato in terreni molto permeabili, ghiaiosi e semi permeabili (ghiaia e sabbia).

Se il terreno presenta uno strato impermeabile superficiale, per evitare il fenomeno del sifonamento, è opportuno infiggere delle palancole fino al raggiungere lo strato con permeabilità minore. In assenza dello strato impermeabile negli strati superficie del terreno, le palancole vanno infisse a una profondità tale da ridurre il fenomeno del sifonamento ed il relativo trascinarsi della frazione fine del terreno attraversato.

Il caso più problematico è costituito dalla presenza di un substrato non profondo, ma molto duro, come arenaria o conglomerato, la cui superficie non è mai orizzontale e piana. In questo caso, ai piedi di palancole e paratie si formano dei vuoti di differente dimensione che lasciano passare l'acqua.

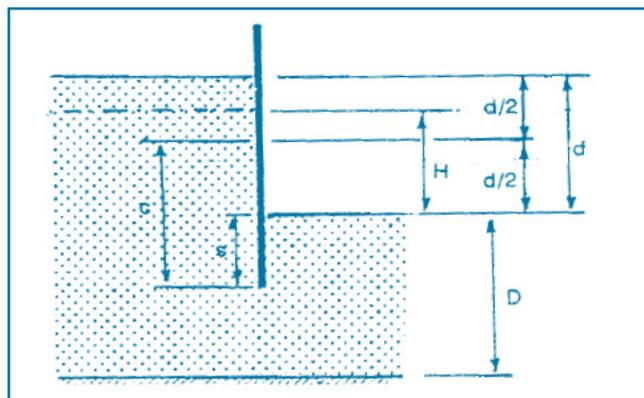
Un altro inconveniente può nascere dal fatto che le paratie strutturali, di solito costruite per tratti di pochi metri, non presentano, a volte, una perfetta impermeabilità in corrispondenza dell'unione dei diversi tratti. In assenza di impermeabilità dei giunti si ha la formazione di venute d'acqua laterali.



Le paratie drenanti possono spingersi fino a profondità di circa 30 metri.

Le soluzioni analitiche sono molto complesse, e quindi verranno riportate solo le equazioni relative alle portate ed alcuni diagrammi che facilitano l'applicazione pratica di tali equazioni.

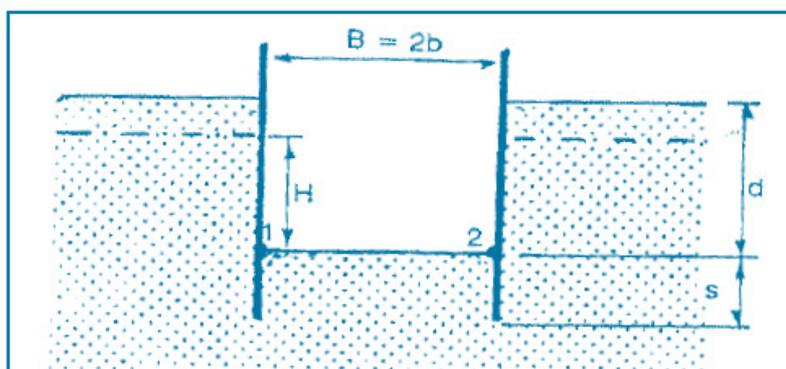
6.5.1. Diaframma semplice con scavo



Per $c/d > 1$ e $D/d > 0,5$ la portata unitaria è data da:

$$q = \left(k \frac{H}{\pi} \right) \ln \left\{ \frac{2D + d}{2s + d} + \left[\frac{(2D + d)^2}{(2s + d)^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

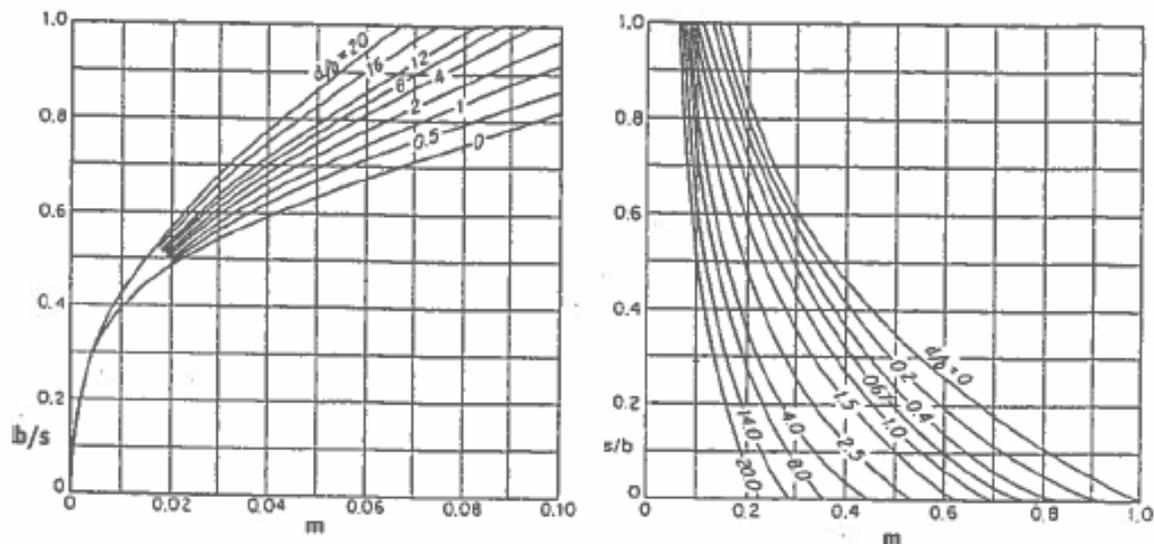
6.5.2. Diaframma doppio con scavo



La portata unitaria che fluisce verso lo scavo è data da:

$$q = 2kH \frac{F(m)}{F'(m)}$$

nella quale i valori di “m” sono desumibili m dai grafici a seguire:



Diagrammi tratti da "Prosciugamento delle falde" (G. Chiesa)

Mentre i valori $F(m)$ ed $F'(m)=F[(1-m^2)/2]$ sono ricavati dalla seguente tabella:

m^2	F	F'	F/F'	F'/F	m^2	m^2	F	F'	F/F'	F'/F	m^2
0,000	1,571	∞	0,000	∞	1,000	0,21	1,665	2,235	0,745	1,34	0,79
0,001	1,571	4,841	0,325	3,08	0,999	0,22	1,670	2,214	0,754	1,33	0,78
0,002	1,572	4,495	0,349	2,86	0,998	0,23	1,675	2,194	0,763	1,31	0,77
0,003	1,572	4,293	0,366	2,73	0,997	0,24	1,680	2,175	0,773	1,29	0,76
0,004	1,572	4,150	0,379	2,64	0,996	0,25	1,686	2,157	0,782	1,28	0,75
0,005	1,573	4,039	0,389	2,57	0,995	0,26	1,691	2,139	0,791	1,26	0,74
0,006	1,573	3,949	0,398	2,51	0,994	0,27	1,697	2,122	0,800	1,25	0,73
0,007	1,574	3,872	0,406	2,46	0,993	0,28	1,702	2,106	0,808	1,24	0,72
0,008	1,574	3,806	0,413	2,42	0,992	0,29	1,708	2,090	0,817	1,22	0,71
0,009	1,574	3,748	0,420	2,38	0,991	0,30	1,714	2,075	0,826	1,21	0,70
0,01	1,575	3,696	0,426	2,35	0,99	0,31	1,720	2,061	0,834	1,20	0,69
0,02	1,579	3,354	0,471	2,12	0,98	0,32	1,726	2,047	0,843	1,19	0,68
0,03	1,583	3,156	0,502	1,99	0,97	0,33	1,732	2,033	0,852	1,17	0,67
0,04	1,587	3,026	0,526	1,90	0,96	0,34	1,738	2,020	0,860	1,16	0,66
0,05	1,591	2,908	0,547	1,83	0,95	0,35	1,744	2,008	0,869	1,15	0,65
0,06	1,595	2,821	0,565	1,77	0,94	0,36	1,751	1,996	0,877	1,14	0,64
0,07	1,599	2,747	0,582	1,72	0,93	0,37	1,757	1,983	0,886	1,13	0,63
0,08	1,604	2,684	0,598	1,67	0,92	0,38	1,764	1,972	0,895	1,12	0,62
0,09	1,608	2,628	0,612	1,63	0,91	0,39	1,771	1,961	0,903	1,11	0,61
0,10	1,612	2,578	0,625	1,60	0,90	0,40	1,778	1,950	0,911	1,10	0,60
0,11	1,617	2,533	0,638	1,57	0,89	0,41	1,785	1,939	0,920	1,09	0,59
0,12	1,621	2,493	0,650	1,54	0,88	0,42	1,792	1,929	0,929	1,08	0,58
0,13	1,626	2,455	0,662	1,51	0,87	0,43	1,799	1,918	0,938	1,07	0,57
0,14	1,631	2,421	0,674	1,48	0,86	0,44	1,806	1,909	0,946	1,06	0,56
0,15	1,635	2,389	0,684	1,46	0,85	0,45	1,814	1,899	0,955	1,05	0,55
0,16	1,640	2,359	0,695	1,44	0,84	0,46	1,822	1,890	0,964	1,04	0,54
0,17	1,645	2,331	0,706	1,42	0,83	0,47	1,829	1,880	0,973	1,03	0,53
0,18	1,650	2,305	0,716	1,40	0,82	0,48	1,837	1,871	0,982	1,02	0,52
0,19	1,655	2,281	0,726	1,38	0,81	0,49	1,846	1,863	0,991	1,01	0,51
0,20	1,660	2,257	0,735	1,36	0,80	0,50	1,854	1,854	1,000	1,00	0,50
m^2	F'	F	F'/F	F/F'	m^2	m^2	F'	F	F'/F	F/F'	m^2

Tabella tratta da "Prosciugamento delle falde" (G. Chiesa)

6.6. Sistemi di iniezione

Con il termine iniezione, s'intende una tecnica volta a modificare le caratteristiche meccaniche di resistenza, di deformabilità e di permeabilità idraulica di terreni sciolti o rocce fessurate attraverso l'immissione di adeguate miscele fluide.

Tali miscele fluide (sospensioni, soluzioni o emulsioni), in fase di iniezione, hanno proprietà reologiche tali da favorire la permeazione del terreno da trattare e successivamente consentono di assicurare al terreno caratteristiche più idonee alle esigenze dell'opera sia a scopo provvisoriale sia in modo permanente.

In particolare con le iniezioni è possibile effettuare lo scavo in asciutto grazie alla creazione di un tappo sul fondo per l'intera estensione dell'area oggetto di intervento.

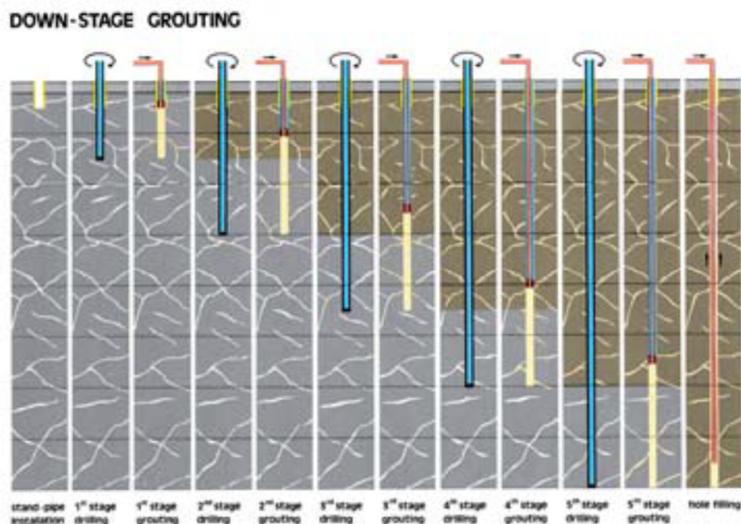
Come tecnica di contenimento delle acque negli scavi tale metodologia è indicata quando le aree di intervento sono particolarmente estese e altri metodi non permettono di garantire a costi contenuti che l'acqua non rifluisca dal fondo scavo.

Sarà necessario un preliminare studio idrogeologico del sito (analisi agli elementi finiti applicata ai fenomeni di filtrazione) con l'individuazione di un modello rappresentativo del comportamento del terreno che consenta la verifica della stabilità delle pareti laterali durante la fase transitoria del cantiere. Profondità e spessori del tappo sul fondo vengono pertanto dimensionati e posizionati in modo da garantire la stabilità secondo delle metodologie previste in letteratura ("Construction of a large underground parking in bari downtown " V. Cotecchia, R. Granata, F. Gioia).

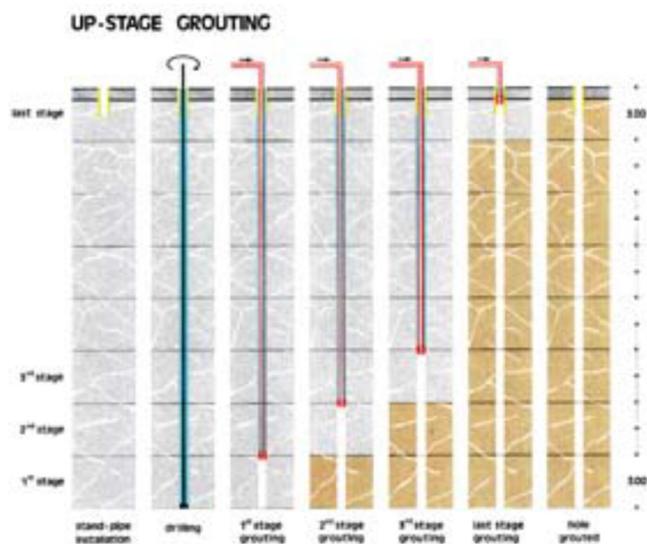
6.6.1. Iniezioni in roccia

Le iniezioni in roccia fessurata vengono realizzate immettendo la miscela fluida in un foro aperto nel suolo. Tale operazione può essere effettuata con due diversi sistemi detti di avanzamento e di risalita:

I sistemi di avanzamento (discending-stage o down-stage) vengono utilizzati in casi di fori instabili. La tecnica consiste nell'eseguire un tratto di foro, rimuovere l'utensile e procedere con l'iniezione. Ad indurimento della miscela avvenuto, è possibile proseguire riprendendo la perforazione e l'iniezione per tratti successivi con le medesime modalità.



I sistemi di risalita (*ascending-stage* o *up-stage*) consistono nell'esecuzione del foro fino alla profondità di progetto; quindi si procede all'iniezione per zone, in risalita, utilizzando un apposito otturatore (*paker* semplice), che seziona le diverse tratte di foro. Data la procedura, questo sistema risulta adatto per iniezione in fori che rimangono stabili su notevoli lunghezze in assenza di rivestimenti provvisori.



In entrambi i casi l'inclinazione dei fori deve essere definita in funzione della giacitura degli strati e dell'orientamento delle discontinuità, in modo da intercettare il maggior numero di giunti o fessure.

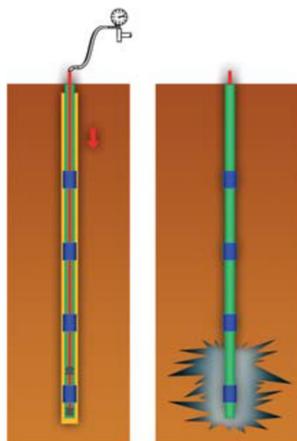
6.6.2. Iniezioni in terreni sciolti

Le iniezioni in terreni sciolti (o rocce degradate) possono essere eseguite attraverso la tecnica della canna valvolata (tube a manchette TAM) realizzata inserendo nel terreno dopo la perforazione tubi dotati di particolari valvole.

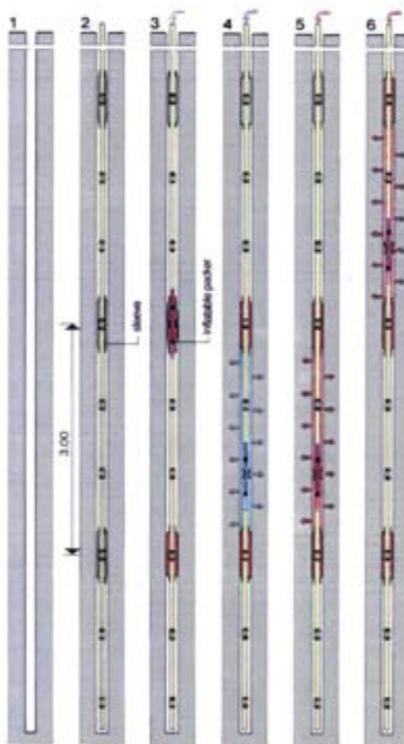
La canna valvolata è resa solidale al terreno tramite la miscela di guaina per la permeazione in terreni sciolti. Le valvole sono montate in numero da 1 a 3 per metro.

Le valvole sono generalmente costituite da manicotti in gomma, posizionati sopra sezioni di tubo opportunamente punzonate, che dilatandosi sotto pressione consentono l'uscita della miscela, ma ne impediscono il ritorno.

L'iniezione viene effettuata isolando le singole sezioni con un doppio otturatore ad espansione. In ogni foro viene posizionato un tubo di iniezione, attraverso il quale viene iniettata la miscela spinta da una pompa di iniezione. L'operazione è effettuata sezione per sezione.



Un esempio di tecnica alternativa alla precedente è invece la tecnica ad otturatori multipli (Multi packer Sleeve Pipe - MPSP), brevettata dalla Trevi S.p.a., la quale non necessita dell'utilizzo di una guaina. Il foro viene sezionato in tratte tramite sacchi otturatori montati ad intervalli di alcuni metri. L'iniezione avviene tratta per tratta.



6.6.3. Le miscele

Il progetto di tale tecnologia, consistente nella modifica delle caratteristiche del terreno con iniezioni, dovrà definire la distanza tra i fori, il tipo di miscela più adeguato e i parametri di iniezione da adottare in funzione delle caratteristiche del mezzo da trattare (grado di fessurazione/porosità) e del tipo di intervento (consolidamento, impermeabilizzazione ecc.) sul terreno.

I parametri di iniezione (volumi, pressioni, portate) vengono controllati e registrati costantemente nel corso di ciascuna fase dell'iniezione.

I risultati ottenuti vengono elaborati e analizzati con lo scopo di verificare l'efficacia del trattamento fino a quel momento eseguito e di consentire la più corretta gestione di tutte le eventuali fasi di iniezione.

Per le iniezioni in terreni in roccia o in terreni sciolti a granulometria grossolana, vengono in genere utilizzate miscele a base cementizia.

Per le iniezioni di rocce sottilmente fessurate e di terreni granulometricamente più fini, si raccomanda perciò l'iniezione di cementi fini o microcementi. Per i terreni più fini si può prevedere l'impiego di silice colloidale.

All'opposto, per il riempimento di cavità o grandi porosità, possono essere impiegate miscele espandenti.

7. Recapiti finali per le acque di falda

Il progetto che prevede gli scavi in presenza di falda dovrà individuare altresì le modalità di allontanamento delle acque emunte.

Il progettista dovrà valutare gli oneri a carico dell'appaltatore relativi all'allontanamento di dette acque.

Tali oneri dovranno comprendere i costi delle eventuali opere necessarie al corretto allontanamento delle acque nonché l'eventuale necessità da parte dell'appaltatore di procedere alla richiesta di autorizzazione allo scarico, rilasciata dall'ente preposto alla gestione del recapito individuato, secondo le norme definite dalla normativa nazionale e regionale in particolare il D. Lgs 152/06.