



ANALISI DEI SISTEMI DI DRENAGGIO NEI TERRENI PER EDILIZIA

Premessa

Il drenaggio dei terreni con il sistema wellpoint manca di una specifica letteratura tecnica nonostante sia ormai applicato diffusamente nelle costruzioni civili e industriali. Sono ancora poche le ricerche effettuate in questo campo da università ed istituti tecnici, anche se esiste una vasta bibliografia sul comportamento delle falde idriche sottoposte a pompaggio (Dupuit, Theis, Darcy, Chapmann, Englund etc.). Quasi tutto quello che esiste oggi su questo metodo di drenaggio si basa sulle esperienze delle società costruttrici e utilizzatrici, e questo si può intuire dalle seguenti considerazioni:

- 1) il dimensionamento di un impianto wellpoint per il suo utilizzo entro limiti di sicurezza, generalmente viene fatto sulla base dell'esperienza pratica maturata per analogia in una vasta casistica di cantieri;
- 2) i terreni nella pratica si discostano fortemente da quelle caratteristiche di isotropia e omogeneità su cui si basano tutte le teorie esistenti e quindi sarebbe necessario introdurre coefficienti correttivi di difficile rilevazione e scarsa affidabilità
- 3) le indagini necessarie per la rilevazione dei parametri richiesti per soddisfare matematicamente certe relazioni non troverebbero giustificazione nella normale utilizzazione degli impianti wellpoint.

Fino a qualche tempo fa si pensava che il sistema wellpoint fosse utilizzabile solamente nei terreni sabbiosi (medie permeabilità), mentre attualmente viene correntemente usato anche nei terreni limosi e argillosi (basse permeabilità), nei terreni ghiaiosi (elevate permeabilità), nei terreni con stratificazioni impermeabili e, in qualche caso, anche rocciosi. Nello studio di fattibilità delle costruzioni da eseguire in presenza di falda acquifera, il drenaggio con il sistema wellpoint merita senz'altro il primo posto nella graduatoria di applicabilità in considerazione della sua semplicità, versatilità ed economicità.

Nelle pagine che seguono sono raccolte le considerazioni tecnico-pratiche derivanti dall'esecuzione di numerosi drenaggi nelle più svariate situazioni stratigrafiche e logistiche.

Drenaggio

Il drenaggio viene universalmente definito come un abbassamento temporaneo o permanente del livello della falda acquifera nei terreni. A tutt'oggi, però, anche se la parola drenaggio ha una definizione univoca essa viene usata per definire tecniche e metodologie molto diverse nella loro finalità.

Sulla base di una classificazione litologica si distinguono:

1) DRENAGGI IN ROCCIA;

2) DRENAGGI NEI TERRENI SCIOLTI.

Mentre i primi sfruttano tecniche sofisticate e complesse per eliminare le acque e i loro potenziali di rischio nelle grandi opere di ingegneria e nello sfruttamento di giacimenti minerari, i secondi utilizzano tecniche più comuni con molteplici finalità.

I drenaggi nei terreni sciolti si possono dividere in:

- drenaggi geotecnici. Influenza sulle falde acquifere per aumentare la resistenza dei terreni (consolidazione) e la stabilità (frane, smottamenti, etc);
- drenaggi agricoli. Influenza sulle falde acquifere per bonificare terreni e renderli idonei all'agricoltura;
- drenaggi permanenti. Raccolta di acque per gravità con appositi reticoli drenanti al di sotto di manufatti e opere stradali;
- drenaggi provvisori. Influenza temporanea sulle falde acquifere per la costruzione di manufatti e opere di ingegneria che richiedono scavi al di sotto del livello di affioramento delle falde.

Metodi per il controllo dell'acqua di falda

I principali metodi usati nell'ingegneria civile per eliminare gli inconvenienti dovuti alla presenza di acqua nel terreno si dividono in due gruppi:

1) Metodi ad interruzione di flusso (stop water flow) sono quei sistemi che una volta applicati impediscono il flusso di acqua nel terreno:

- a) palancole metalliche;
- b) palancole cemento;
- c) diaframmi calcestruzzo e plastici;
- d) iniezioni;
- e) congelamento.

2) Metodi di drenaggio (dewatering) sono quei sistemi che una volta applicati, determinano un abbassamento controllato del livello di acqua nel terreno.

Se l'acqua viene intercettata all'interno della zona di scavo si ha:

- a) drenaggio con aggettamento libero;
- b) drenaggio con trincee drenanti;
- c) drenaggio con pozzi di richiamo.

Se l'acqua viene intercettata prima che arrivi alla zona di scavo si ha:

- a) drenaggio con wellpoint verticale;
- b) drenaggio con pozzi profondi;
- c) drenaggio con wellpoint orizzontale;
- d) drenaggio con welldrill;
- e) drenaggio con jet-eductor;
- f) drenaggio con elettrosmosi.

Nella tabella della pagina seguente sono riassunti i vari metodi con le modalità di esecuzione e i tipi di terreno idonei alla loro applicazione.

Metodo	Tipo di terreno	Esecuzione
Palancole metalliche	Tutti i tipi di terreno con esclusione di quelli rocciosi e ghiaiosi di grossa pezzatura	Infissione meccanica a percussione o vibrazione
Diaframmi calcestruzzo Diaframmi plastici	Tutti i tipi di terreno compresi quelli rocciosi	Con benne mordenti e circolazione di fanghi bentonitici
Palancole cemento	Tutti i tipi di terreno sciolti	Infissione meccanica e a pressione d'acqua
Iniezioni	Tutti i tipi di terreno saturi anche rocciosi	Con carotaggi e riempimento ad alta pressione
Congelamento	Tutti i tipi di terreno saturi	Con carotaggi (azoto liquido e salamoia di CaCl ₂)
Aggettamento libero	Riporti e ghiaie	Aspirazione diretta
Trincee drenanti	Argille stratificate	Scavo e riempimento con materiale drenante
Pozzi di richiamo	Riporti e ghiaie	Scavo e riempimento con materiale drenante
Wellpoint verticale	Sabbie, ghiaie, limi e argille	Infissione a pressione d'acqua e/o aria compressa
Pozzi drenanti	Sabbie, ghiaie e strati rocciosi	Perforazione a percussione o rotazione

Wellpoint orizzontale	Sabbie fini e sabbie stratificate	Posa a scavo aperto o con macchine posadreno
Wellpoint jet-eductor	Sabbie, limi e terreni fessurati	Infissione a pressione d'acqua, perforazione a rotazione
Elettrosmosi	Limi, limi argillosi e torbe	Con carotaggi e/o infissione

Proprietà idrogeologiche del terreno

Considerata la relazione evidente tra il sistema wellpoint e le caratteristiche idrogeologiche dei terreni si ritiene utile descrivere tali proprietà.

Osservando quello che generalmente si chiama "suolo" in una sezione che scende in profondità dal piano di campagna si vede che esso è costituito da tre zone:

- a) zona superficiale di costituzione prevalentemente organica vegetale;
- b) zona secondaria o di evaporazione che non trattiene l'acqua a causa dell'evaporazione e della filtrazione verso zone sottostanti;
- c) zona di saturazione in cui tutti gli interstizi sono occupati dall'acqua che comunemente prende il nome di "falda freatica".

Il limite superiore di questa zona di saturazione viene chiamato livello di falda freatica e rappresenta il livello di affioramento statico dell'acqua. Il limite inferiore della falda freatica è rappresentato generalmente da uno strato impermeabile e quindi risulta evidente che la falda e i suoi movimenti sono condizionati dalla forma e dalla giacitura dello strato impermeabile che la sostiene.

Naturalmente scendendo in profondità si trovano altre falde separate, tante quanti sono gli strati impermeabili che le delimitano. Se la falda è delimitata da due strati impermeabili si ha una falda in pressione detta anche "falda artesianiana". Se attraverso un pozzo si perfora lo strato superiore della falda artesianiana si vede che l'acqua risale lungo il pozzo fino a raggiungere un livello più alto, spesso vicino al suolo, detto anche livello dinamico della falda profonda.

I principali fattori che influenzano lo spessore della falda freatica sono:

- le precipitazioni;
- i corsi d'acqua;
- le irrigazioni;
- i drenaggi.

Dal punto di vista strutturale il terreno acquifero è costituito da particelle solide di vario tipo e forma, aggregate in modo tale da lasciare spazi vuoti o interstizi che vengono occupati dall'acqua. La presenza di questi vuoti continui nei terreni sciolti ne definiscono una proprietà caratteristica chiamata "porosità".

Essa dipende da fattori come:

- grandezza dei granuli;
- forma dei granuli;
- disposizione dei granuli.

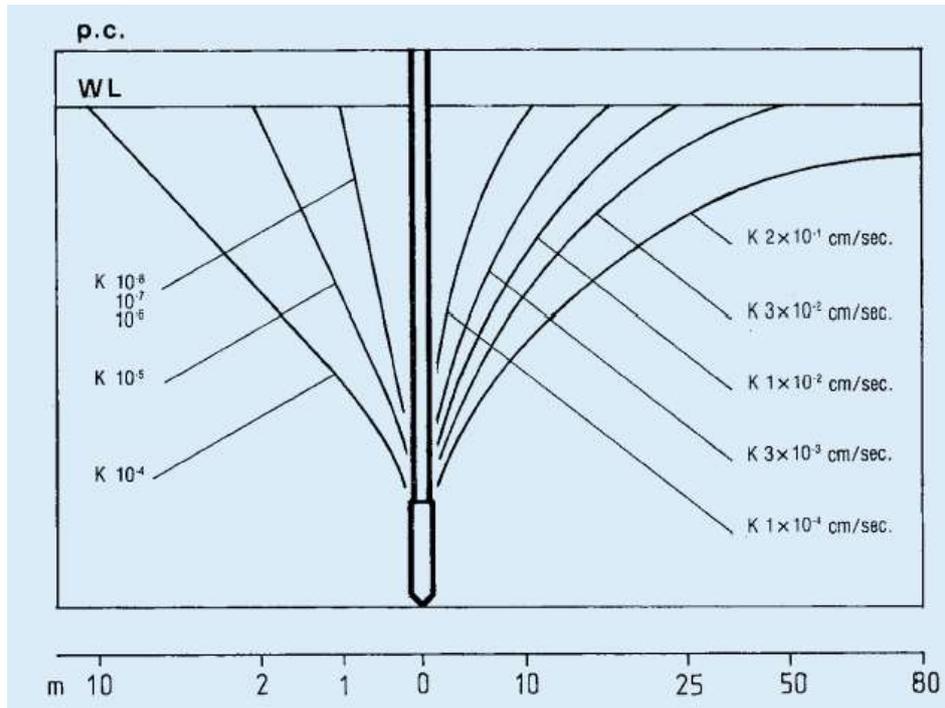
Si è detto che è attraverso questi vuoti che si infiltra l'acqua e la quantità maggiore o minore è dipendente da essi. La proprietà del terreno a lasciarsi permeare dall'acqua viene definita "permeabilità" ed è quantificata con il coefficiente K che si misura in cm/sec. e, praticamente, esprime la velocità di flusso dell'acqua nella sezione di terreno considerata (Darcy). La velocità di flusso dell'acqua nel terreno è proporzionale al gradiente idraulico della falda, cioè al rapporto altezza-estensione secondo la relazione.

Sistema wellpoint

Il drenaggio con il sistema wellpoint viene utilizzato, come si è visto, in tutti quei terreni che sono permeabili per porosità come ghiaie, sabbie, limi ed argille. L'impianto wellpoint nella sua forma più schematica è costituito da una serie di minipozzi (wellpoints), installati nella zona di terreno in cui si deve abbassare la falda, collegati tra loro e ad una pompa ad alto grado di vuoto tramite una serie di collettori, raccordi e giunti di collegamento. Nella tabella a pagina seguente sono visibili i vari sistemi di installazione in rapporto alle caratteristiche degli scavi da eseguire. Il principio di funzionamento si basa sulla deviazione del flusso di falda in direzione di elementi filtranti (wellpoints) messi in depressione dalla pompa. Il gradiente venutosi a creare tra la pressione di affioramento dell'acqua nel terreno (pressione atmosferica) e gli elementi filtranti (wellpoints) dirige verso questi ultimi il flusso di falda con una velocità, nei vari tipi di terreno, caratterizzata dalla permeabilità. Quando in una specifica sezione di terreno l'impianto wellpoint, che può essere paragonato ad un pozzo del diametro della zona circoscritta dall'impianto, emunge la quantità d'acqua che filtra attraverso gli interstizi, il livello della falda nel terreno comincia a deprimersi formando una superficie a forma di cono.

Proseguendo il pompaggio aumenta la sezione di terreno che rimane senza acqua finché la portata emunta dall'impianto wellpoint non sarà pari alla portata di filtrazione. A questo punto il livello della falda si stabilizza formando il "cono di influenza". Naturalmente l'ampiezza di questo cono di influenza è strettamente legato alla permeabilità dei terreni interessati e quindi sarà più ampio nei terreni ad elevata permeabilità.

Nella figura sono indicati i valori dell'ampiezza del cono di influenza, misurati su alcuni tipi di terreno durante l'utilizzo di impianti wellpoint. Il filtro disegnato rappresenta la quantità di punte filtranti necessarie per il totale emungimento in una specifica sezione di terreno.



Descrizione impianto	Descrizione	Utilizzazione
Impianto ad "anello chiuso"	Collettore con sviluppo perimetrale senza alcun lato aperto	Scavi in terreni molto permeabili Scavi in terreni stratificati Scavi con lati $l >$ di 40 m Scavi con prof. $h >$ 4 m
Impianto ad "U"	Collettore con sviluppo su tre lati con il lato minore aperto	Scavi con prof. $h = 3.50$ m Scavi con lati min. $l = 20 - 30$ m
Impianto lineare laterale	Collettore con sviluppo laterale parallelo al lato più lungo	Scavi con prof. $h = 3$ m Scavi trincea con prof. $h = 4$ m Scavi con lati min. $l = 10 - 15$ m
Impianto lineare centrale	Collettore su linea centrale parallelo ai lati lunghi dello scavo	Scavi di fondazione a plinti Scavi entro paratie o palancolati Scavi con lati $l = 60 - 80$ m
Impianto lineare laterale a rotazione	Collettore laterale allo scavo con parziale rotazione in avanti senza interruzione di pompaggio	Scavi fognature Scavi acquedotti Scavi gasdotti

Progettazione

È di fondamentale importanza non sottovalutare la necessità di una adeguata progettazione dell'impianto di drenaggio soprattutto in considerazione della sua essenzialità per i lavori successivi. La progettazione e la scelta dell'impianto di drenaggio sono legati ad una corretta individuazione del modello idraulico del sottosuolo che può essere ricostruito con la conoscenza preventiva delle seguenti caratteristiche:

- 1) condizioni stratigrafiche dei terreni interessati rilevate fino ad una profondità almeno doppia rispetto a quella di scavo;
- 2) condizioni di permeabilità dei terreni interessati rilevate mediante prova in situ;
- 3) interdipendenza della falda acquifera con le condizioni idrologiche circostanti, cioè presenza di corsi d'acqua, condotte o canali, drenaggi permanenti, discontinuità del sottosuolo e tutto quello che può influire sul normale deflusso dell'acqua di falda;
- 4) condizioni logistiche del cantiere.

Dalla conoscenza dei dati stratigrafici dei terreni si possono ricavare:

- il tipo di impianto da utilizzare;
- le modalità di posa in opera dell'impianto;
- la profondità di installazione dei wellpoints;
- la distanza di installazione dell'impianto dallo scavo.

Dalla conoscenza dei dati di permeabilità dei terreni si possono ricavare:

- l'interasse tra le punte filtranti;
- il numero e la dimensione dei gruppi aspiranti;
- i consumi di forza motrice.

Dalla conoscenza delle condizioni logistiche del cantiere si possono ricavare:

- la disposizione planimetrica dell'impianto;
- i mezzi necessari alla posa dell'impianto;
- eventuale necessità di opere speciali;
- tempi di esecuzione.

Prove tecniche in falda

Sulla base dell'esperienza per avere sufficienti possibilità di individuare anomalie del flusso idraulico si ritiene indispensabile la seguente sequenza di prove:

- determinazione dei coefficienti di permeabilità significativi dei vari strati, sia verticali che orizzontali, in un contesto reale il più ampio possibile;
- i coefficienti di permeabilità devono essere rilevati con prove di pompaggio in quanto, se rilevati su campioni o entro fori di sondaggio, raramente sono rappresentativi dell'intera area interessata;
- controllo, a mezzo piezometri, delle pressioni idrauliche degli strati caratterizzati da diversa permeabilità

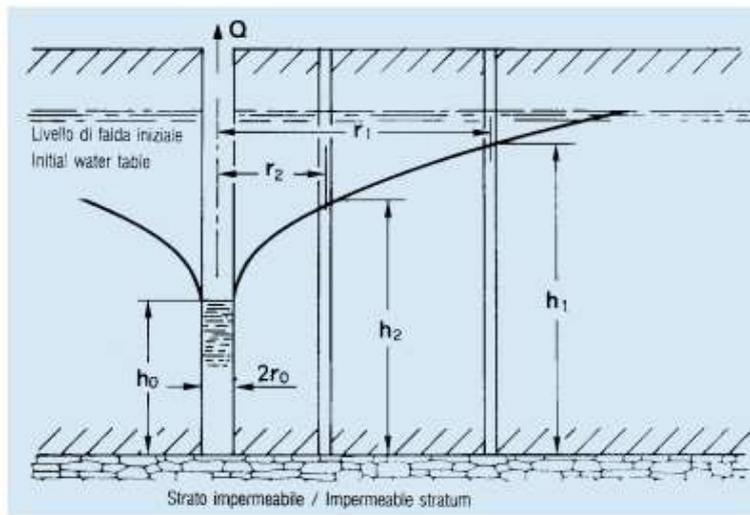
e granulometria;

- esecuzione di prove di pompaggio in situ con controlli piezometrici, misurazioni di portata e rilievo della piezometrica eventualmente in regime transitorio.

Il sistema di determinazione del K più significativo, in falda freatica, consiste nell'eseguire delle prove di pompaggio da un pozzo misurando gli abbassamenti della falda nei piezometri disposti all'intorno fino alla stabilizzazione del livello di falda. Il coefficiente K si rileva applicando la relazione di Dupuit:

$$K = \frac{Q}{\pi} \frac{\text{Ln} \frac{r_1}{r_2}}{h_1^2 - h_2^2}$$

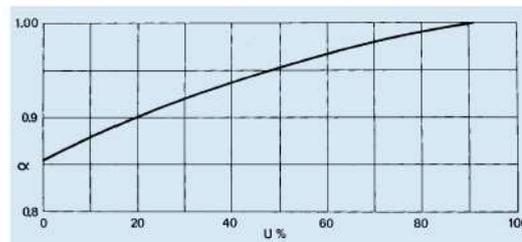
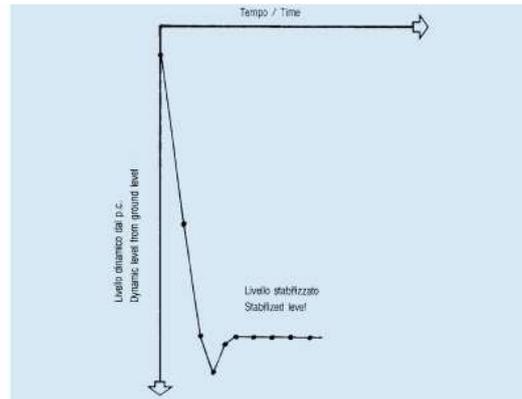
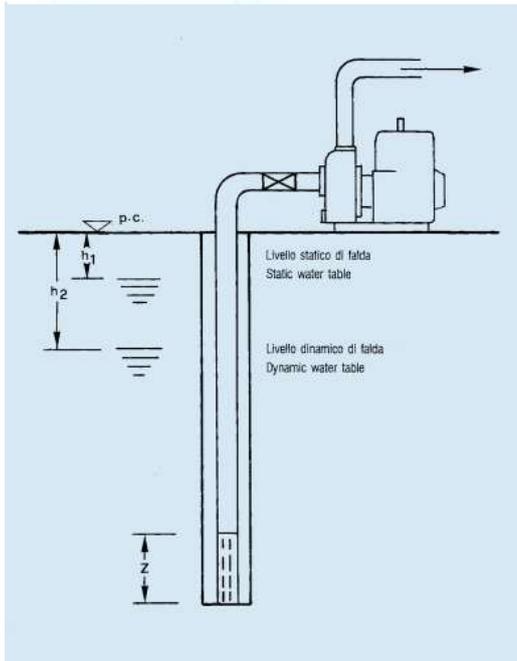
La spiegazione dei simboli è riportata nella figura.



La determinazione del coefficiente di permeabilità in laboratorio (campioni di terreno indisturbati) o in situ (controlli completi di pompaggio attraverso pozzi e piezometri) richiede generalmente costi troppo elevati in relazione all'uso medio degli impianti wellpoint. Si è messa a punto una tecnica per il calcolo della permeabilità che può dare dei risultati attendibili, per lo scopo da raggiungere, senza far ricorso a sondaggi ed alla posa di piezometri di osservazione. Essa consiste nell'infissione a pressione d'acqua di un apposito filtro alla profondità che si ritiene opportuna per il tipo di rilievo in atto e con apposita pompa (autoadescante) si esegue un emungimento a livello e portata costante. Il coefficiente K si ricava dall'applicazione della relazione:

$$K = \frac{\alpha Q}{1000 Z (h_2 - h_1)}$$

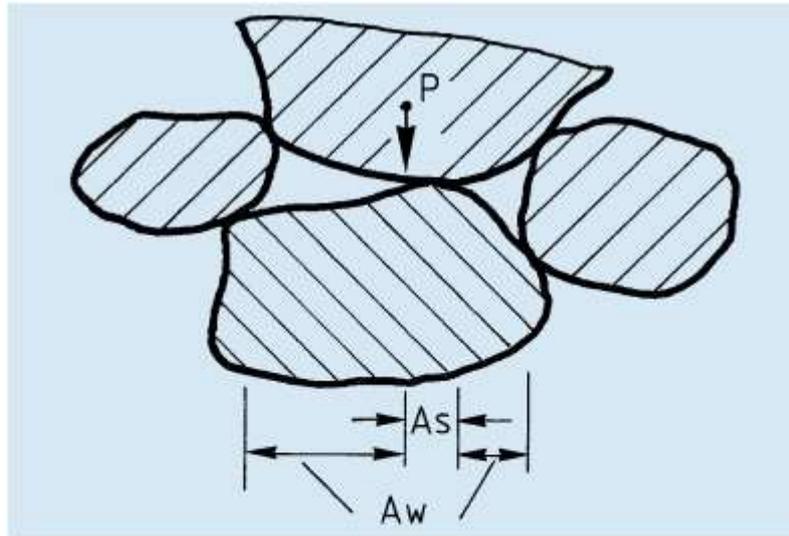
- Q portata stabilizzata in l/sec
- Z spessore utile prova in cm
- $h_2 - h_1$ abbassamento dinamico falda in pompaggio in cm
- α coefficiente correttivo che per le sabbie è funzione del grado di uniformità



Sifonamento del terreno

È noto che gli scavi eseguiti al di sotto del livello di affioramento della falda determinano franamenti continui del fondo e delle pareti. La valutazione delle forze che si trasmettono nel terreno si può fare prendendo in considerazione una sezione ingrandita di un terreno immerso. Dallo schema si vede l'esistenza di forze che si trasmettono tra granulo e granulo nell'area di contatto A_s (pressioni effettive) e di forze che si trasmettono attraverso l'acqua che satura gli interstizi del terreno nell'area di contatto A_w (pressioni neutrali). È necessario ricordare che solo le pressioni intergranulari possono produrre variazioni di volume nelle masse di terreno. La pressione totale che si trasmette nel terreno è legata alla pressione effettiva ed alle pressioni neutrali ed è data dalla somma delle pressioni. Scavando al di sotto del livello di falda l'acqua assume un flusso attraverso i vuoti del terreno determinando una pressione di filtrazione proporzionale alla velocità. Infatti perchè ci sia un flusso ci deve essere un certo gradiente idraulico il quale a sua volta è direttamente proporzionale alla velocità di flusso. Aumentando il valore del gradiente idraulico e quindi la pressione di filtrazione si arriva ad un punto limite in cui le pressioni effettive vengono annullate determinando il cosiddetto fenomeno del "sifonamento". Non essendoci più alcun contatto tra i granuli, che tendono a galleggiare, il terreno non è in grado di sopportare alcun carico e quindi sul fondo degli scavi si hanno ribollimenti continui. Per rimediare a questa situazione si dovranno aumentare le pressioni effettive attraverso filtri adeguati, costituiti da materiali più permeabili, in modo da aumentare con il loro peso le pressioni effettive, mantenendo inalterate le pressioni neutre.

L'abbassamento di falda che si ottiene con l'impianto wellpoint determina una diminuzione delle pressioni neutrali e quindi un accentuato effetto di stabilizzazione del terreno.



As: Area di contatto dei solidi

As: Area of contact between solids

Aw: Area di contatto fluido-solidi

Aw: Area of contact between liquid and solids

Effetti dell'impianto wellpoint sui terreni

L'abbassamento di falda a seguito del pompaggio comporta una variazione delle pressioni effettive sull'area. L'incremento di pressione comporta un assestamento per consolidazione con effetti di cedimenti che dipendono dallo spessore degli strati, dalla compressibilità, dal valore dell'abbassamento e dalla durata del pompaggio. I cedimenti si possono stimare con la relazione:

$$W = \frac{H \cdot C_c}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0}$$

e_0 = indice dei vuoti

C_c = coefficiente di compressibilità

Δp = incremento di pressione effettiva

p_0 = pressione effettiva

H = spessore strato

Per poter correttamente applicare la relazione vista è necessario ricavare i parametri di compressibilità e consolidazione da

prove di laboratorio eseguite su campioni indisturbati di terreno.

Sulla base della sensibilità dei terreni a questo fenomeno possiamo distinguerli in:

- terreni compressibili, limi, argille, torbe;
- terreni poco compressibili, sabbie e ghiaie.

I terreni sabbiosi e ghiaiosi sono costituiti da particelle solide di varia forma e dimensioni addensate le une alle altre lasciando

tra loro spazi vuoti che nei terreni saturi sono riempiti dall'acqua di falda. Durante il funzionamento dell'impianto wellpoint gli interstizi del terreno rimangono vuoti e le particelle solide del terreno raggiungono rapidamente una situazione di assestamento. Si può ritenere trascurabile l'effetto della consolidazione su questi terreni e sugli edifici interessati dal raggio di influenza dell'impianto wellpoint. Nei terreni compressibili

l'effetto di consolidazione dovuto all'abbassamento di falda può determinare cedimenti di tale entità da pregiudicare la sicurezza di edifici e manufatti vicini.

Il valore dei cedimenti, che ha grandissima importanza nella progettazione e nel calcolo di strutture di fondazione, non deve essere trascurato nemmeno nella utilizzazione degli impianti wellpoint, ma agli effetti della sicurezza è prioritario che l'impianto non provochi asporto di inerte. Normalmente i tempi di utilizzazione dell'impianto wellpoint sono inferiori a quelli necessari per la maturazione di cedimenti di consolidazione

e, inoltre, l'emungimento dell'acqua riguarda principalmente i terreni circoscritti dall'impianto e solo in minima parte quelli circostanti. D'altra parte in questi terreni il raggio d'azione dell'impianto è piuttosto limitato in quanto esso non provoca un "abbassamento" della falda ma soltanto un "intercettamento per gravità" entro i percorsi preferenziali costituiti dai prefiltri di sabbia.

Caratteristiche esecutive

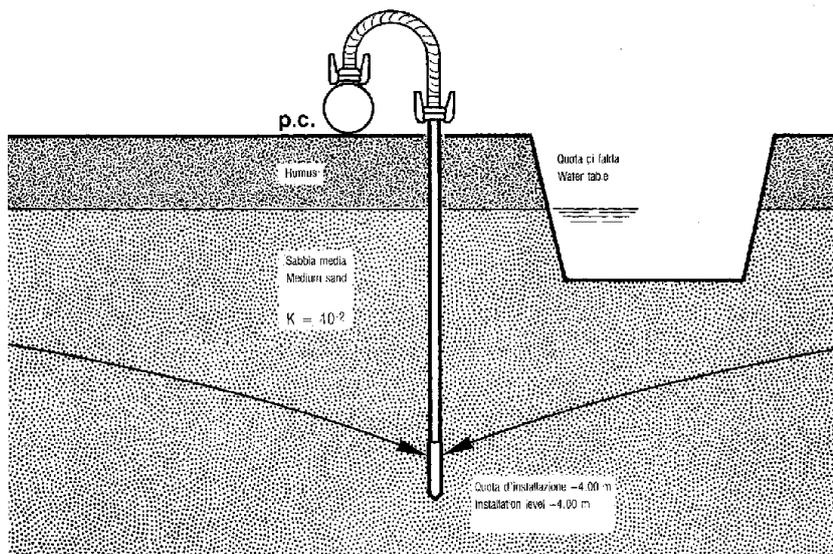
1. Terreni sabbiosi

Si è detto che inizialmente l'impianto wellpoint ha trovato la sua applicazione ottimale nei terreni sabbiosi.

Questi terreni

infatti sono caratterizzati da valori di porosità e permeabilità che più si avvicinano a quelli teorici, per la velocità di deflusso dell'acqua di falda, in funzione dei valori massimi di depressione ottenibili nell'impianto. Sono sufficienti poche

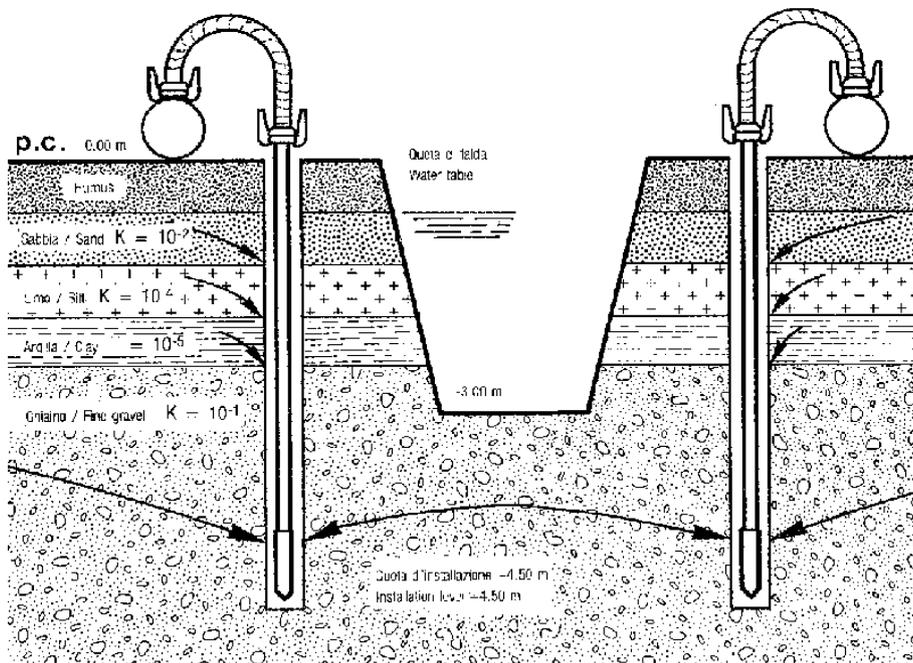
ore di pompaggio per ottenere una depressione della superficie di falda la cui ampiezza si estende su ampie superfici. Dalla sezione si può vedere come, sfruttando l'elevato raggio di influenza, sia possibile ottenere il drenaggio con una sola fila di wellpoints installati a notevole distanza dallo scavo.



2. Terreni sabbiosi con stratificazioni impermeabili

L'impianto wellpoint risulta efficace anche in questi terreni purchè venga cambiata la metodologia di installazione. I filtri wellpoint devono essere protetti da appositi prefiltri (pali di sabbia) che hanno il duplice

scopo di impedire l'intasamento del filtro e creare un collegamento (diaframma drenante) fra tutti gli strati a diversa permeabilità come si vede in figura. Inoltre l'impianto deve essere installato su tutti i lati dello scavo per poter intercettare il flusso d'acqua che altrimenti, seguendo la via più naturale e più facile (lati ove non fosse installato l'impianto), si infiltrerebbe nello scavo.



In questi terreni non si forma un cono di influenza unico, come nei terreni sabbiosi, ma tanti quanti sono gli acquiferi che devono essere intercettati dal prefiltro. Il prefiltro consiste in una intercapedine di sabbia a grossa granulometria immessa dall'alto, attraverso un foro trivellato predisposto, dopo l'infissione della punta filtrante. L'immissione di sabbia granita, che si deposita sul fondo del foro per gravità, avviene mantenendo

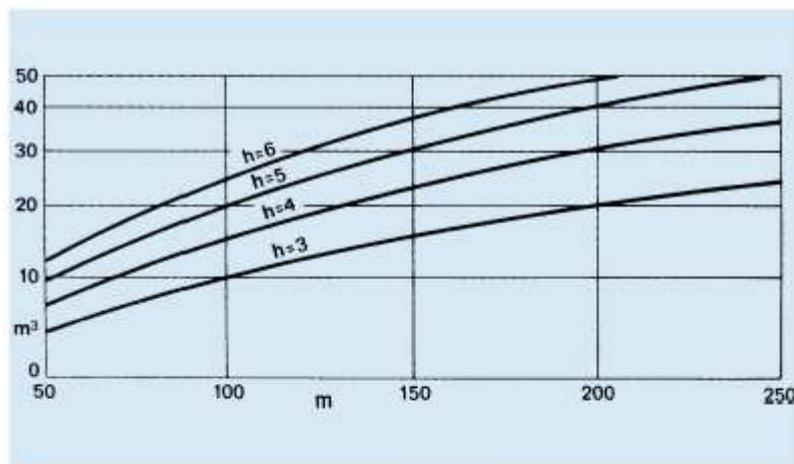
una circolazione d'acqua a bassa velocità per garantire il dilavamento del foro. Lo scopo è duplice:

- difendere il filtro dall'intasamento in terreni poco permeabili;
- creare una comunicazione drenante nei terreni stratificati.

Il foro può essere eseguito:

- manualmente con apposita sonda;
- meccanicamente con l'ausilio di trivelle.

Mentre l'esecuzione manuale comporta un numero elevato di addetti, con la trivellazione si acquista notevole rapidità e, non provocando miscele tra i vari strati perforati, si mantengono inalterate le proprietà idrauliche del terreno. Il diagramma permette di ricavare la quantità di sabbia da prefiltro che è necessario utilizzare sulla base della lunghezza di impianto wellpoint prevista. Le varie curve sono ricavate in funzione della profondità di esecuzione dei prefiltri, che dipendono a loro volta dall'abbassamento di falda richiesto.



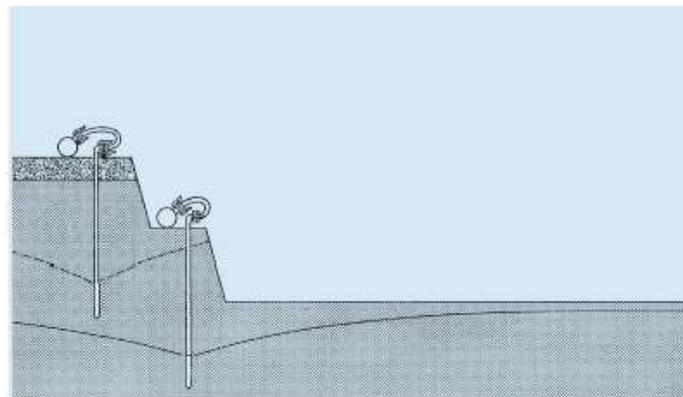
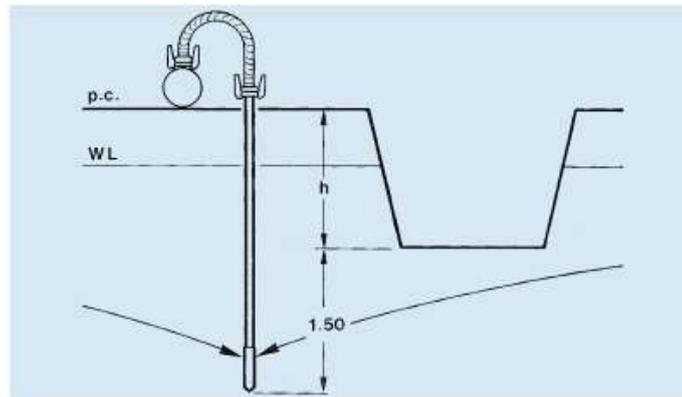
3. Profondità di utilizzo

Dall'esperienza si ricava che generalmente le punte filtranti dovrebbero essere infisse ad una profondità minima, oltre il fondo dello scavo da drenare, secondo lo schema seguente:

$$P = h + 1,50 \text{ m}$$

La formula sottodescritta, valida in linea generale, non deve essere applicata meccanicamente perché può subire delle sostanziali modifiche al variare delle condizioni stratigrafiche dei terreni. Esiste però un limite alla

profondità massima di utilizzo dell'impianto wellpoint. Infatti la differenza di pressione teorica ottenibile è compresa tra il vuoto assoluto da una parte (pompa) e la pressione atmosferica dall'altra (falda acquifera). Questa differenza di pressione ottenibile consente di aspirare l'acqua da un'altezza massima teorica pari a 10.33 m. Nella pratica, tenendo conto dei vari attriti e perdite di carico, si è visto che si può assumere come profondità massima di infissione la quota di - 7 m e soltanto in pochi casi eccezionali (eventuali sottopressioni) si può arrivare a - 8 m dal piano di installazione. Quindi, quando si devono raggiungere profondità di scavo elevate con abbattimento di falda superiore ai 5 - 6 m, è necessario ricorrere a più anelli concentrici di wellpoints utilizzando la cosiddetta tecnica a gradoni. Gli interventi in questi casi sono distribuiti in fasi successive e ad ogni sbancamento segue una installazione di impianti ad una quota diversa come visibile nelle sezioni e nella fotografia.



Naturalmente non sempre è logisticamente possibile eseguire il movimento terra necessario per l'applicazione di questa tecnica ed in questi casi esso viene sostituito con protezioni meccaniche (palancolati) o strutturali (paratie e diaframmi).

L'unico sistema che consente l'utilizzazione di punte wellpoint monolitiche lunghe anche più di 8 m è l'impianto jet-eductor (tabella dewatering). Di questo sofisticato sistema di drenaggio, applicato soltanto in pochi casi specifici, si parlerà in seguito.



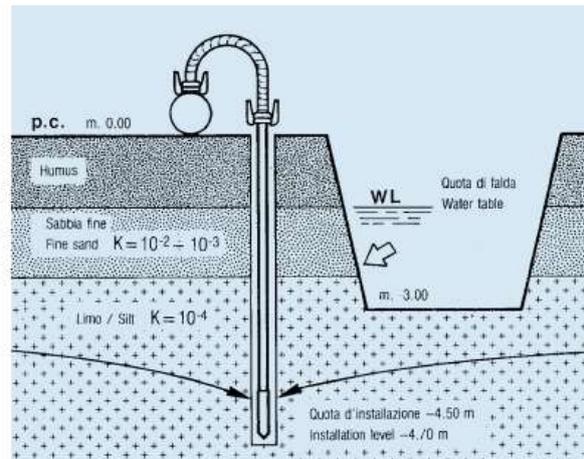
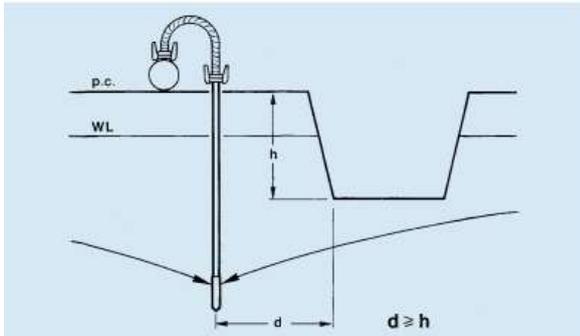
4. Distanza di installazione

Dall'esperienza si ricava che è consigliabile installare l'impianto wellpoint ad una distanza di sicurezza, rispetto all'unghia inferiore dello scavo, pari alla profondità di scavo secondo lo schema. Naturalmente, anche in questo caso, l'applicazione non può essere rigida in quanto nei cantieri edili non sempre è possibile reperire gli spazi necessari ad una corretta applicazione dello schema visto, per questioni di confini, di esproprio, etc. È fondamentale comunque evidenziare che più ci si avvicina con l'istallazione dell'impianto alla scarpata, più aumenta la probabilità statistica di incontrare inconvenienti durante le operazioni di scavo. Nelle pagine successive si vedrà che c'è una fondamentale differenza nel rispetto di queste regole a seconda del tipo di terreno. Il posizionamento dell'impianto wellpoint nei terreni con stratificazioni impermeabili deve essere fatto necessariamente alla giusta distanza dalle scarpate di scavo. Se i wellpoints sono troppo vicini alle scarpate, l'aria presente all'esterno dello scavo incontra meno attriti per confluire nel prefiltro di quelli che incontra l'acqua dei diversi strati.

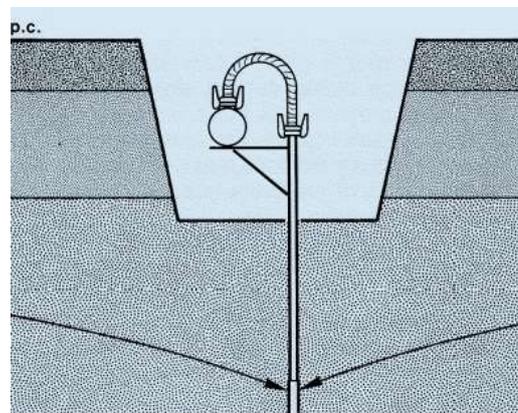
In queste condizioni, se nei prefiltri continua ad entrare aria dalle scarpate di scavo, maggiore estrazione d'aria non significa necessariamente una maggiore efficacia dell'impianto wellpoint nell'intercettazione delle infiltrazioni dei vari strati.

La quantità di aria che entra nei prefiltri può superare la capacità di aspirazione d'aria dei gruppi aspiranti e questo è intuitivo se si pensa alle enormi portate d'aria, rispetto a quelle idrauliche, che è possibile misurare attraverso fori di piccole dimensioni. Nei terreni sabbiosi a permeabilità crescente verso il basso l'azione dell'impianto wellpoint, come si è visto, provoca sulla falda una depressione a forma di cono che si sviluppa al di sotto del fondo scavo. È evidente che in queste condizioni non ha molta importanza la posizione dell'impianto che può addirittura essere messo al centro dello scavo, come si vede nello schema e nella

fotografia della pagina seguente.



La possibilità di installare l'impianto wellpoint all'interno dello scavo viene sfruttata specialmente quando si devono eseguire edifici con sottomurazioni di strutture esistenti o con piani sotterranei protetti da paratie in calcestruzzo. In questi casi però la presenza dell'impianto che deve rimanere in funzione fino a struttura ultimata determina discontinuità durante il getto delle fondazioni e tutta una serie di fori che devono essere chiusi con particolare cura dopo l'estrazione dei wellpoints.

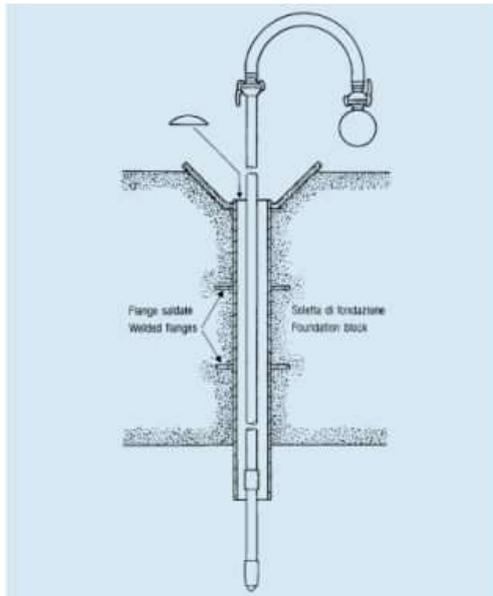


5. Isolamento filtri durante il getto delle fondazioni.

È quindi di estrema importanza studiare bene il sistema di isolamento per fare in modo che i fori sulle fondazioni, necessari per l'esercizio dell'impianto wellpoint, una volta estratti i filtri non pregiudichino le qualità della fondazione stessa.

I metodi più comunemente usati sono:

- protezione con tubi in plastica PVC;
- protezione con cartone ondulato;
- protezione con camicia in ferro flangiata come mostrato nello schema.



6. Sicurezza di funzionamento degli impianti wellpoint

L'impianto wellpoint ha un'importanza fondamentale per l'esecuzione degli scavi e delle opere di fondazione e, quindi, deve fornire sicurezza e garanzia di funzionamento a salvaguardia di tutte le opere successive. È evidente infatti la necessità (crescente con la profondità degli scavi) che l'impianto wellpoint funzioni ininterrottamente per evitare che le interruzioni nel pompaggio determinino la risalita dell'acqua di falda, crolli delle scarpate di scavo e danni incalcolabili per il cantiere. È compito del progettista, del direttore dei lavori, del tecnico specialista optare responsabilmente a favore della sicurezza e della garanzia di funzionamento promuovendo l'applicazione degli impianti di emergenza che la tecnologia, ormai da alcuni anni, mette a disposizione degli operatori del settore.

Il problema viene risolto con l'utilizzo dei seguenti sistemi:

- gruppi di emergenza automatici in parallelo;
- gruppi di emergenza integrativi a comando piezometrico;
- impianto di emergenza a generatore automatico.

- I gruppi di emergenza automatici sono motopompe, accoppiate in parallelo ai gruppi primari (elettrici o diesel), che intervengono automaticamente e si sostituiscono agli stessi, in caso di mancanza di energia elettrica o guasto improvviso, con una sequenza di inserzioni e disinserzioni che avvengono automaticamente comandate dalla fermata del gruppo primario o dalla caduta di depressione nell'impianto.

- I gruppi di emergenza integrativi a comando piezometrico sono motopompe di riserva, collegate all'impianto di emungimento, che intervengono in casi di necessità di emungimento di portate eccezionali comandate unicamente dal livello della falda attraverso sonde elettroniche inserite in pozzi piezometrici.
- L'impianto di emergenza a generatore temporizzato è costituito principalmente da un gruppo elettrogeno collegato che si avvia automaticamente in caso di mancanza di energia elettrica. L'impulso di intervento automatico del gruppo generatore può essere fornito:
 - dalla mancanza di erogazione di energia elettrica alle pompe primarie;
 - dalla caduta di depressione nell'impianto di pompaggio.

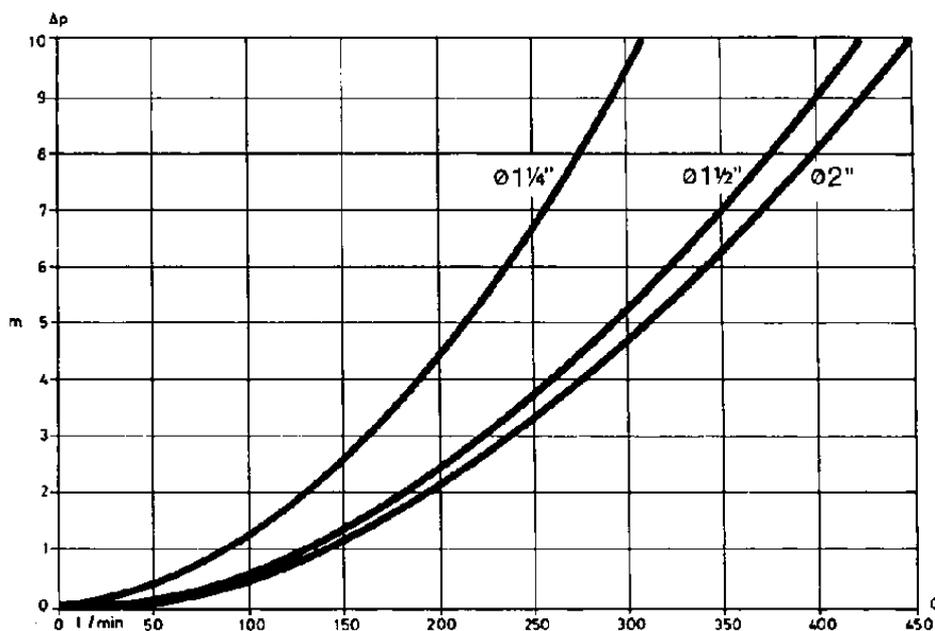
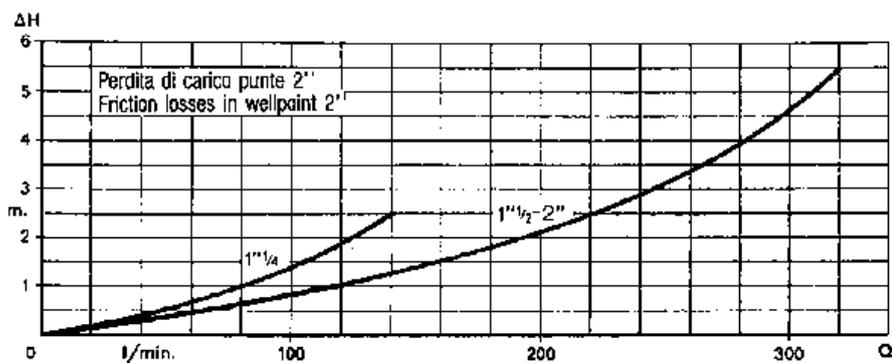
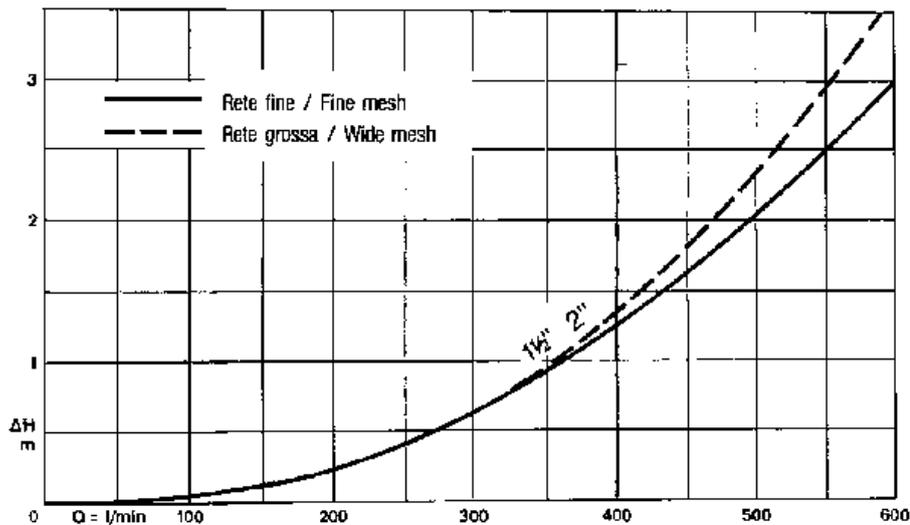
Attraverso un quadro elettronico si ottiene automaticamente l'avvio temporizzato in successione delle varie pompe onde evitare sovraccarichi di tensione difficilmente assorbibili dal gruppo stesso. Naturalmente la scelta del sistema di emergenza viene fatta sulla base delle caratteristiche tecniche e logistiche dell'impianto di pompaggio e sulla base delle esigenze di sicurezza ed economicità e quindi i vantaggi e gli svantaggi dell'una o dell'altra soluzione devono essere attentamente valutati in fase progettuale e in quella di dimensionamento dell'impianto di abbassamento di falda.



FILTRI WELLPOINT

Per individuare le principali caratteristiche dei filtri wellpoint più usati nelle opere di drenaggio è stata eseguita una serie di prove di laboratorio. È stata calcolata la portata dei filtri in aspirazione libera ottenuta col variare della depressione e, da questa, la loro portata massima teorica. Il grafico evidenzia i valori ottenuti.

Si sono altresì eseguite ulteriori prove per determinare le perdite di carico e gli attriti che influiscono maggiormente sui valori di portata ed è stato scelto per evidenziarli il sistema di iniezione d'acqua in pressione. I valori ottenuti per i filtri di diametro 1" 1/2 e 2" sono ostanzialmente corrispondenti e sono evidenziati nei grafici dove sono anche riportate le perdite di carico relative a due diversi tipi di rete di acciaio per il rivestimento del telaio del filtro stesso.

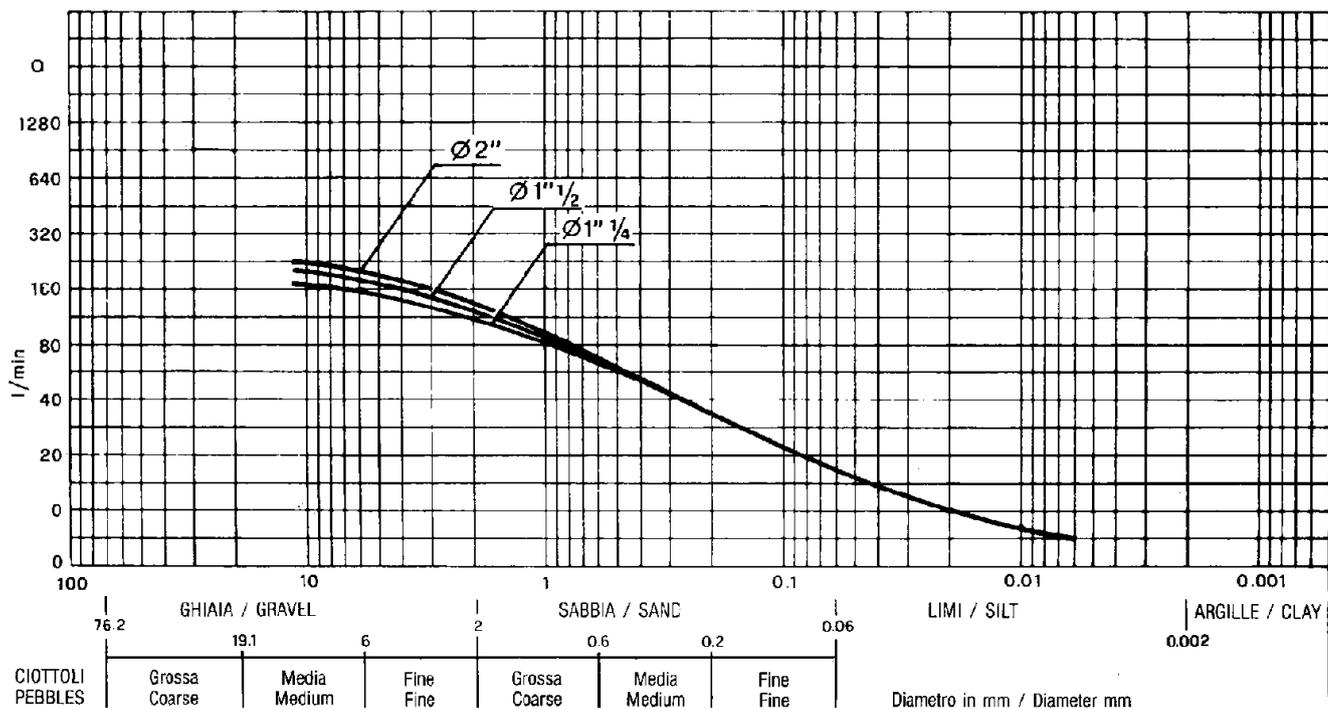


PORTATA FILTRI WELLPOINT NEI TERRENI

Nella pratica la portata caratteristica dei filtri si discosta notevolmente da quella ottenuta in aspirazione libera perchè condizionata

dalle proprietà caratteristiche del terreno (permeabilità e porosità) e dagli attriti che si determinano tra terreno e filtro e tra filtro e circuito di aspirazione. È stato possibile riportare in grafico la variazione della portata dei filtri nei vari tipi di terreno in rapporto al loro diametro. Le portate sono state rilevate a profondità e prevalenza costante scegliendo quei terreni caratterizzati da una maggiore uniformità.

Nei terreni a granulometrie fini e basse permeabilità l'aumento del diametro dei filtri non porta a particolari variazioni nella loro portata. Nei terreni ad elevate granulometrie e ad elevate permeabilità invece l'aumento del diametro dei filtri porta ad un considerevole miglioramento della loro portata unitaria, semprechè sia rispettata l'uniformità del terreno da cui dipende direttamente il coefficiente di permeabilità. Le esperienze eseguite hanno dimostrato la variabilità dei valori sottoriportati in funzione della percentuale di miscelazione dei terreni. Si sono trovati molto spesso terreni a grosse granulometrie (ghiaie) che hanno dato valori di portata molto simili a quelli dei terreni fini perchè mescolati ad una matrice di sabbie limose o limi.



RAPPORTO DI PERMEABILITÀ E NUMERO DI WELLPOINTS

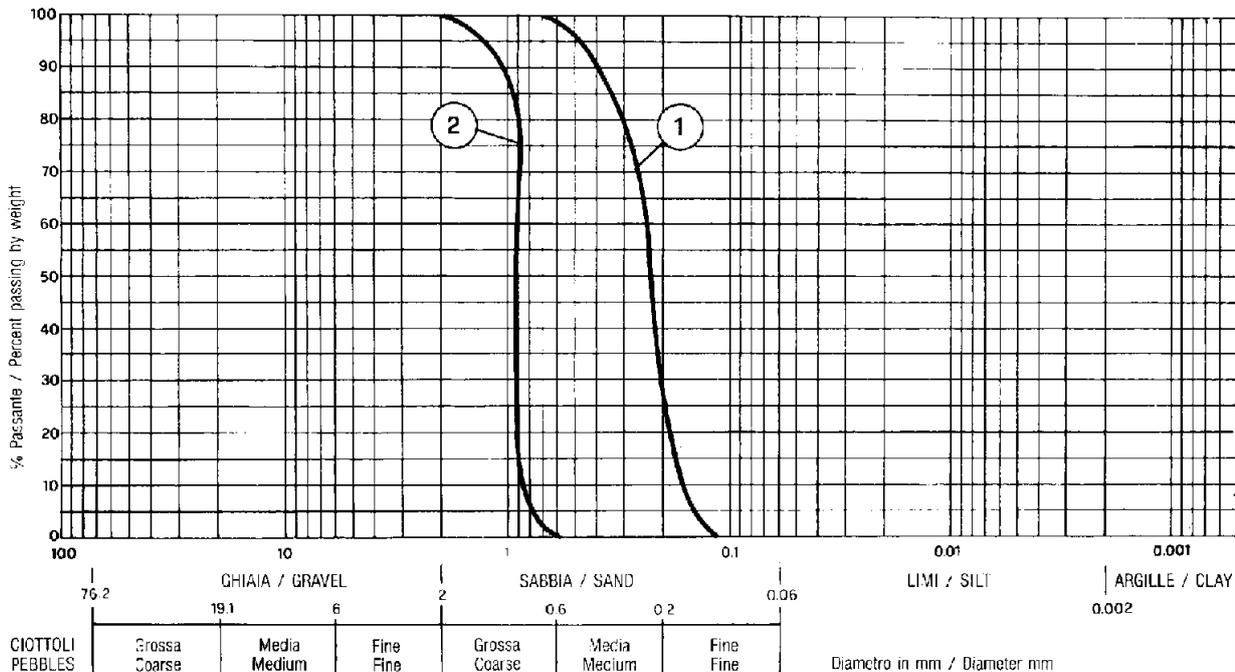
La portata di emungimento dell'impianto wellpoint nei terreni sabbiosi aumenta proporzionalmente con l'aumentare del valore di permeabilità. Si potrebbe dedurre quindi che anche il numero di wellpoints debba aumentare proporzionalmente

ma, dalle esperienze pratiche eseguite, si è visto che, entro certi limiti, all'aumentare della permeabilità dei terreni il numero di wellpoints necessari al drenaggio può addirittura diminuire. Sono state eseguite più

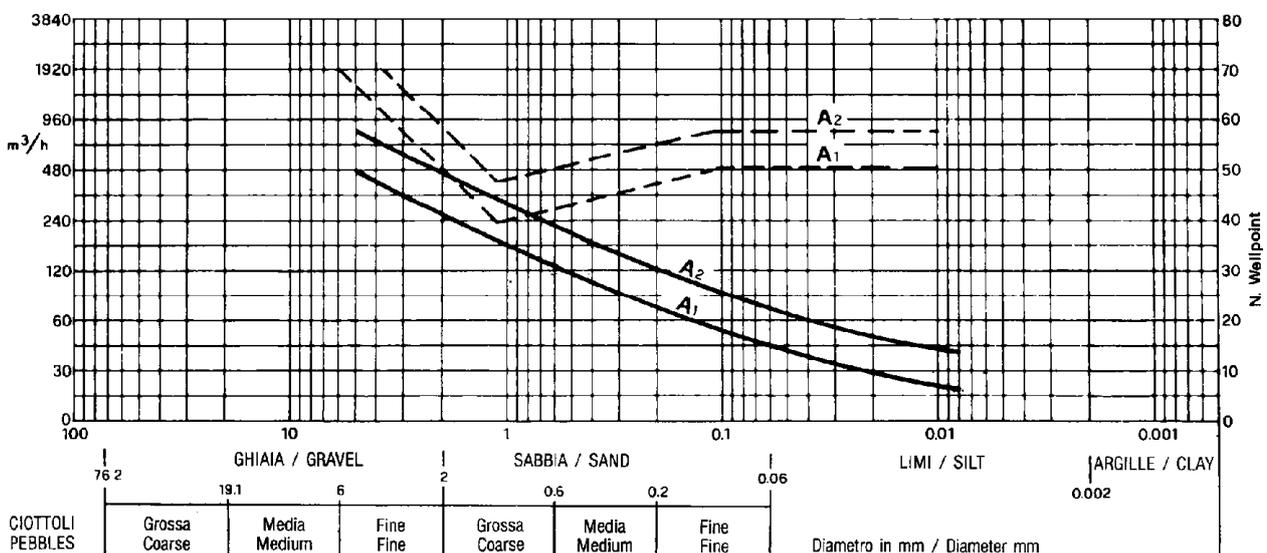
esperienze di drenaggio, con uno stesso impianto wellpoint, su due terreni sabbiosi omogenei caratterizzati da un diverso valore di permeabilità. Idue tipi di sabbie sono indicati nel diagramma granulometrico.

A parità di superficie drenata e a parità di abbassamento, il drenaggio della sabbia con permeabilità più elevata ha richiesto un numero di wellpoints inferiore. Si sono potuti così confermare i seguenti risultati:

- 1) gli stessi filtri wellpoint se utilizzati su sabbie a permeabilità diverse emungono portate diverse;
- 2) filtri wellpoint di tipo diverso (diverso diametro e diversa portata teorica) nella stessa sabbia emungono praticamente la stessa portata.



Nelle sabbie più grosse l'aumento di portata da emungere con l'impianto è evidentemente compensato dall'aumento della portata unitaria dei filtri wellpoint e quindi, entro determinate granulometrie, mentre la portata dei wellpoints aumenta con la permeabilità, il numero dei wellpoints diminuisce come mostrato nel grafico di figura.



RELAZIONE TRA POTENZA RICHIESTA E AREA DI DRENAGGIO

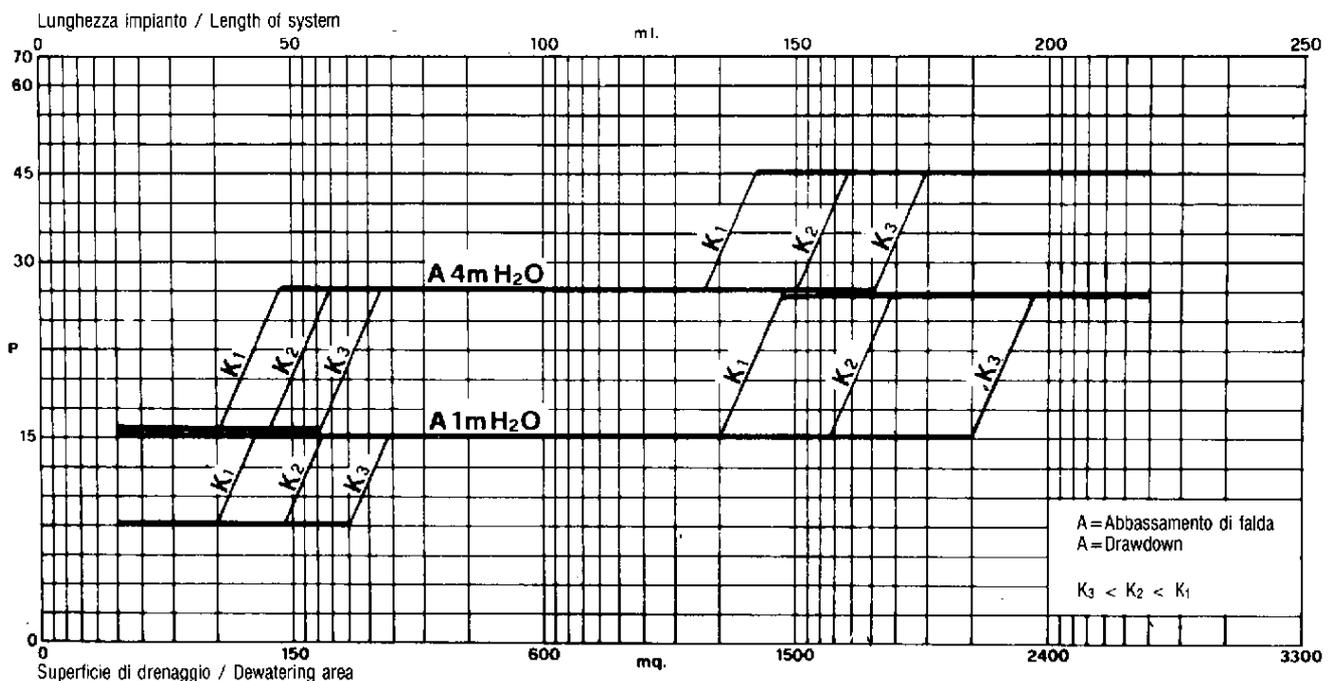
Si possono fare alcune importanti considerazioni sulla potenza richiesta dai gruppi aspiranti degli impianti wellpoint in rapporto alla superficie drenata nei vari tipi di terreno. È noto che l'energia assorbita da un gruppo di aspirazione di un impianto wellpoint è legata alla capacità idraulica (portata idraulica che si deve emungere dal terreno) e alla capacità di depressione, cioè il grado di vuoto che il gruppo aspirante deve mantenere nell'impianto wellpoint per renderlo funzionale. A parità di capacità di depressione nei terreni ad elevata permeabilità (sabbie e ghiaie) si hanno grosse portate idrauliche da emungere e quindi sono richieste potenze proporzionalmente elevate.

Nei terreni a bassa permeabilità (limi, argille, sabbie limose) la portata idraulica da emungere è bassa e quindi è stata studiata la possibilità di utilizzare gruppi a basso consumo di energia.

È possibile quindi mettere in evidenza il rapporto esistente nei due gruppi di terreni visti, tra la potenza richiesta per il funzionamento degli impianti wellpoint e le dimensioni dell'area di drenaggio e quindi delle dimensioni stesse dell'impianto. Il diagramma mette in evidenza l'esistenza di una fascia entro la quale l'estensione della superficie drenata (e quindi le dimensioni dell'impianto) non influisce sulla potenza richiesta dall'impianto wellpoint.

Terreni sabbiosi

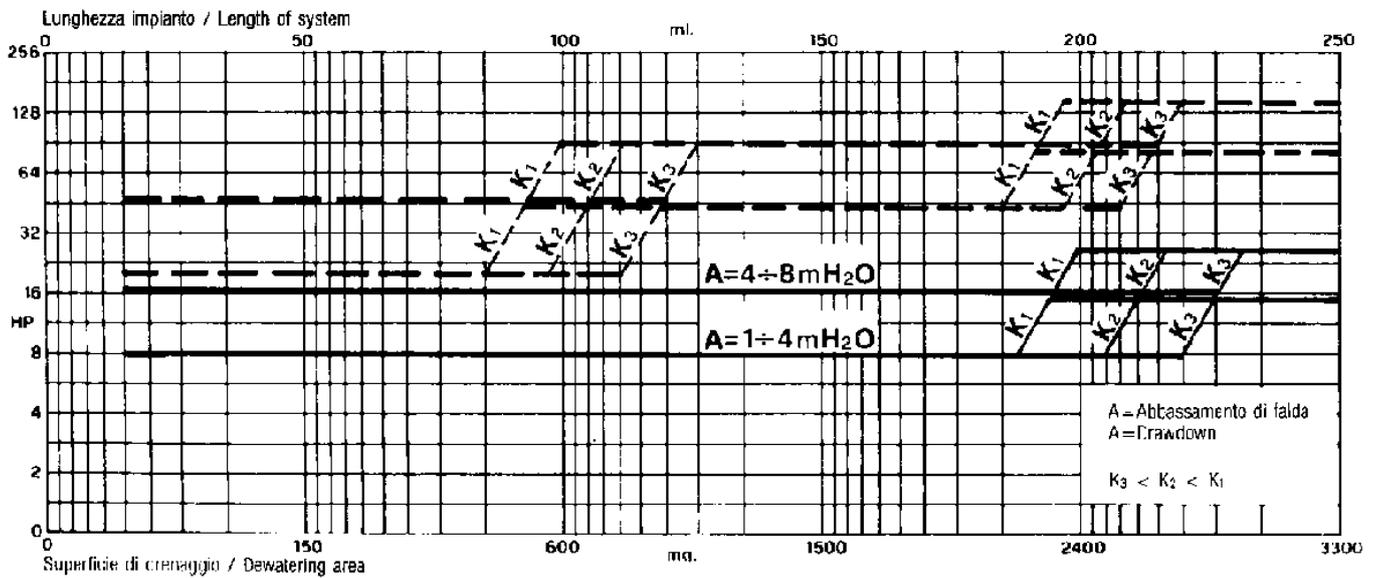
La potenza richiesta è funzione esclusiva della portata idraulica da emungere dal terreno e, a parità di abbassamento di falda da ottenere, si deve utilizzare lo stesso numero di wellpoint per drenare scavi di dimensioni diverse.



Terreni con strati limosi-argillosi

Il diagramma mette in evidenza come in questi terreni la fascia entro la quale la potenza richiesta non cresce con il variare dell'estensione della superficie drenata è molto più estesa rispetto ai terreni sabbiosi. A parità di abbassamento di falda si nota inoltre come le potenze richieste siano notevolmente inferiori rispetto ai terreni

sabbiosi e rispetto a quelle richieste in un recente passato (linee tratteggiate del diagramma) quando evidentemente per mantenere in depressione l'impianto wellpoint i gruppi aspiranti avevano dimensioni maggiori e quindi assorbivano potenze più elevate.



CARATTERISTICHE IMPIANTO WELLPOINT IN RELAZIONE AL TIPO DI TERRENO

Nelle pagine precedenti si è visto come negli impianti wellpoint la potenza richiesta, il numero dei wellpoints e l'area di drenaggio sono in relazione con la tipologia dei terreni. 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.

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	0,2 - 0,5	10E-3 - 10E-1
3	Sabbie fini	0,05 - 0,2	10E-4 - 10E-2
4	Sabbie e stratificazioni argillose	0,002 - 0,005	10E-7 - 10E-5

Tab. 1

Abbassam. Falda	Area di drenaggio	Interasse wellpoints		Portata emungim. impianto	Gruppi aspiranti necessari		Potenza richiesta Kw		Tempo di drenaggio (ore)	
		1° stadio	2° stadio		1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio
(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	1000	-	-	120 - 192	1	-	11	-	4	-
A = 2 m	1000	3,00 m	-	168 - 240	1	-	11	-	4-8	-
A = 3 m	1000	2,00 m	-	288 - 384	2	-	22	-	6-10	-
A = 4 m	1000	1,50 m	-	432 - 576	2-3	-	22-33	-	10-12	-
A = 5 m	1000	1,00 m	1,50 m	456 - 624	2	2	22	22	6-10	8-12
A = 6 m	1000	2,00 m	1,50 m	576 - 768	2	2	22	22	10-12	10-12
A = 7 m	1000	2,00 m	1,50 m	720 - 852	2	1	22	22	10-14	10-14
A = 8 m	1000	1,50 m	1,00 m	864 - 1164	2	3	22	33	10-16	16-24
A = 9 m	1000	1,00 m	0,75 m	1080 - 1368	3	3	33	33	12-16	14-20
A = 10 m	1000	1,00 m	-	-	-	-	-	-	-	-
		-								

Tab. 2

Abbassam. Falda	Area di drenaggio	Interasse wellpoints		Portata emungim. impianto	Gruppi aspiranti necessari		Potenza richiesta Kw		Tempo di drenaggio (ore)	
		1° stadio	2° stadio		1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio
(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	1000	-	-	90 - 150	1	-	11	-	-	-
A = 2 m	1000	4,00 m	-	120 - 180	1	-	11	-	4	-
A = 3 m	1000	3,00 m	-	144 - 240	1	-	11	-	4-10	-
A = 4 m	1000	2,00 m	-	180 - 312	2	-	22	-	10-16	-
A = 5 m	1000	1,00 m	-	234 - 384	2-3	-	22-33	22	16-24	-
A = 6 m	1000	0,75 m	1,50 m	288 - 432	1	1-2	11	22	6-12	6-10
A = 7 m	1000	2,00 m	1,50 m	324 - 528	1-2	3-4	11-22	33-44	6-12	6-12
A = 8 m	1000	1,50 m	1,00 m	360 - 624	2	2	22	22	6-12	12-20
A = 9 m	1000	1,00 m	0,75 m	414 - 696	-	4-5	44	55	8-12	16-24
A = 10 m	1000	1,00 m	-	-	-	-	-	-	16-24	-
		-							-	

Tab. 3

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

Tab. 4

Abbassam. Falda	Area di drenaggio	Interasse wellpoints		Portata emungim. impianto	Gruppi aspiranti necessari		Potenza richiesta Kw		Tempo di drenaggio (ore)	
		1° stadio	2° stadio		1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio
(m di H ₂ O)	(m ²)	1° stadio	2° stadio	(m ³ /h)	1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio	1° stadio	2° stadio
A = 1 m	100-2500	2,50 m	-	6-48	1	-	6	-	24	-
A = 2 m	100-2500	2,00 m	-	9-54	1	-	6	-	24	-
A = 3 m	100-2500	2,00 m	-	12-60	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

LIMITI DELL'IMPIANTO WELLPOINT

L'impianto wellpoint rappresenta la soluzione più economica e più semplice per l'esecuzione degli scavi in presenza d'acqua, ma nella progettazione va tenuto presente che bastano poche variazioni nei parametri stratigrafici e idrogeologici dei terreni a determinare una sua esclusione o una sua integrazione con altri metodi. I limiti teorici di drenaggio con il sistema wellpoint sono riportati nella seguente tabella.

Tipo di suolo	Ghiaia <i>Gravel</i>			Sabbia <i>Sand</i>			Limo <i>Silt</i>	Argilla <i>Clay</i>
	Gros. <i>Coarse</i>	Med. <i>Med.</i>	Fine <i>Fine</i>	Gros. <i>Coarse</i>	Med. <i>Med.</i>	Fine <i>Fine</i>		
Diametro dei grani in mm	20	6	2	0,5	0,2	0,05		0,005
Determinazione della granulometria	SETACCIATURA <i>SIEVING</i>						SEDIMENTAZIONE <i>SEDIMENTATION</i>	
Coefficiente di permeabilità K	10		10^{-1}		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-7} 10^{-8}
Classificazione	Molto permeabile <i>High permeability</i>			Permeabile <i>Medium permeability</i>			Poco permeabile <i>Low permeability</i>	Impermeabile <i>Impermeable</i>
Drenaggio	Sistema wellpoint a vuoto <i>Vacuum wellpoint system</i>						Sistema wellpoint a gravità <i>Gravity feed wellpoint system</i>	

I principali limiti pratici al drenaggio con il sistema wellpoint sono:

- 1) presenza di terreni ghiaiosi a grossa granulometria e ad elevata permeabilità;
- 2) presenza di terreni rocciosi con permeabilità per fessurazione;
- 3) spazi limitati che richiedono un contenimento meccanico delle pareti di scavo per ragioni di sicurezza;
- 4) profondità di scavo superiori ai 10-14 metri;
- 5) condizioni idrogeologiche e idrologiche particolari che determinano una insufficiente resa dell'impianto.

1. Scavi in terreni ghiaiosi

Quando la pezzatura della ghiaia supera i 5-10 cm di diametro le punte wellpoint non sono utilizzabili a causa della resistenza opposta dalla ghiaia all'infissione. Malgrado siano state eseguite prove con vibrator, compressori e battipali meccanici, non si è arrivati ad una metodologia di infissione standard che possa essere utilizzata in più tipi di ghiaie. Un altro limite all'utilizzo del sistema wellpoint è rappresentato dal fatto che in natura i terreni ghiaiosi, nella maggior parte dei casi, hanno una matrice più fine generalmente limosa o argillosa. In presenza di tali matrici i normali filtri wellpoint, costituiti da una doppia reps in acciaio, tendono all'intasamento non appena si inizia il pompaggio. Nelle ghiaie dilavate (senza matrice fine e quindi senza diminuzione di permeabilità) la capacità limite dell'impianto wellpoint è insufficiente rispetto alla potenzialità

della falda che è soggetta a forte alimentazione a causa di elevate sottopressioni. Il numero dei filtri wellpoint da usare diventerebbe praticamente illimitato con tutti i risvolti negativi conseguenti. In particolare si può riassumere che

l'impianto wellpoint non è utilizzabile:

- quanto la pezzatura delle ghiaie supera 5-10 cm di diametro;
- quando la matrice delle ghiaie è costituita da limi o argille;
- quando le ghiaie sono dilavate e la falda è sottoposta a forte alimentazione.

2. Scavi in terreni rocciosi

È noto che il sistema wellpoint per richiamare l'acqua sfrutta la differenza di pressione che si viene a creare tra il filtro e la pressione atmosferica gravante sulla superficie di falda. In pratica la condizione indispensabile per la sua efficacia è che i terreni abbiano una continuità di vuoti (permeabilità per porosità) e quindi esista attraverso di essi un flusso acquifero o la possibilità che esso ci sia. I terreni rocciosi possono non avere questo requisito, in quanto spesso sono costituiti da formazioni impermeabili fessurate per fratturazione o dissoluzione, e il flusso d'acqua può circolare attraverso vie che non è possibile individuare. È evidente in questi casi l'impossibilità di creare una zona di influenza; qualsiasi intercettamento sarebbe puramente casuale e non si avrebbe alcuna garanzia di successo nell'utilizzazione dell'impianto wellpoint.

3. Scavi in spazi limitati

L'abbassamento della falda con il sistema wellpoint provoca una stabilizzazione delle pareti di scavo, ma questo può avvenire solo quando le scarpate hanno un'inclinazione, funzione dell'angolo di attrito caratteristico del terreno, tale da soddisfare positivamente la verifica di stabilità. Quando per mancanza di spazi o per ragioni di sicurezza non è possibile rispettare l'inclinazione necessaria delle scarpate, bisogna intervenire con metodi complementari che abbiano la funzione di sostentamento meccanico dello scavo. I metodi più comunemente usati allo scopo sono le paratie in calcestruzzo e i palancolati. Si ricorda che questi sistemi da soli non possono risolvere i problemi relativi alla presenza della falda (se non raggiungono profondità tali da interessare qualche strato impermeabile) in quanto contrastano le spinte idrauliche laterali ma non impediscono il rifluimento dal fondo. In questi casi diventa molto importante il calcolo della portata di rifluimento e uno dei metodi usati è quello che fa riferimento alla teoria di Muskat.

$$Q = a KH$$

La spiegazione dei simboli è riportata negli schemi seguenti.

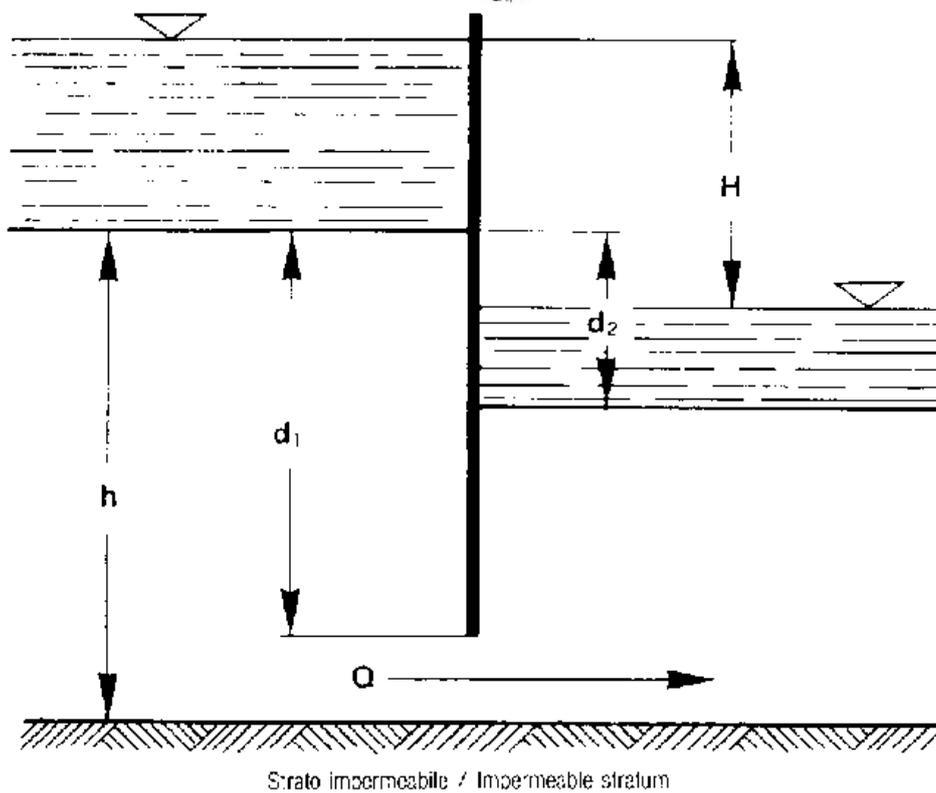
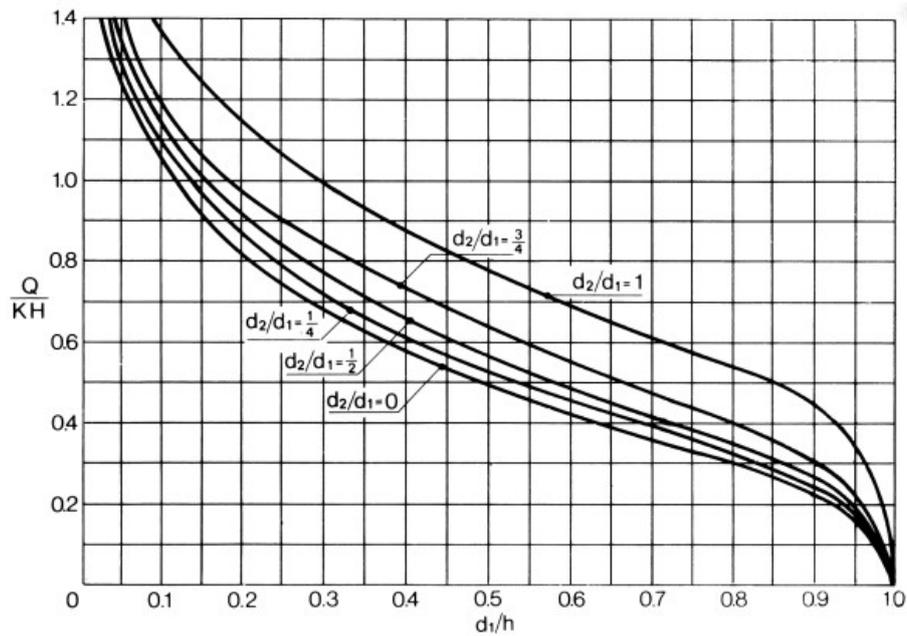
4. Scavi profondi

Per l'esecuzione di scavi in presenza di falda acquifera a profondità superiore ai 10-14 m generalmente non si ricorre al sistema di drenaggio tipo wellpoint anche se i terreni di scavo teoricamente si prestano al suo utilizzo. Alcune delle ragioni sono le seguenti:

- il movimento terra necessario per la posa dei vari stadi di impianti wellpoint, con la necessità di rispettare scarpate di scavo molto ampie, assumerebbe proporzioni tali da diventare spesso inaccettabile;
- i consumi e le manutenzioni dei vari stadi di impianti wellpoint determinano, soprattutto per grandi scavi, condizioni logistiche, operative ed economiche di cantiere così pesanti da diventare improponibili;
- i rischi collegati alla sicurezza degli scavi diventerebbero, man mano che si procede verso il fondo, troppo elevati.

Infatti non è consigliabile, se non a seguito di indagini tecniche molto approfondite, fare affidamento sicuro sulla efficienza degli stadi wellpoints molto profondi in quanto la probabilità che si verifichino inconvenienti

aumenta proporzionalmente con la profondità e lo stato dei lavori sarebbe ad un punto tale da rendere i danni derivanti praticamente insormontabili.



SISTEMA WELLPOINT-EDUCTOR

In particolari situazioni, morfologiche ed operative, può essere necessario usare aste di sollevamento lunghe oltre 8 metri, e questo porta all'esclusione del sistema wellpoint tradizionale.

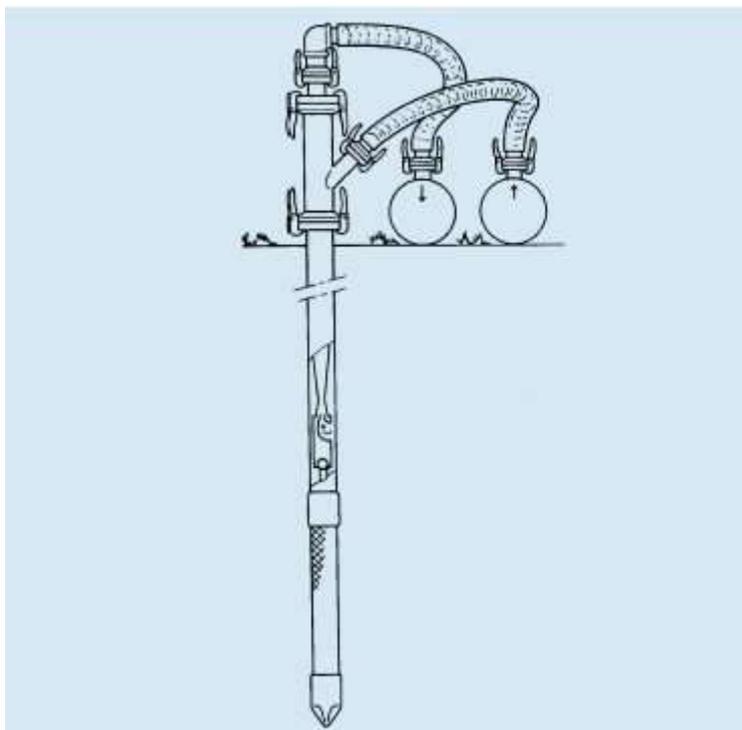
A differenza del sistema wellpoint il sistema eductor non sfrutta la pressione atmosferica per il sollevamento dell'acqua e quindi, eoricamente, può aspirare l'acqua da qualsiasi profondità. Esso si basa sulla circolazione di acqua in pressione attraverso un eiettore che accelerando la velocità del flusso determina una depressione nella zona retrostante, occupata dal filtro wellpoint, e quindi il sollevamento di una portata d'acqua in funzione:

- della pressione e portata di alimentazione;
- del diametro e caratteristiche geometriche dell'eiettore;
- della profondità di aspirazione.

Il sistema, che nella sua forma schematica è rappresentato nella figura, è caratterizzato costruttivamente dalle seguenti differenze rispetto al sistema wellpoint:

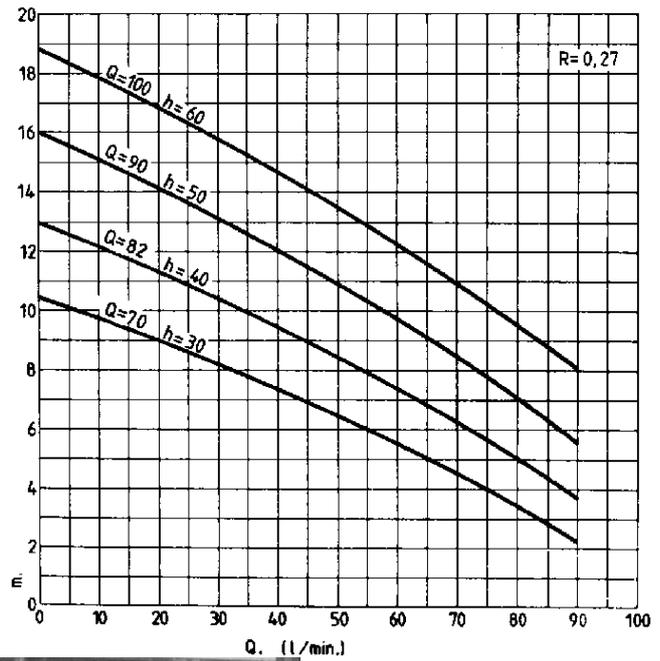
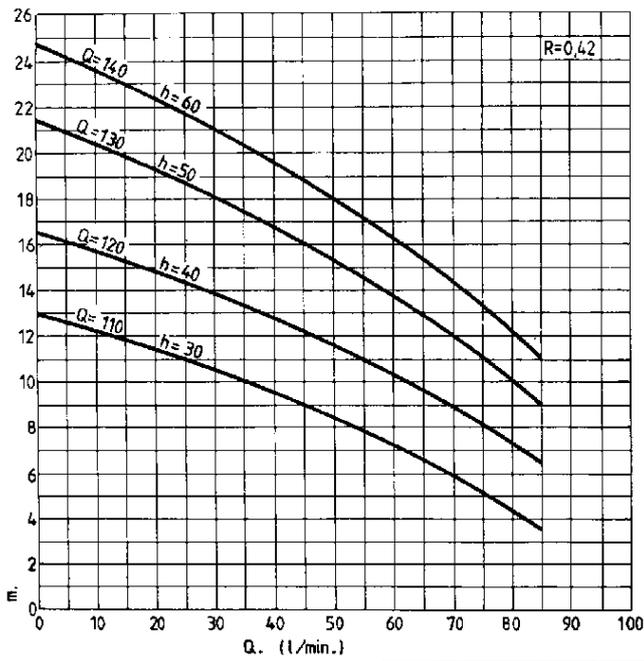
1. Il gruppo di alimentazione deve avere caratteristiche di alta prevalenza;
2. Il circuito di aspirazione è costituito da due collettori uno per l'alimentazione ed uno per l'aspirazione;
3. Le aste di sollevamento sono costituite da due tubi concentrici uno esterno per il filtro wellpoint ed uno interno per l'eiettore.

L'installazione, il funzionamento e la resa idraulica di questo sistema sono notevolmente diversi da quelli degli impianti wellpoint e questo comporta maggiori complicazioni nella rilevazione dei parametri tecnici necessari alla progettazione e quindi una utilizzazione di questo sistema solo per casi specifici, generalmente in presenza di terreni a granulometria fine.



In pratica questo sistema, permettendo l'aspirazione dell'acqua da profondità superiori a quelle dei sistemi wellpoint tradizionali,

viene usato in alternativa alle installazioni di impianti wellpoint multi-stadio a gradoni. Nei diagrammi sono riportate le curve caratteristiche di due eiettori caratterizzati da diverse dimensioni geometriche (R è il rapporto tra il diametro dell'ugello ed il diametro del Venturi).



APPLICAZIONI DEL SISTEMA WELLPOINT

L'applicazione più diffusa del sistema wellpoint si riscontra nel campo delle costruzioni per ottenere un abbassamento temporaneo di falda nell'esecuzione di scavi per:

- scantinati sotterranei;
- collettori fognari e centrali di sollevamento;
- condotte, oleodotti, gasdotti, elettrodotti;
- irrigazioni e bonifiche.

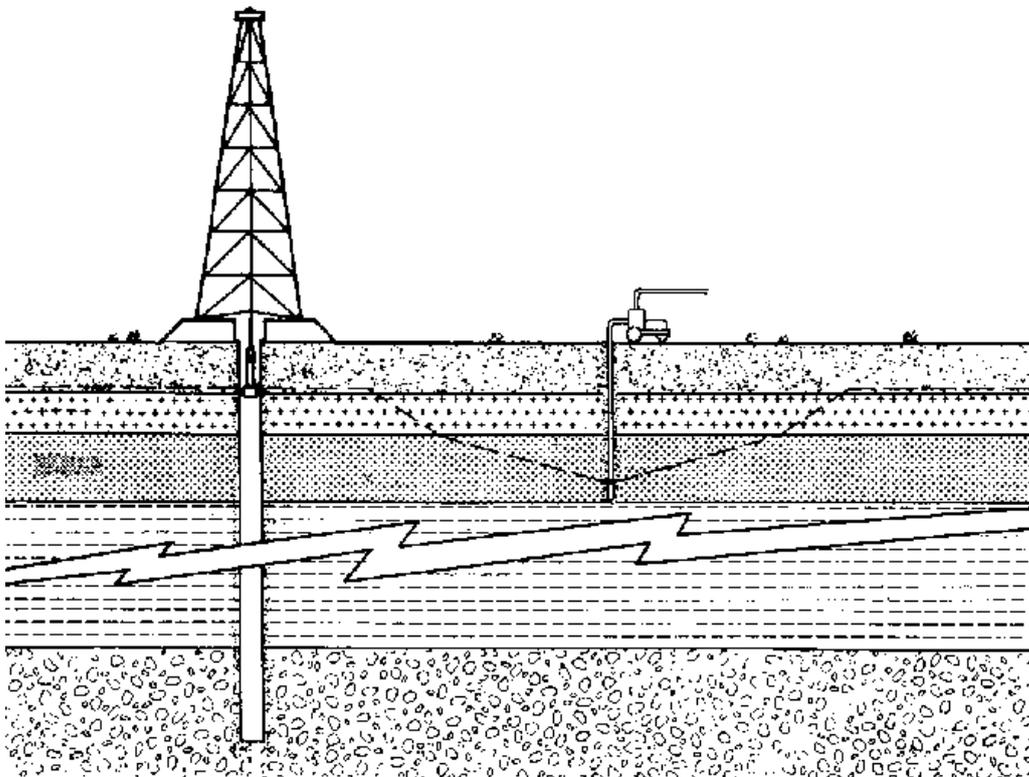
Tuttavia il sistema wellpoint si presta anche ad una serie di applicazioni particolari conseguenti a studi e progettazioni specifiche.

APPROVVIGIONAMENTO IDRICO DA FALDE SUPERFICIALI

Il sistema wellpoint ha trovato una larga utilizzazione nello sfruttamento idrico delle falde superficiali in pianure e zone caratterizzate geologicamente da alternanze di terreni alluvionali più o meno fini. Esso viene utilizzato perchè presenta il vantaggio di permettere lo sfruttamento di falde superficiali e, quindi, di costituire l'alternativa alle trivellazioni profonde necessarie per l'individuazione di acquiferi interessanti.

L'utilizzazione del sistema wellpoint permette lo sfruttamento:

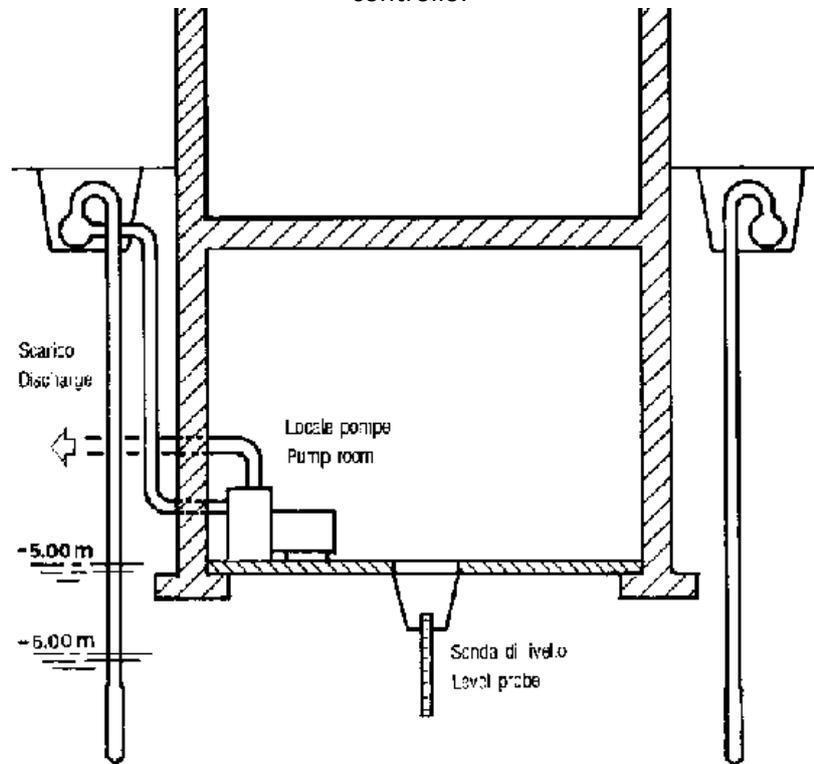
- a scopo industriale;
- a scopo domestico;
- a scopo agricolo.



IMPIANTO WELLPOINT PER CONTROLLO LIVELLI ECCEZIONALI DI FALDA

Ci sono zone del territorio nazionale costituite prevalentemente da banchi alluvionali con regime idraulico sotterraneo caratterizzato da forti escursioni di falda acquifera stagionali, generalmente determinate dalla concomitanza di vari fattori come la piovosità, il disgelo, le irrigazioni. Questi innalzamenti di livello che in

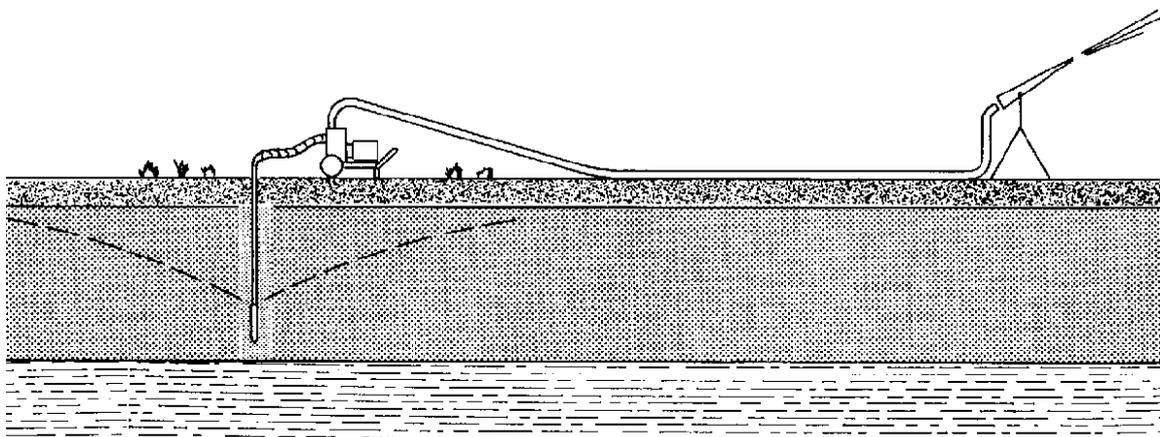
molti casi raggiungono anche valori eccezionali imprevisti possono provocare notevoli inconvenienti a edifici e manufatti che all'atto della costruzione non erano in presenza di falda acquifera. In altri casi come nell'esempio di figura il sistema wellpoint viene concepito come un vero e proprio sistema di emergenza in grado di intervenire automaticamente sotto l'impulso di sonde di livello inserite in un tubo piezometrico di controllo.



IMPIANTI WELLPOINT PER IRRIGAZIONE

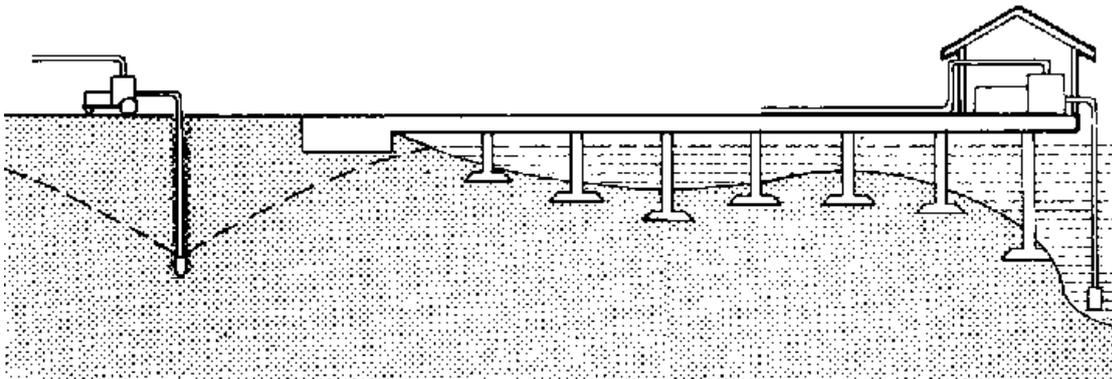
Il problema dell'approvvigionamento idrico a scopi irrigui è sempre stato risolto prelevando l'acqua necessaria da pozzi profondi o da rogge e canali. L'acqua viene poi portata al luogo di utilizzazione con sistemi di condotte e tubazioni a volte con costi elevati. Alcune colture pregiate si sviluppano principalmente su terreni prossimi al mare e necessitano di acque con concentrazione chimica e temperatura ben definite.

In condizioni stratigrafiche ed idrogeologiche adatte è stato possibile realizzare gli approvvigionamenti a mezzo del sistema wellpoint.



WELLPOINT PER PRESE A MARE DI IMPIANTI DI DISSALAZIONE

Sono stati realizzati numerosi progetti ed impianti per dissalare acqua marina. Generalmente questi progetti vengono attivati in zone aride e l'approvvigionamento di acqua marina si risolve con la costruzione di un pontile che consente una presa a mare. Soprattutto nei bacini mediterranei però, caratterizzati da fondali bassi e molto estesi, è necessario l'esecuzione di pontili di enormi dimensioni con costi conseguenti. La presenza di notevoli aggregati di alghe marine nei fondali bassi costituisce un ulteriore problema per le prese a mare tradizionali. Anche in questi casi sono stati studiati e realizzati in alternativa degli impianti wellpoint che, installati o sull'arenile o addirittura in condotti sottomarini, hanno permesso di risolvere con soddisfacenti vantaggi, sia tecnici che economici, il problema.

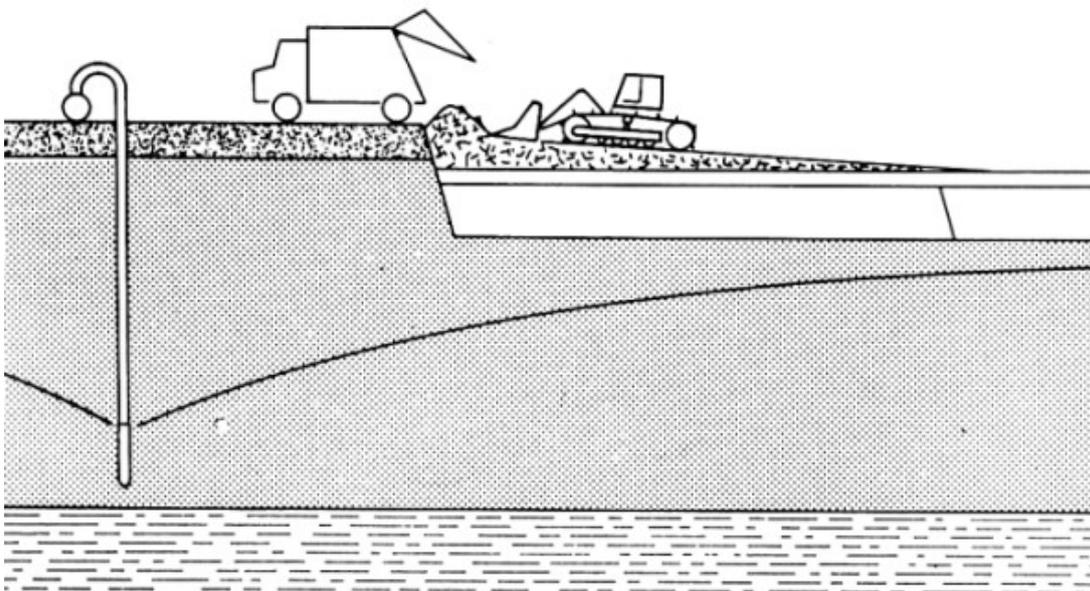


IMPIANTO WELLPOINT PER DISCARICHE CONTROLLATE

La problematica legata allo smaltimento dei rifiuti solidi urbani e fanghi di depurazione ha visto consolidarsi la tendenza ad utilizzare il metodo a "discarica controllata" per ragioni tecniche e paesaggistiche. Per le zone di pianura, che presentano il livello della falda acquifera prossimo al piano di campagna, quando si progetta una discarica controllata si rende necessario evitare il contatto tra rifiuti e falda. Questa condizione deve essere rispettata fino al termine delle operazioni di costruzione ed impermeabilizzazione oppure fino al termine dei

processi
di mineralizzazione dei rifiuti.

Il sistema wellpoint costituisce un metodo valido ed economicamente conveniente per la risoluzione dei problemi visti in precedenza, senza ricorrere a soluzioni strutturali o ad opere fisse di elevato valore unitario.



CONCLUSIONI

Nella pratica si è visto che nei depositi alluvionali caratterizzati da sabbie di non elevate permeabilità, l'errore nello stimare

la portata di emungimento, sulla base della sola esperienza pratica acquisita, rimane entro limiti accettabili per almeno un 70% degli interventi di drenaggio. Questa corrispondenza ha contribuito a diffondere la convinzione, smentita tutti i giorni dagli inconvenienti rilevati nei cantieri, che il drenaggio con il sistema wellpoint sia una tecnica priva di difficoltà e quindi non necessiti di particolare attenzione nella progettazione. Gli inconvenienti determinatisi per una insufficienza dell'impianto wellpoint vengono spesso risolti meccanicamente mediante

l'uso addizionale di filtri e pompe senza l'accortezza di risalire sperimentalmente alle cause dell'insufficienza rilevata.

L'indagine sperimentale nello specifico campo del drenaggio con il sistema wellpoint è estremamente limitata ma lo stesso si può dire per tutti gli altri sistemi di drenaggio e la mancanza di una ricerca specifica è dovuta in parte anche allo scarso interesse dimostrato dalle ditte specializzate che tendono a fornire solo i dati relativi ad esperienze positive.

BIBLIOGRAFIA

*Bedaux R.,
Terrassement dans terrains aquifères,
Technique et documentation, 1978.*

*Cambefort H.,
Contribution à l'étude du rabattement des nappes aquifères,
Travaux 1952.*

*Edward E. - Johson Inc.,
Ground water and wells, Library of Congress,
Catalog card. n. 66-29629, 1966.*

*Engelund F.,
On the theory of multiplewell system,
Acta polytechnica, vol. 4 n. 7, 1957.*

*Gardel A.,
Travaux d'Hydraulique et Fondations,
Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne.*

*Mansuri C.I. - Kaufam R.,
Dewatering,
Chapter 3, Foundation engineering, G.A. Leonards,
Mc Graw Hill, New York 1962.*

*Muskat,
Flow of homogeneous fluid through porous media,
(1946) J.W. Edwards Inc., Ann Arbor, Michigan.*

*Savey P.,
Les travaux de drainage et de Rabattement - Choix
Technique et Economique,
INSA 1972.*

*Schmertmann J.H.,
Dewatering case in Florida,
Journal of the CONSTRUCTION DIVISION, USA 1974.*

*Sykes Ltd - Cashmann P.M.,
Ground water pumping techniques for excavation and other works,
World Construction 1976.*

*Swiger W.F.,
Control of Ground water in excavations,
Journal of the CONSTRUCTION DIVISION - USA 1960.*

*Weber H. - Rapper C.,
Wasserhaltung,
da Bauverfahren, Germania.*