



Provincia di Livorno



Laboratorio Nazionale
dell'Irrigazione



**Elementi di base sulle
pompe per impianti di
irrigazione
e sulla utilizzazione delle
acque sotterranee
tramite pozzi.**

Marcello Bertolacci, Pasquale Delli Paoli

*Conoscere le caratteristiche di
funzionamento delle pompe e le dinamiche
dell'acqua nelle falde per la conservazione
della agricoltura irrigua e delle
risorse ambientali*



Servizi Livorno s.r.l.



E.R.A.T.A.



COLDIRETTI

**Impresa Verde
Pisa-Livorno**



Provincia di Livorno



Laboratorio Nazionale
dell'Irrigazione

*Elementi di base sulle
pompe per impianti di irrigazione
e sulla utilizzazione delle
acque sotterranee tramite pozzi.*

*Conoscere le caratteristiche di funzionamento delle pompe e delle
dinamiche dell'acqua di falda per una agricoltura efficiente e la
conservazione dell'ambiente*

Marcello Bertolacci, Pasquale Delli Paoli



E.R.A.T.A.



COLDIRETTI

Impresa Verde
Pisa-Livorno

MARCELLO BERTOLACCI

Tecnico EP dell'Università di Pisa - Responsabile tecnico del Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione.

PASQUALE DELLI PAOLI

Dottore Agronomo Divulgatore Agricolo - CIA Servizi Livorno s.r.l.

Il dott. M. Bertolacci ha curato la trasposizione in forma divulgativa delle informazioni tecnico-scientifiche. Il dott. P. Delli Paoli ha curato la parte normativa relativa ai pozzi ed indicato le esigenze emerse sul territorio e la forma comunicativa da adottare. Entrambi gli autori hanno collegialmente svolto l'impostazione, la stesura e la revisione del testo dell'opuscolo.

Gli autori ringraziano la Signora Silvia Tagliacarne, per la professionale collaborazione fornita nella redazione della parte grafica e nella formattazione definitiva.

Elementi di base sulle pompe per impianti di irrigazione e sulla utilizzazione delle acque sotterranee tramite pozzi.

SOMMARIO

PARTE PRIMA

Elementi di base sulle pompe per impianti di irrigazione

1. Premessa	4
2. Principi elementari relativi al moto dell'acqua nelle condotte	4
3. Caratteristiche costruttive delle pompe centrifughe per irrigazione	7
3.1 Il problema della cavitazione nelle pompe.....	8
3.2 Pompe con motore in superficie ad asse orizzontale.....	9
3.3 Pompe immerse ad asse verticale con motore in superficie.....	10
3.4 Elettropompa sommersa (pompa e motore sommersi).....	11
4. Caratteristiche di funzionamento delle pompe	11
4.1 Caratteristiche di funzionamento delle elettropompe	14
5. Scelta della pompa adatta all'impianto	16
6. Caratteristica della pompa e dell'impianto.	20

PARTE SECONDA

Elementi di base sulla utilizzazione delle acque sotterranee tramite pozzi

1. Il ciclo idrologico dell'acqua	22
2. I pozzi	23
2.1 Livello statico e livello dinamico.....	24
3. Effetti dell'eccessivo emungimento sul sistema idrologico.	25
4. Principali inconvenienti dei pozzi e loro rimedi.	27
4.1 Venuta di sabbia.....	27
4.2 Abbassamento del livello dinamico del pozzo (diminuzione della produttività idraulica)..	28
5. Alcune linee fondamentali del Regolamento in materia di gestione del Demanio Idrico riguardanti le concessioni di derivazione di acqua pubblica a scopo irriguo della Provincia di Livorno.	30

PARTE PRIMA

Elementi di base sulle pompe per impianti di irrigazione.

1. Premessa

La sempre maggiore importanza di un razionale impiego dell'acqua e dell'energia, sia per aumentare il profitto delle aziende agricole, che per sostenere la difesa dell'ambiente ed il razionale uso delle risorse naturali, impone un sempre maggiore bagaglio di conoscenze tecniche da parte operatori agricoli. Il presente opuscolo si pone l'ambizioso obiettivo di contribuire a soddisfare questa esigenza in termini divulgativi, illustrando i principi pratici elementari sulla scelta e la modalità di utilizzo delle pompe per l'irrigazione in relazione all'impianto irriguo ed alla fonte di approvvigionamento.

Nell'opuscolo, oltre ai principi di idraulica di base verranno forniti elementi pratici per valutare il corretto funzionamento delle pompe già presenti in azienda, suggerendo, dove è possibile, gli accorgimenti per migliorarne le prestazioni.

2. Principi elementari relativi al moto dell'acqua nelle condotte

Se abbiamo due serbatoi a diversa quota uniti da una condotta, l'acqua si muove spontaneamente passando dal serbatoio a quota più alta a quello a quota più bassa (fig.1). Il meccanismo è il seguente:

L'acqua che nel serbatoio A è praticamente in quiete, appena entra nella condotta assume una velocità che mantiene in tutto il percorso, per tornare di nuovo praticamente in stato di quiete nel serbatoio B. Il moto dell'acqua determina delle perdite di energia uniformemente distribuite lungo la condotta e localizzate all'imbocco dal serbatoio A ed allo sbocco nel serbatoio B.

Le perdite di carico uniformemente distribuite sono dovute all'attrito dell'acqua lungo le pareti della condotta, mentre quelle localizzate sono dovute principalmente a dispersioni in moti vorticosi dell'acqua.

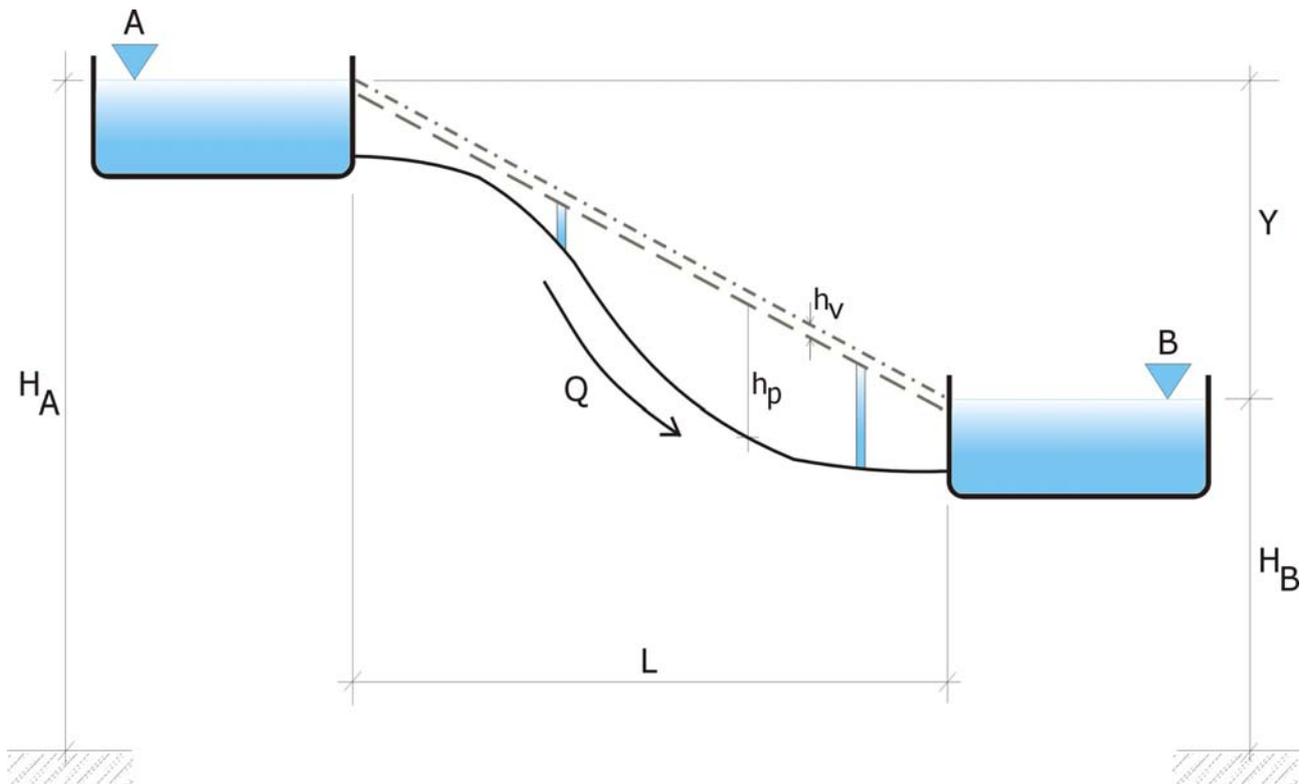


Fig. 1 – Schematizzazione di un acquedotto per trasporto dell’acqua da un serbatoio più alto ad uno più basso.

L’energia necessaria a compensare tutte le perdite di carico e quindi a consentire il movimento dell’acqua è indicata in figura 1 dal dislivello Y , che prende anche il nome di “carico motore”.

Ricapitolando, il carico motore è quella quantità di energia capace di

- spostare l’acqua dal serbatoio A al serbatoio B imprimendo una certa velocità all’acqua all’interno della condotta;
- vincere le resistenze che l’acqua incontra lungo le pareti del tubo (perdite uniformemente distribuite);
- vincere le perdite di energia che l’acqua subisce all’imbocco e all’uscita della condotta (perdite localizzate).

Sia le perdite di carico uniformemente distribuite che quelle localizzate sono direttamente proporzionali al quadrato della velocità dell’acqua nella condotta.

La velocità media U assunta dall’acqua nella condotta è data dal rapporto fra la portata Q e la sezione A della condotta.

$$U = \frac{Q}{A} \quad [1]$$

Pertanto, assunto che la condotta in figura 1 abbia diametro costante, la velocità resta costante lungo tutta la condotta

La formula evidenzia inoltre che, a parità di portata, nelle condotte con sezione più piccola si hanno velocità più elevate e quindi maggiori perdite compressive per attrito¹.

¹ Poiché $A = \frac{\pi D^2}{4}$ la velocità è inversamente proporzionale al quadrato del diametro della condotta.

La legge che regola il moto dell'acqua nella condotte deriva dal principio generale della conservazione dell'energia ed è stata formulata da Bernoulli. Per la comprensione di questa legge occorre considerare le varie forme di energia che può assumere l'acqua.

Una prima forma è quella dovuta alla quota a cui si trova ed è del tutto simile all'energia di posizione di un solido. Nella figura 1, al pelo libero dell'acqua nel serbatoio A l'energia di posizione vale H_A , mentre al pelo libero dell'acqua nel serbatoio B vale H_B . L'energia dovuta alla quota si misura pertanto in metri, così come il "carico motore" rappresentato dal dislivello Y fra i peli liberi nei due serbatoi ($Y = H_A - H_B$).

Una seconda forma di energia dipende dalla pressione a cui è sottoposta l'acqua e potremmo visualizzarla inserendo dei tubi trasparenti (piezometri) sulla condotta come mostra la figura 1. Saremmo così in grado di constatare che il livello dell'acqua risale nei piezometri fino ad una altezza h_p proporzionale alla pressione presente in quel punto nella condotta.

L'altezza di risalita dell'acqua nei piezometri è pertanto una misura della pressione, che può quindi essere espressa in metri di colonna d'acqua.

La terza forma di energia è rappresentata dalla velocità con la quale l'acqua scorre nella condotta. Anche questa ultima può essere espressa in metri² ed è rappresentata in figura dalla distanza h_u ,

Secondo il teorema di Bernoulli, l'energia complessiva dell'acqua nel serbatoio A è uguale all'energia dell'acqua nel serbatoio B più la somma delle perdite uniformemente distribuite e localizzate.

Le perdite, essendo dovute all'attrito che incontra l'acqua nello scorrere lungo pareti interne delle condotte dell'impianto dipendono anche dalla scabrosità del materiale con cui queste sono realizzate.

Sempre con riferimento alla figura 1, una volta definito il tipo di materiale, il diametro e la lunghezza della condotta, la portata cresce al crescere del carico motore Y^3 , secondo una relazione

$$\text{del tipo } Y = K \frac{Q^{1.852}}{D^{4.87}} L, \quad \text{ovvero} \quad Q^{1.852} = \frac{1}{K} \frac{Y}{L} D^{4.87} \quad [2] \text{ (Hazen-Williams),}$$

$$\text{oppure } Y = K \frac{Q^2}{D^{5.33}} L, \quad \text{ovvero} \quad Q^2 = \frac{1}{K} \frac{Y}{L} D^{5.33} \quad [3] \text{ (Manning-Strickler)}$$

dove Q è la portata, K è un coefficiente che dipende dalle unità di misura e dal materiale del tubo, Y è il "carico motore", L e D sono rispettivamente la lunghezza ed il diametro interno della condotta. Dalla sopradetta relazione si può vedere che la portata è più che proporzionale al "carico motore" e che è sensibilmente influenzata dal diametro interno della condotta, presente nelle formule elevato ad esponenti di 4.87 o 5.33. Pertanto piccoli aumenti di diametro determinano grandi aumenti di portata.

Consideriamo ora il caso in figura 2 in cui si vuole trasferire l'acqua dal serbatoio A al serbatoio B che si trova a quota più alta.

In questo caso il moto dell'acqua non avviene spontaneamente, affinché ciò avvenga occorrerebbe innalzare il serbatoio A nella posizione A', come in figura. L'acqua in A' verrebbe quindi a riassumere lo stesso stato energetico del caso precedente, riproducendo le stesse condizioni di moto.

² Altezza dovuta alla velocità dell'acqua = $\frac{U^2}{2g}$ dove U è la velocità media (m/s) e g è l'accelerazione di gravità (m/s²)

³ $Y = \frac{3142}{C^{1.852}} \frac{Q^{1.852}}{D^{4.87}} L$ oppure $Y = \frac{7716}{C^2} \frac{Q^2}{D^{5.33}} L$ dove Y è la perdita di carico uniformemente distribuita (m), Q è la portata (l/h), D è il diametro interno (mm), L è la lunghezza della condotta (m), C coefficiente che dipende dal materiale usato (per tubi PE e PVC vale 150÷140)

Nella realtà, invece di un improbabile innalzamento del serbatoio, si utilizza una pompa per fornire all'acqua l'energia necessaria ad innalzare la pressione al livello necessario a ripristinare le stesse condizioni di moto. Per questo la pompa deve essere sempre accoppiata ad un motore che fornisca l'energia necessaria, essa è pertanto un dispositivo che trasforma l'energia meccanica in energia idraulica.

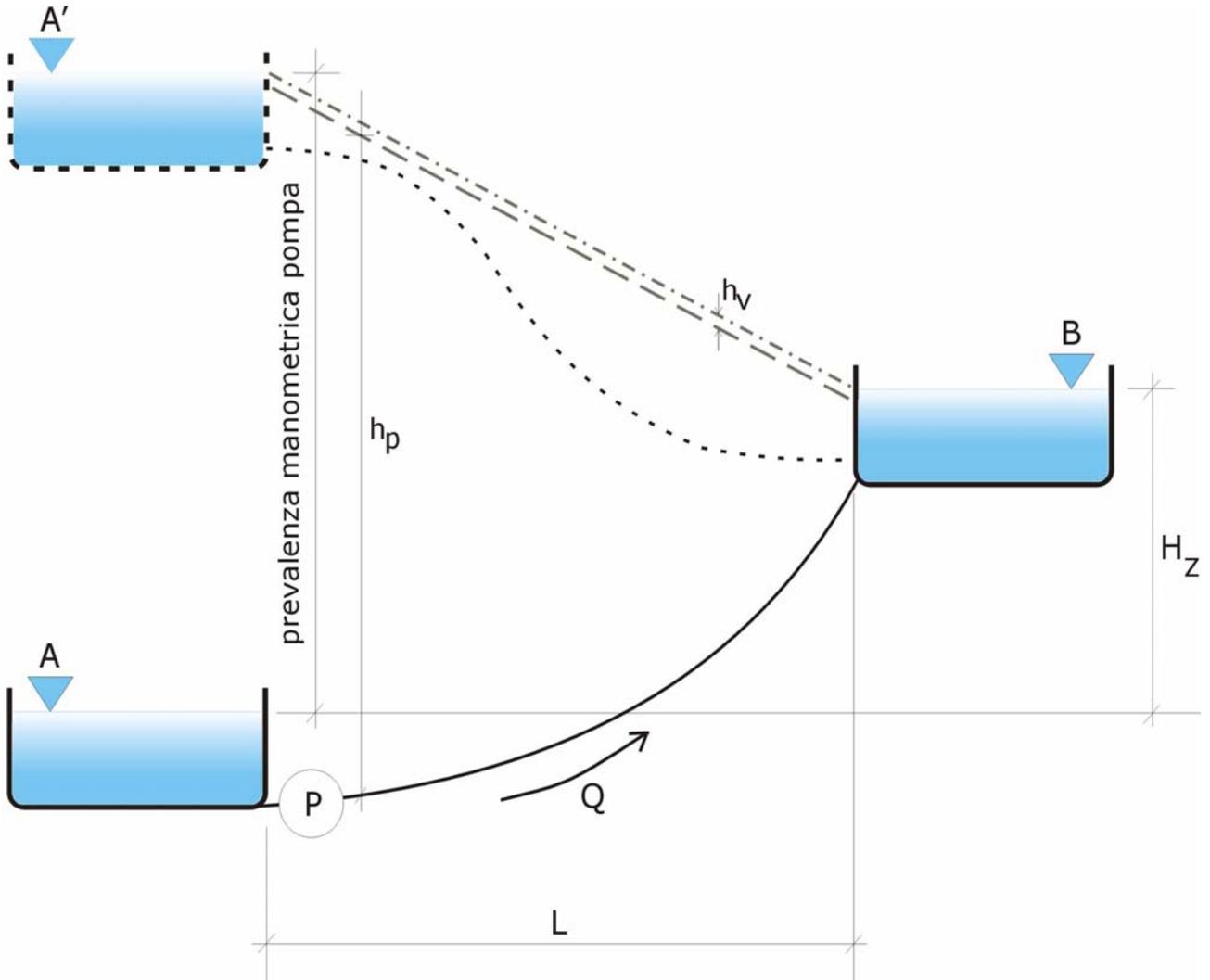


Fig. 2 – Schematizzazione di un acquedotto per trasporto dell'acqua da un serbatoio più in basso ad uno più alto, mediante una pompa.

3. Caratteristiche costruttive delle pompe centrifughe per irrigazione

Nell'irrigazione sono essenzialmente utilizzate pompe centrifughe, che sono particolarmente adatte all'accoppiamento con il moto rotatorio dell'asse dei motori.

Per comprendere il funzionamento di una pompa centrifuga si può fare riferimento alla figura 3, che ne illustra in modo schematico le caratteristiche costruttive.

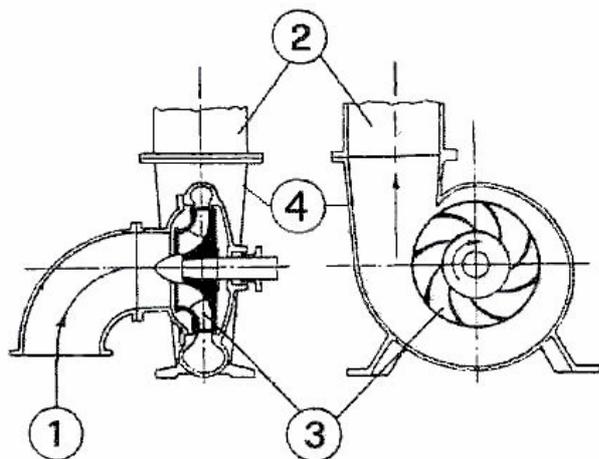


Fig. 3 - Schematizzazione di una pompa centrifuga:

1. aspirazione
2. mandata;
3. girante;
4. diffusore.

L'acqua entra nella pompa dalla bocca di aspirazione ed è messa in rotazione dalla girante che la spinge verso la bocca di mandata per immetterla nell'impianto. La girante imprime all'acqua energia di velocità, mentre la particolare forma del diffusore trasforma l'energia di velocità in energia di pressione. Infatti all'interno del diffusore l'acqua passa da una sezione ristretta a sezioni gradualmente più ampie riducendo la velocità dell'acqua per aumentarne la pressione.

Le pompe possono essere azionate da motori elettrici o diesel, i quali possono essere stazionari e quindi dedicati esclusivamente alla pompa oppure possono essere rimovibili ad esempio come quando viene utilizzata la presa di potenza di una trattrice.

Le pompe maggiormente utilizzate in irrigazione possono essere:

- con motore in superficie:
 - e pompa in superficie ad asse orizzontale,
 - e pompa immersa ad asse verticale;
- elettropompa sommersa (pompa e motore sommersi).

Le pompe con una sola girante sono dette "monostadio", mentre quelle con più giranti sono dette "multistadio". Queste ultime si utilizzano quando sono necessari altezze di sollevamento e pressioni elevate. La quasi totalità delle pompe sommerse utilizzate nei pozzi sono multistadio, perché oltre ad imprimere il carico motore devono sollevare l'acqua da considerevoli profondità.

3.1 Il problema della cavitazione nelle pompe.

La cavitazione consiste nella formazione e susseguente collasso di bolle (cavità) di vapore nell'acqua. Le bolle si formano quando il liquido va in ebollizione.

Nelle pompe l'ebollizione avviene non tanto per l'alta temperatura, ma principalmente per le basse pressioni assolute dovute all'alta velocità dell'acqua.⁴

Questo fenomeno dell'ebollizione (cavitazione) peggiora le prestazioni della pompa e danneggiandola e riducendone la durata.

Per evitare tale dannoso inconveniente bisogna tenere conto del parametro NPSH (iniziali dell'inglese Net Positive Suction Head), indicato dal costruttore, che ci consente di calcolare il massimo possibile dislivello fra asse della pompa orizzontale ed il pelo libero dell'acqua. Questo

⁴ [L'acqua infatti bolle a 100 °C alla pressione atmosferica presente al livello del mare, ma la temperatura di ebollizione si abbassa all'abbassarsi della pressione (ad esempio in alta montagna).

Per poter "risucchiare" l'acqua dal basso, nella condotta di aspirazione e nella parte centrale del rotore è necessario che la pressione sia più bassa di quella atmosferica (depressione). Se non si adottano appropriati accorgimenti, nelle pompe possono formarsi depressioni così elevate da mandare in ebollizione l'acqua anche a temperatura ambiente]

dislivello, nelle condizioni operative delle nostre zone, corrisponde alla pressione atmosferica, considerata pari a 10 m di c.a., meno il NPSH e meno ancora 0.5 m, come termine di sicurezza.

3.2 Pompe con motore in superficie ad asse orizzontale

Sono del tipo illustrato nelle fig. 3 e 4 e possono essere usate quando il dislivello fra pelo dell'acqua e l'asse della pompa è inferiore al valore calcolato come sopra indicato sulla base del NPSH, corrispondente per lo più a profondità contenute entro 4÷5 m. Profondità compatibile ad esempio per l'attingimento da vasche di accumulo o da canali, ma raramente compatibili con l'attingimento da pozzi perforati.

Queste pompe attingono l'acqua tramite una condotta di aspirazione, la cui estremità che pesca nell'acqua è dotata di una valvola di ritenzione di fondo, che ne evita lo svuotamento nel tempo in cui la pompa non è in funzione.

Quando, come avviene al momento dell'installazione della pompa, il tubo di aspirazione è vuoto è necessario attuare l'innesco della pompa, che consiste nel riempimento con acqua della condotta di aspirazione fino a sommergere la girante. La pompa infatti per funzionare necessita di una continuità idraulica, non interrotta da aria. Esistono tuttavia anche pompe con caratteristiche costruttive che le rendono auto-adescenti.

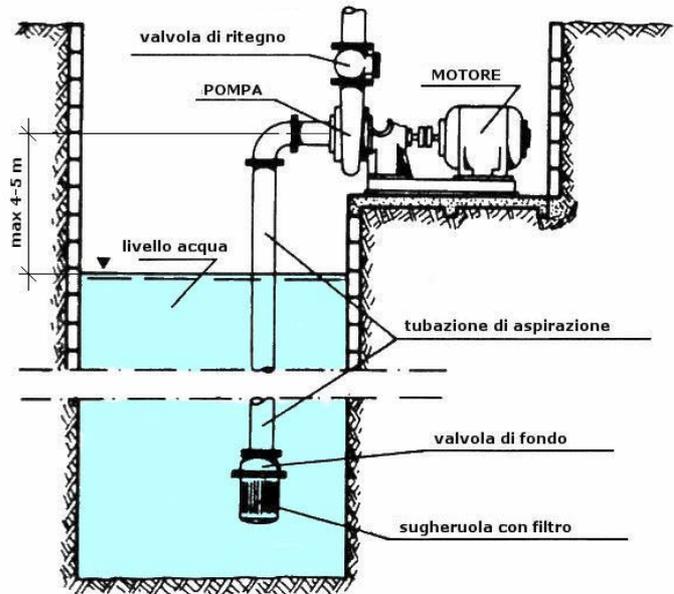


Fig .4 – Foto di una elettropompa ad asse orizzontale con motore in superficie (a sinistra) e schema di installazione (a destra).

3.3 Pompe immerse ad asse verticale con motore in superficie

Sono usate per elevati dislivelli e consentono di installare la pompa sommersa tenendo il motore in superficie che trasmette il moto rotatorio alla girante tramite un asse verticale (fig. 5).

Il motore può essere elettrico montato con asse verticale o diesel ad asse orizzontale collegato all'asse verticale della pompa mediante un dispositivo con giunto a snodo a 90°.

In questo caso non esiste il tubo di aspirazione perché la pompa e la girante sono immerse, ciò permette il sollevamento dell'acqua anche per dislivelli molto maggiori di 4÷5 m.

Le giranti di queste pompe sono generalmente multistadio, cioè costituite da più giranti poste in serie, in numero maggiore quanto maggiore è la prevalenza richiesta.

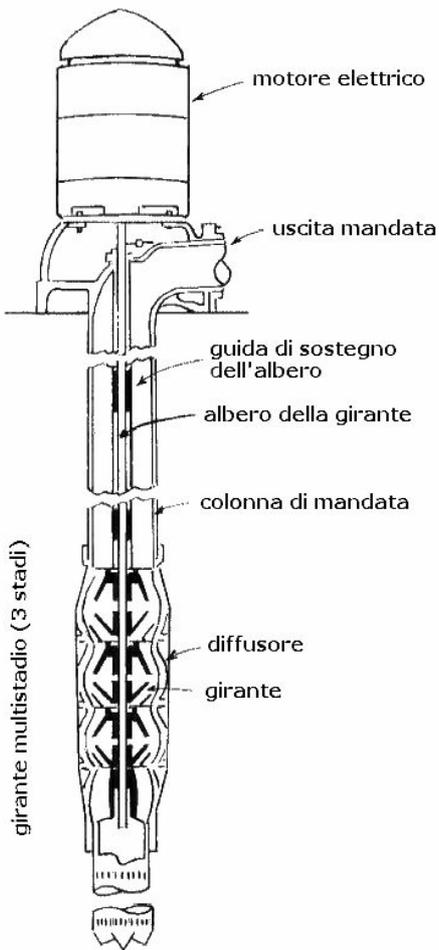


Fig. 5 - Rappresentazione schematica di una pompa immersa ad asse verticale con motore in superficie.

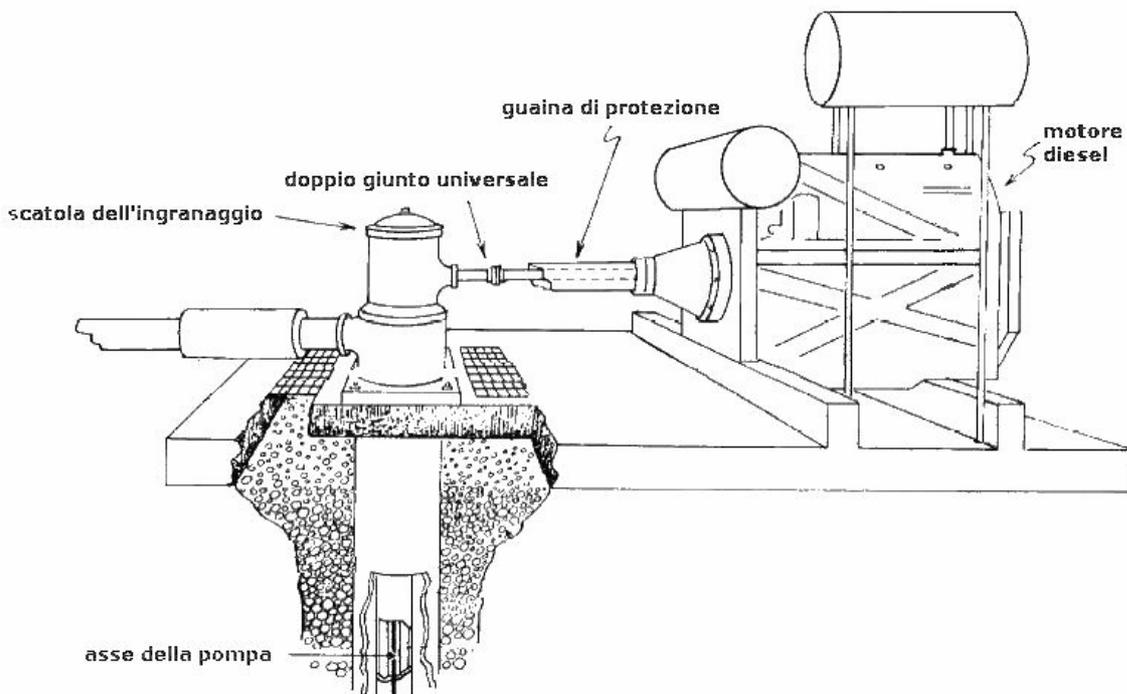
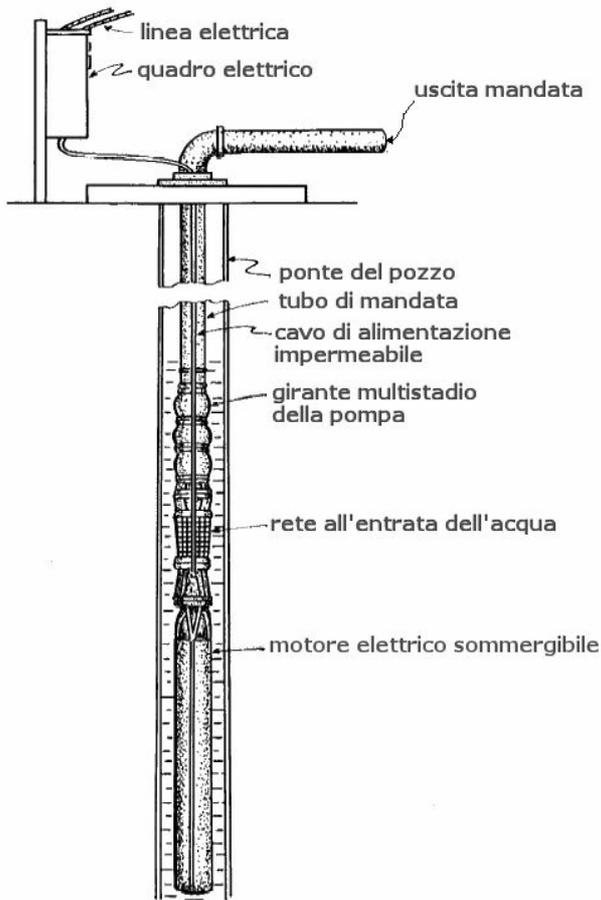


Fig. 6 - Rappresentazione schematica di una pompa immersa ad asse verticale azionata da motore diesel.



3.4 Elettropompa sommersa (pompa e motore sommersi)

In questo caso il motore, necessariamente elettrico, è sommerso in profondità solidale con la pompa ed alimentato tramite un appropriato cavo elettrico (fig. 7). Non richiedendo asse di trasmissione, con questo tipo di pompe si possono raggiungere dislivelli ancora maggiori di quelli raggiungibili con pompe sommerse con motore in superficie.

Le elettropompe sommerse sono utilizzate per l'emungimento da pozzi profondi anche con limitati diametri del tubo pozzo.

Fig 7 - Rappresentazione schematica di una pompa sommersa.

4. Caratteristiche di funzionamento delle pompe

Come abbiamo visto nello schema di fig. 2, la pompa per trasferire la portata Q , dal serbatoio A al serbatoio B, deve imprimere all'acqua la pressione necessaria a superare il dislivello H_z ed a vincere le perdite di carico Y . Questa pressione viene comunemente indicata col termine prevalenza monometrica.

Quindi i principali parametri che caratterizzano una pompa sono rappresentati dalla prevalenza monometrica che può fornire in relazione della portate da trasportare.

Poiché la pompa ha un determinato limite di potenza, si possono ottenere le pressioni più elevate con basse portate o pressioni più basse per portate più alte.

Queste ed altre caratteristiche sono riportate su una targhetta fissata alla pompa, della quale la fig. 8 ne mostra un esempio.

La targhetta dopo il nome della ditta costruttrice, il numero di serie ed i riferimenti normativi, riporta le prevalenze e le portate entro le quali può funzionare, indicando la prevalenza massima (H_{max}) con la corrispondente portata minima (Q_{min}) e la prevalenza minima (H_{min}) con la corrispondente portata massima (Q_{max}).

La prevalenza è espressa in metri (m), intendendo metri di colonna d'acqua. La portata nel nostro esempio è espressa in metri cubi ad ora (m^3/h), ma può trovarsi espressa anche in altre unità di misura. Una unità di misura molto frequente è litri al minuto (l/min) oppure litri al secondo (l/s).

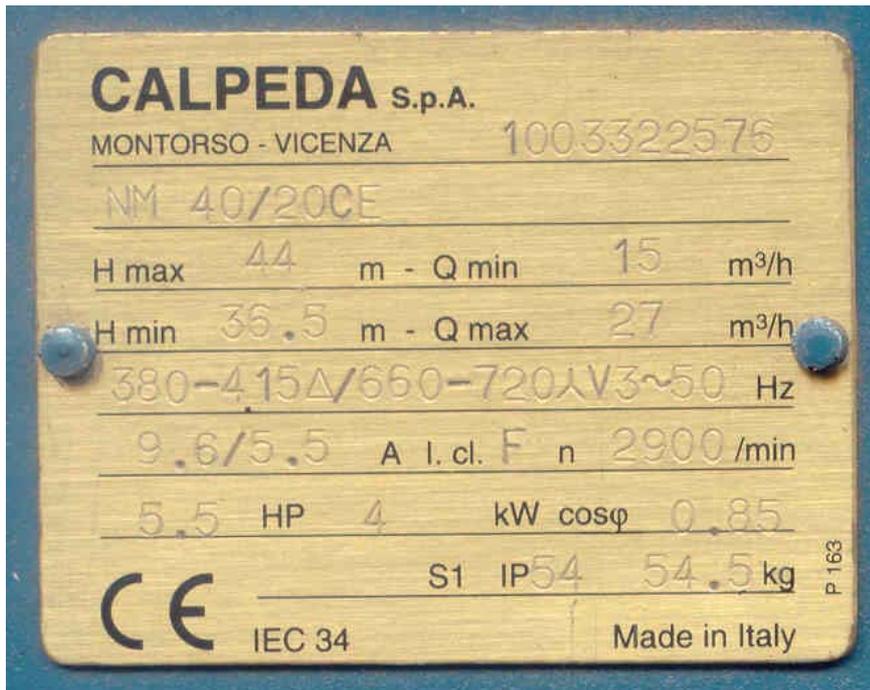


Fig. 8 - Esempio di targhetta delle caratteristiche di una elettropompa.

La targhetta utilizzata nell'esempio è quella dell'elettropompa in fig. 4 per cui riporta anche le caratteristiche del motore elettrico, che in questo caso è trifase in corrente alternata con frequenza di 50 Hz, corrispondente alla normale fornitura Enel.

Viene inoltre riportata la velocità di rotazione dell'asse del motore, solidale con la girante, espressa in numero di giri (n) al minuto (min).

In questo caso relativo ad un motore elettrico il numero dei giri, nelle normali condizioni di funzionamento è costante.

Nel caso di pompe azionate con motori diesel, il numero dei giri del motore può essere variato dall'operatore, determinando caratteristiche di funzionamento diverse per ciascun regime di giri. Per questo, nella targhetta applicata alla pompa, portate massime e minime, prevalenze minime e massime e potenza assorbita vengono generalmente riportate per tre diversi valori di numero di giri al minuto.

Altro parametro sempre riportato nella targhetta è la potenza assorbita, che può essere espressa in Cavalli (HP) o in chilowatt (kW).

Si ricorda che occorre distinguere fra la potenza assorbita e la potenza resa dalla pompa. La potenza assorbita è quella che si deve applicare alla pompa, mentre quella resa è la potenza che riceve l'acqua. Questa ultima è sempre inferiore a quella assorbita quanto tiene conto del rendimento complessivo, dato dal prodotto del rendimento del motore per quello della pompa.

Il rendimento complessivo η del gruppo motore-pompa è infatti così definito:

$$\text{Rendimento } \eta = \frac{\text{Potenza resa}}{\text{Potenza assorbita}}$$

L'energia assorbita, quella che paghiamo in termini di bolletta energetica, si calcola facendo il prodotto della potenza assorbita per il tempo di funzionamento.

L'energia resa è il prodotto della potenza resa per il tempo di funzionamento ed è l'energia effettivamente utilizzata per sollevare il volume di acqua necessario dal livello dell'acqua alla fonte di approvvigionamento e spingerlo nell'impianto per essere erogato al punto di erogazione, con la pressione richiesta.

Risulta pertanto evidente l'importanza di poter far funzionare la pompa con i maggiori rendimenti possibili.

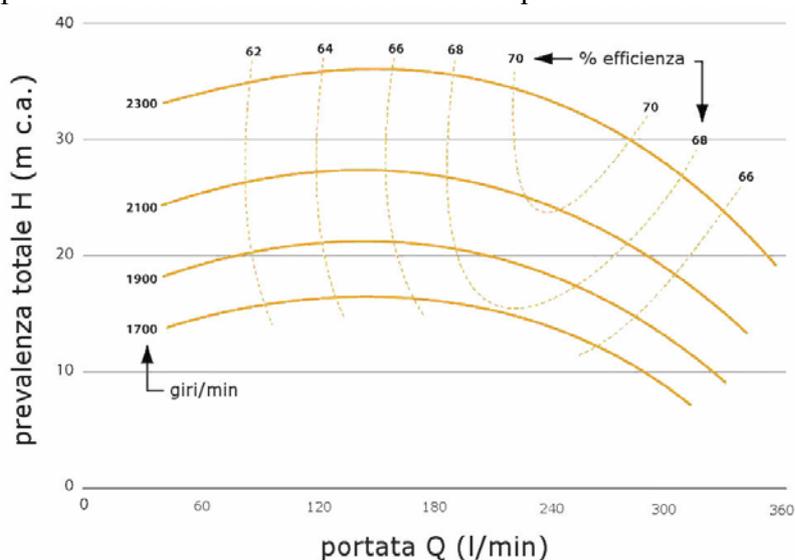
Nel caso di elettropompa, come nella fig.7, nella targhetta è riportato anche lo sfasamento determinato dal motore elettrico ($\cos\phi$), dato che può risultare utile per il tecnico che predispone il quadro elettrico di comando.

La relazione tra prevalenza della pompa e portata costituisce la “caratteristica della pompa” che viene rappresentata su un diagramma mediante una serie di curve con andamenti delle prevalenze decrescenti al crescere delle portate erogate. Ciascuna curva è definita per un determinato numero di giri al minuto della girante.

Ciò significa che una stessa pompa può avere diverse caratteristiche di funzionamento. Infatti nel caso siano azionate da motori diesel si possono avere diversi regimi di giri che danno luogo ad altrettante curve caratteristica della stessa pompa a quel numero di giri al minuto. Ogni curva caratteristica rappresenta le diverse combinazioni di portata e pressione che la pompa può fornire con quel determinato regime di giri. Ovviamente per ciascuna velocità di rotazione la pompa potrà fornire una portata con una certa pressione, ma anche portate più basse con pressioni maggiori o viceversa.

La figura 9 illustra un esempio delle diverse curve caratteristiche ottenibili da una pompa di definite caratteristiche costruttive con diverse velocità di rotazione della girante.

Nel diagramma sono indicate in ascisse le portate erogate in litri/min. ed in ordinate la prevalenza totale in m di colonna d'acqua. Le curve a linea continua sono riferite alle velocità di rotazione della girante di 1700, 1900, 2100, 2300 giri al minuto.



Mentre le curve a linea tratteggiata indicano come varia il rendimento energetico della pompa. Ovviamente per conoscere il rendimento totale del complesso motore-pompa si deve moltiplicare il suddetto rendimento della pompa per quello del motore, tenendo presente che per ogni motore diesel ci sarà un regime di giri in cui il rendimento del motore sarà massimo.

Fig. 9 – Curve caratteristiche di una pompa a tre diversi regimi di rotazione della girante.

Occorre tenere conto che per i motori diesel si hanno rendimenti piuttosto bassi anche inferiori al 40%, contrariamente ai motori elettrici, che possono raggiungere rendimenti anche dell'ordine del 90%.

Facciamo l'ipotesi che la pompa con le caratteristiche in fig.9 sia azionata da un motore diesel, attraverso il quale sia possibile regolare la velocità di rotazione.

Prendendo ad esempio il regime di rotazione da 2100 giri/minuto, si osserva che per una portata intorno ai 230 litri/minuto, la pompa fornisce una pressione di 25 m di c.a. (~2,5 bar), al rendimento massimo del 70%. Pertanto queste rappresentano le condizioni ideali di impiego della pompa a questo regime di giri.

Nel caso considerato dal diagramma di fig.9 si nota inoltre che per portate dello stesso ordine di grandezza (230 litri/minuto) la pompa continua a lavorare sui i rendimenti massimi anche a regimi di giri diversi, ottenuti agendo sul motore per ottenere diverse prevalenze.

Se ad esempio fosse richiesta la stessa portata di 230 l/minuto con una prevalenza di 34 m c.a. (≈ 3.4 bar), occorrerebbe regolare il motore fino ad ottenere una velocità di rotazione di 2300 giri/minuto.

I diagrammi in figura 10 illustrano le curve caratteristiche di una pompa, rilevate sperimentalmente. In entrambi sono presenti doppie ascisse, con portate espresse rispettivamente in l/min in basso e m^3/h in alto. Anche le ordinate sono doppie e riportano sull'asse principale la prevalenza in metri di colonna d'acqua e sull'asse secondario il rendimento, nel grafico a sinistra e la potenza assorbita in kW, nel grafico a destra. Le curve tratteggiate rappresentano nel grafico a sinistra i rendimenti e nel grafico a destra la potenza assorbita, ai diversi regimi di giri.

Dal diagramma a sinistra si può vedere che la pompa fornisce i rendimenti più alti con la velocità di rotazione di 1800 giri/minuto e che, per tutti i regimi considerati, al crescere delle portate i rendimenti crescono dapprima rapidamente e poi più lentamente fino a raggiungere il massimo per portate intorno ai 1400 l/min, oltre il quale cominciano a decrescere.

Quando con la stessa pompa si erogano portate basse, ad esempio dell'ordine di 700 l/min, come si può vedere dal grafico i rendimenti si abbassano considerevolmente per tutti e tre i regimi di giri.

Nel diagramma a destra alle curve caratteristiche della pompa sono sovrapposte le curve della potenza assorbita (tratteggiate) che consentono di conoscere la potenza che deve erogare il motore e conseguentemente di valutare i consumi energetici, in relazione alle ore di funzionamento.

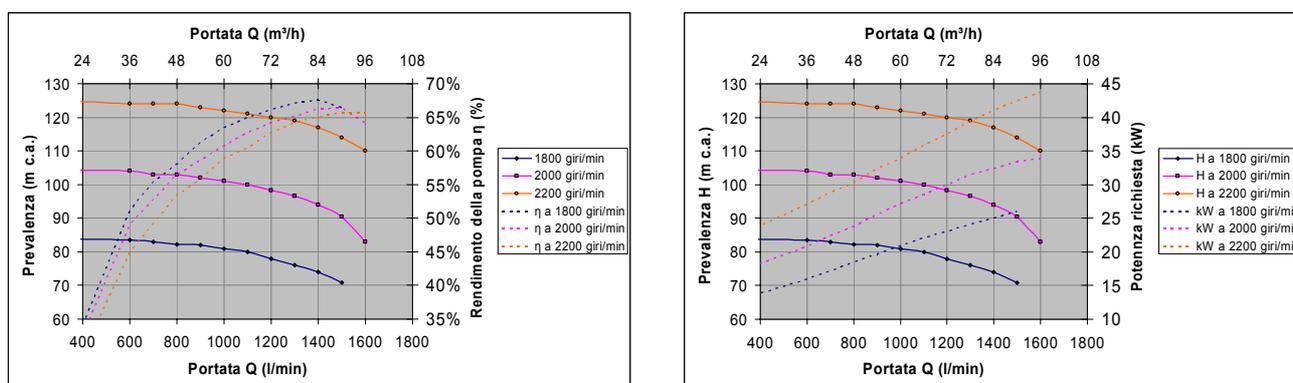


Fig. 10 – Curve caratteristiche di una pompa rilevate sperimentalmente: nel diagramma a sinistra, con sovrapposizione delle curve del rendimento e nel diagramma a destra, con sovrapposizione delle curve della potenza richiesta.

4.1 Caratteristiche di funzionamento delle elettropompe

Il motore elettrico di tipo asincrono ha una velocità di rotazione praticamente costante in relazione alla frequenza della fornitura elettrica, che come noto è di 50 Hz. Per la semplicità costruttiva ed il perfezionamento tecnologico, questo tipo di motore ha rendimenti energetici elevati e risulta pertanto molto adatto all'accoppiamento con le pompe.

Inoltre, grazie a tecnologie costruttive ampiamente collaudate, il motore elettrico può essere realizzato anche in modo da poter lavorare sommerso nell'acqua e quindi essere utilizzato nelle pompe sommerse per attingere l'acqua da pozzi, anche quando il livello di emungimento si trova a notevoli profondità. In questi casi il motore elettrico ha una forma cilindrica di diametro contenuto

compatibile con le dimensioni del tubo pozzo ed è invece sviluppato in altezza per poter erogare anche potenze considerevoli, che consentano di azionare anche giranti con molti stadi di (fig.7).

Nel caso di accoppiamento della pompa ad un motore elettrico dedicato (elettropompa), il numero dei giri è fisso, pertanto si ha una unica curva caratteristica prevalenza-portata, rappresentata nel diagramma in alto di fig. 11.

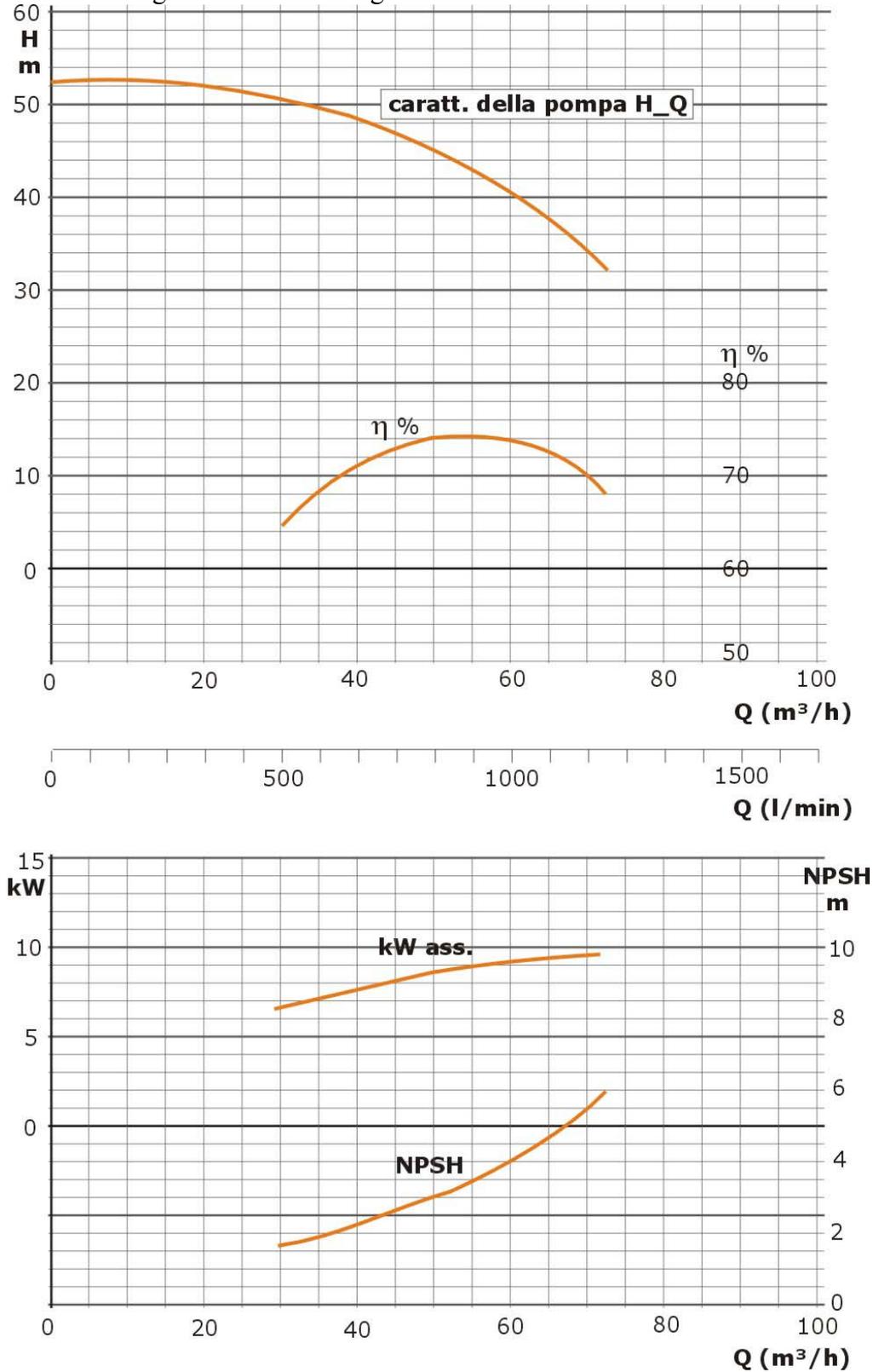


Fig. 11 – Caratteristiche di funzionamento di una elettropompa, fornita costruttore.

Nello stesso diagramma è riportata anche la curva dei rendimenti i cui valori si leggono sull'apposita scala delle ordinate posta sulla sinistra.

Per praticità di uso il diagramma ha una doppia scala delle ascisse, che consente di leggere le portate sia in l/min che m³/h.

Ad esempio risulterà opportuna la scelta di una elettropompa con le caratteristiche illustrate nel diagramma di fig.11 quando necessitano portate intorno a 800-1000 l/min con prevalenze di 42-40 metri, in quanto queste condizioni di esercizio ricadono nella zona di massimo rendimento.

Nel diagramma in basso della stessa figura viene riportata la potenza assorbita, che si legge sull'asse delle ordinate a sinistra ed è espressa in kW. Sullo stesso diagramma è inoltre riportata la NPSH, i cui valori si leggono sulla scala delle ordinate a destra, espressa in metri di colonna d'acqua. Della NPSH abbiamo parlato in precedenza, ma in questo caso, trattandosi di pompa sommersa, è una caratteristica che non riguarda il posizionamento della pompa.

5. Scelta della pompa adatta all'impianto

Uno dei maggiori obiettivi del presente opuscolo è quello di dare delle indicazioni sul procedimento che porta alla scelta della pompa più idonea nell'ambito della progettazione di un impianto irriguo.

La procedura che andiamo a descrivere potrebbe essere utile anche nel momento in cui si voglia sostituire la pompa o semplicemente per una verifica, nel caso si sospetti che quella che si possiede non sia idonea a causa degli elevati consumi energetici.

Il procedimento può essere diviso in vari step che elenchiamo di seguito.

- 1) Calcolo della prevalenza totale:
 - a. misura del dislivello tra pelo libero dell'acqua e l'erogatore più in alto;
 - b. calcolo delle perdite di carico distribuite;
 - c. calcolo delle perdite di carico localizzate:
 - i. perdite dovute a curve e valvole,
 - ii. perdite dovute ad altri dispositivi (filtri, contatori, fertirrigatori etc.),
 - iii. perdite dovute alla valvola di fondo;
 - d. Pressione d'esercizio.
- 2) Calcolo della portata del settore con massima richiesta idrica (o verifica della portata massima della fonte d'approvvigionamento).
- 3) Scelta della serie di pompe che per quella portata abbiano il massimo rendimento.
- 4) Scelta del modello all'interno della serie in base alla prevalenza totale.
- 5) Calcolo della potenza resa.
- 6) Calcolo della potenza assorbita.
- 7) Calcolo del consumo energetico.
- 8) Scelta di eventuali dispositivi elettronici per il risparmio energetico.

Consapevoli che il testo che segue non è esaustivo dell'argomento ci permettiamo di segnalare, al fine di un ulteriore contributo, che nel portale www.irri.it sono a disposizione delle applicazioni che eseguono i calcoli in maniera automatica per giungere alla determinazione della prevalenza totale e della portata ai fini della scelta delle pompe.

All'indirizzo http://www.irri.it/imp_irr/start_ir.asp, selezionando il tipo d'impianto che serve il settore con maggiore portata, si può avviare la procedura per il calcolo delle caratteristiche della pompa.

Come visto in precedenza la portata e la prevalenza sono i fondamentali elementi tecnici che identificano il funzionamento di una pompa. Quando si passa a sceglierne una adeguata per

l'impianto irriguo da alimentare, la portata della pompa da prendere in considerazione deve essere necessariamente quella del settore d'impianto che ha la portata più alta.

Per stabilire la prevalenza della pompa si deve invece tener conto, come sopra puntualizzato, della pressione di esercizio richiesta, del dislivello geodetico fra il pelo libero dell'acqua alla fonte di approvvigionamento ed il punto di erogazione e della somma delle perdite di carico uniformemente distribuite e localizzate nelle condotte di aspirazione e di mandata.

La fig.12 mostra due schematizzazioni utili alla definizione dei parametri da considerare per il calcolo della prevalenza totale richiesta.

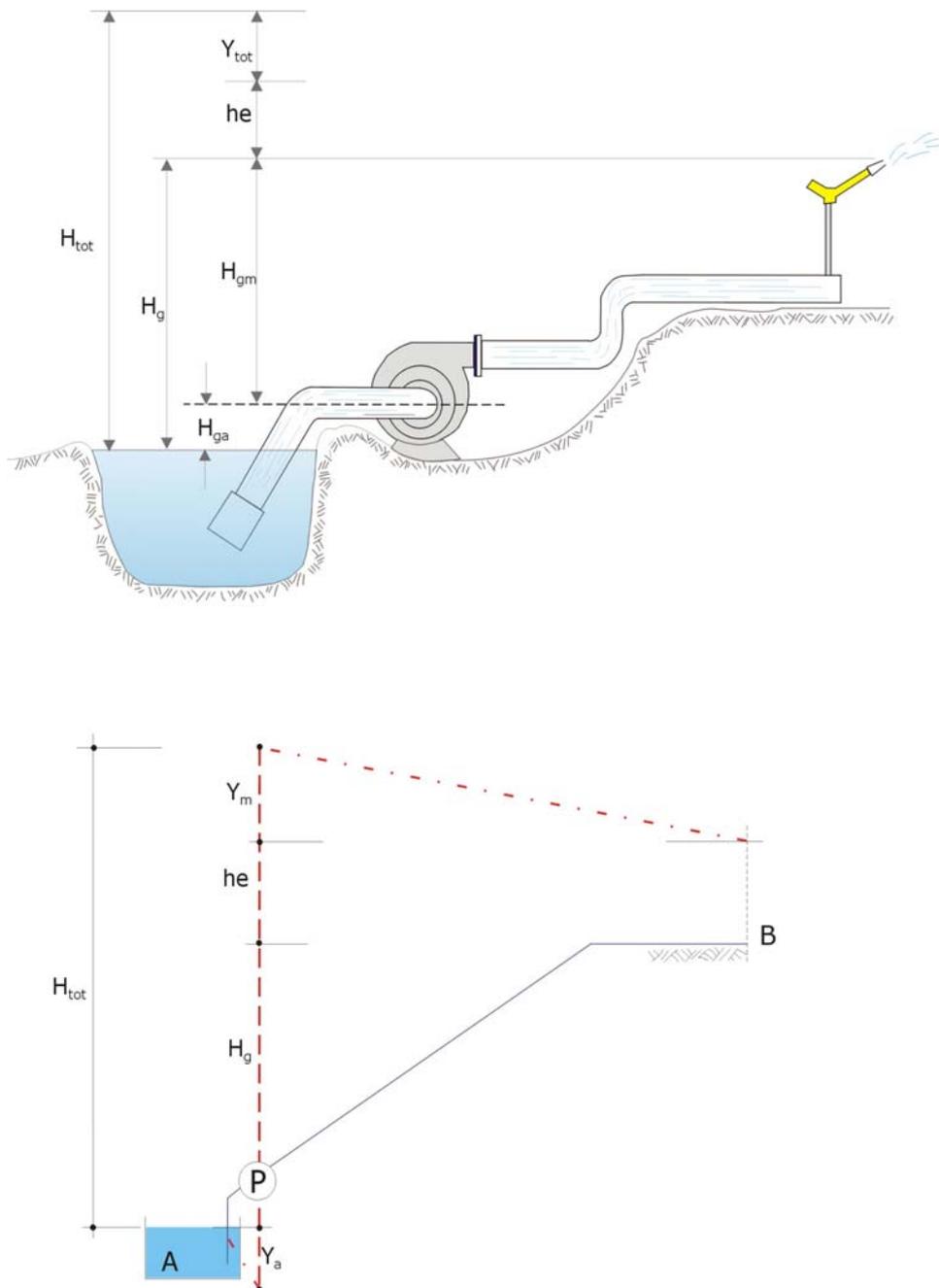


Fig. 12 – Rappresentazioni schematiche di un impianto, ai fini della individuazione della prevalenza totale che deve essere fornita dalla pompa.

Il disegno in alto è una schematizzazione fisica, in cui per semplicità il settore d'impianto è rappresentato con un solo irrigatore. Il disegno in basso è una schematizzazione idraulica in cui la linea a tratto e punto di colore rosso indica l'andamento delle pressioni nelle condotte.

In particolare si può osservare che nella condotta di aspirazione sono presenti pressioni più basse di quella atmosferica (depressione) e che la pompa imprime all'acqua l'energia necessaria per innalzare la pressione al livello necessario a vincere il dislivello e le perdite di carico e fornire la pressione di esercizio richiesta.

I simboli nei due schemi hanno il seguente significato:

- H_{tot} prevalenza totale richiesta in metri di colonna d'acqua;
- H_g altezza geodetica complessiva (m), pari alla somma dell'altezza geodetica di aspirazione H_{ga} con l'altezza geodetica di mandata H_{gm} ;
- h_e pressione di esercizio espressa in metri di colonna di acqua;
- Y_{tot} perdite di carico complessive (m c.a.), ovvero somma delle perdite di carico uniformemente distribuite e localizzate nella condotta di aspirazione Y_a e delle perdite di carico uniformemente distribuite e localizzate nella condotta di mandata Y_m .

Sempre con riferimento alla fig.12, la prevalenza totale H_{tot} si calcola evidentemente come segue:

$$H_{tot} = H_g + h_e + Y_a + Y_m \quad [4]$$

Poiché, a meno di uno specifico coefficiente di attrito K_{li} , le perdite di carico localizzate sono direttamente proporzionali al quadrato della velocità nella condotta, ovvero tenendo conto della relazione [1], è ugualmente proporzionale al quadrato della portata Q . Tenendo conto che anche le perdite uniformemente distribuite nelle condotte sono proporzionali al quadrato delle portate, come mostra l'espressione [3], facendo ricorso a questa ultima, si può anche scrivere:

$$H_{tot} = H_g + h_e + \frac{K}{C^2} \frac{Q^2}{D_a^{5.33}} L_a + \frac{K}{C^2} \frac{Q^2}{D_m^{5.33}} L_m + \sum K_{li} Q^2 \quad [5]$$

dove il terzo ed il quarto addendo esprimono le perdite di carico uniformemente distribuite, rispettivamente nella condotta di aspirazione ed in quella di mandata e l'ultimo addendo esprime la sommatoria delle perdite di carico localizzate nelle condotte di aspirazione e di mandata.

A proposito delle perdite di carico localizzate è opportuno ricordare che mentre giunti di raccordo, curve a gomito e derivazioni determinano perdite spesso trascurabili, al contrario valvole, contatori, dispositivi per la fertirrigazione e filtri determinano perdite spesso anche elevate di cui si deve sempre tenere conto. Nel caso delle pompe si ricorda in particolare le perdite di carico causate dalla valvola di fondo, che entrano anche nel calcolo della massima altezza di aspirazione consentita.

Calcolata la prevalenza totale richiesta per l'impianto (H_{tot}), questa, assieme alla portata (Q) del settore di impianto con portata più alta, individua le caratteristiche che deve avere la pompa per l'impianto in questione, da tenere pertanto presenti al momento dell'acquisto.

La conoscenza di questi due parametri consente anche di stimare la potenza della pompa, che si può rapidamente calcolare con le seguenti formule:

$$HP = \frac{Q H_{tot}}{75 \eta} \quad [6] \quad \text{oppure} \quad kW = \frac{Q H_{tot}}{102 \eta} \quad [7]$$

dove:

HP è la potenza assorbita espressa in cavalli vapore (HP);

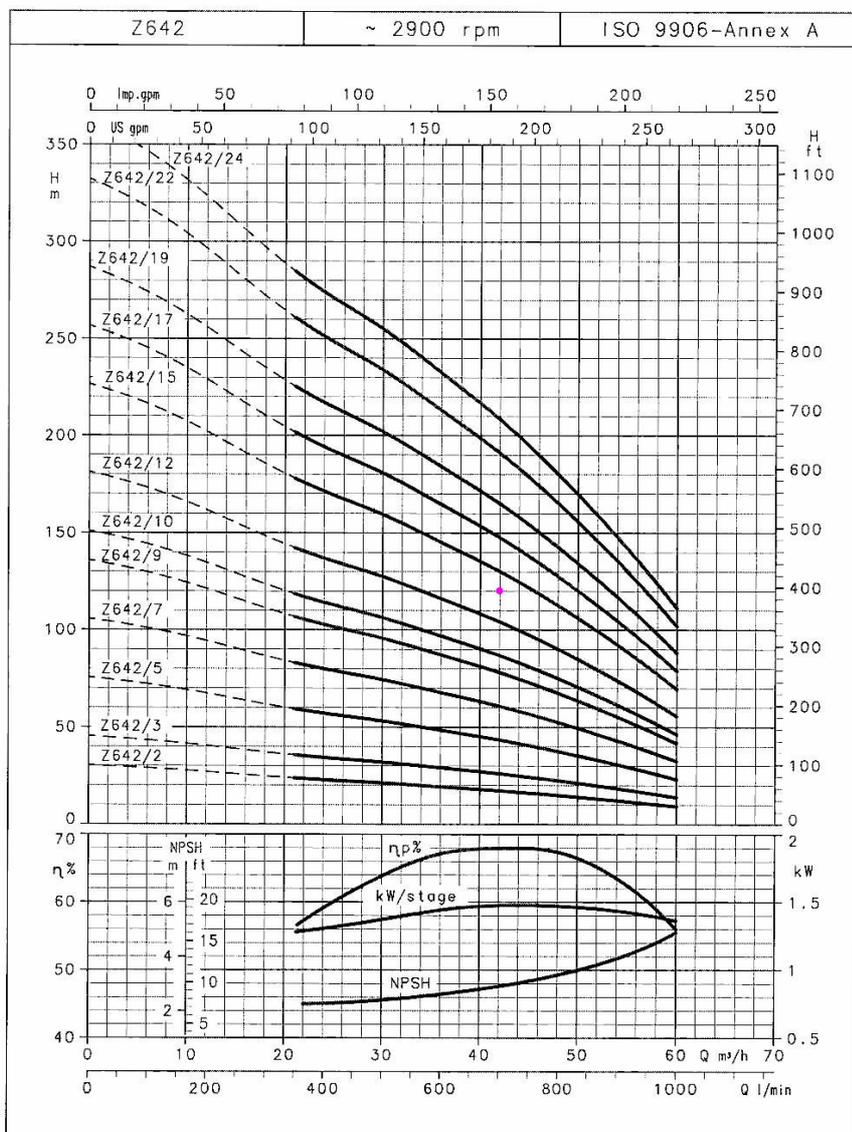
kW è la potenza assorbita espressa in chilowatt (kW);

Q è la portata in litri al secondo (l/s);
 H_{tot} è la prevalenza totale espressa in metri di colonna d'acqua (m);
 η è il rendimento espresso in numero decimale.

Ricordiamo che questo dato può essere utile per scegliere adeguatamente il motore da applicare alla pompa ma se vogliamo conoscere i reali consumi di energia dobbiamo moltiplicare la potenza assorbita per il rendimento del motore. Un elettrico può avere rendimenti massimi anche del 90% mentre un motore diesel ha rendimenti massimi del 40%.

Ritornando alla scelta della pompa più idonea, sono disponibili, presso i costruttori di pompe, dei diagrammi, come quello in basso, che riportano per ogni serie di pompe il rendimento alle diverse portate. Sfogliando i diagrammi relativi a diverse serie di pompe si sceglierà la serie che sulla base della portata presenta il massimo rendimento.

SERIE Z642
CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO A 50 Hz



Supponiamo ad esempio di avere individuato, per una portata di 700 l/min, la serie di pompe le cui caratteristiche sono riportate nella fig.13.

Nella figura sono rappresentate diverse curve caratteristiche, corrispondenti ai diversi modelli della stessa serie, i quali si differenziano per il numero di stadi della girante.

Facciamo l'ipotesi che la prevalenza totale calcolata sia di 12 atm, pari a 120 m di colonna d'acqua. Individuiamo nel diagramma il punto con le coordinate di 700 l/min e 120 m, indicato in figura. Si osserva che ricade in una posizione intermedia tra le curve caratteristiche di due pompe. Si dovrà pertanto scegliere la pompa che con la nostra portata fornisce prevalenze leggermente superiori a 120 m, individuata nell'esempio dal modello con la sigla Z642/15.⁵ La maggiore pressione fornita dalla pompa potrà essere regolata con opportune valvole.

Fig.13 – Caratteristiche di funzionamento di vari modelli una determinata serie di pompe.

⁵ La sigla Z642 del costruttore per individuare la serie di pompe con determinate caratteristiche costruttive, mentre /15 indica che la pompa ha una girante composta da 15 stadi.

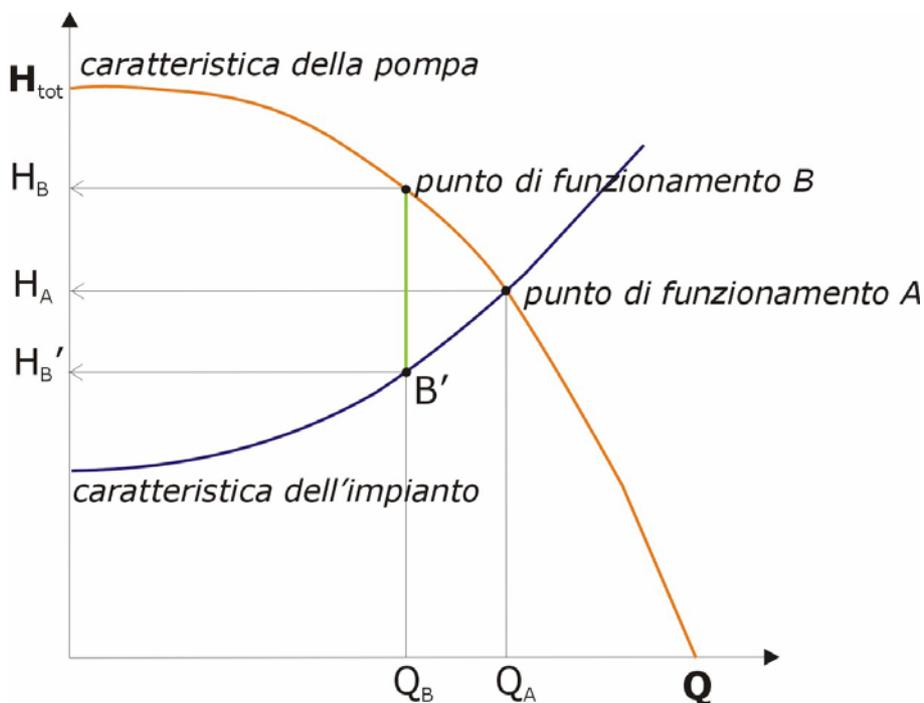
6. Caratteristica della pompa e dell'impianto.

Vediamo come la pompa scelta può funzionare nel nostro impianto irriguo. Se l'abbiamo opportunamente scelta sulla base del settore che ha la portata più alta, per questo settore essa funzionerà ai rendimenti massimi.

Nelle aziende capita tuttavia spesso che la stessa pompa serva anche per irrigare settori con minori portate o con diverse modalità di funzionamento. In questi casi, ferma restando la caratteristica della pompa, variando la portata variano anche le perdite di carico e di conseguenza la prevalenza totale. La quale può variare anche in relazione alla diversità nelle condizioni di funzionamento, come ad esempio differenti pressioni di esercizio.

Nel presente paragrafo sarà trattata questa problematica anche attraverso due casi pratici.

Dall'espressione [5] appare evidente che la prevalenza totale richiesta dall'impianto è in funzione del quadrato della portata (Q^2). Se riportiamo sulle ascisse di un diagramma le portate Q ed in ordinate i corrispondenti valori della prevalenza H , otteniamo una curva caratteristica dell'impianto del tipo di quella riportata in blu nella fig.14.



La curva sta a significare che per le specifiche caratteristiche dell'impianto la prevalenza richiesta cresce in modo più che proporzionale alla portata. A portata praticamente nulla la pressione corrisponde alla somma della altezza geodetica (H_g) e della pressione di esercizio (h_e), man mano che aumentano le portate la prevalenza richiesta aumenta a causa dell'aumento delle perdite di carico sia localizzate che distribuite.

Fig.14 – Curva caratteristica di impianto e punto di funzionamento della pompa.

Riportando sullo stesso diagramma anche la curva caratteristica della pompa impiegata, l'intersezione fra le due curve individua necessariamente il punto di funzionamento della pompa, che se scelta opportunamente come sopra indicato, lavorerà intorno al massimo rendimento.

Ad esempio supponiamo che le condizioni indicate sul diagramma con Q_A ed H_A corrispondano all'impianto che alimenta un settore di impianto a goccia e che si voglia utilizzare la stessa pompa per irrigare un altro settore, che per una minore estensione o per una diversa scelta delle linee erogatrici richieda la portata minore Q_B alla stessa pressione di esercizio. Dovendo utilizzare la stessa pompa, il nuovo punto di funzionamento sarà B, a cui la pompa eroga la portata più bassa Q_B , ma ad una pressione H_B più elevata di quella necessaria per il nuovo settore. Per questo ultimo infatti, pur lavorando alla stessa pressione di esercizio, grazie alle minori perdite di carico relative alla più bassa portata, la prevalenza totale richiesta è H_B' , per ottenere la quale occorrerà pertanto creare una adeguata perdita di carico, mediante il restringimento di una valvola,

posta sulla condotta di adduzione. La perdita di carico da introdurre ha il valore indicato dal segmento BB' e consente di far lavorare la pompa nel punto B e l'impianto alla portata ed alla prevalenza richiesta dal nuovo settore (punto B').

In fig. 15 è illustrato, a titolo di esempio, il caso in cui le condizioni indicate sul diagramma con Q_A ed H_A corrispondano all'impianto quando alimenta un irrigatore semovente ad ala avvolgibile (rotolone) e che si voglia utilizzare la stessa pompa e le stesse condotte di adduzione per far funzionare un impianto a goccia: La curva caratteristica dell'impianto diventa allora quella tratteggiata, con andamento parallelo, ma posizionata più in basso, in quanto essendo la pressione di esercizio richiesta sensibilmente minore, la curva parte da valori di prevalenza totale assai più bassi.

Supponendo che per l'impianto a goccia necessiti una portata più bassa Q_B , dobbiamo analogamente al caso precedente, creare una perdita di carico localizzata del valore indicato dal segmento BB'' , ancora maggiore al caso precedente.

Entrambi i casi, dal punto di vista energetico, comportano però due aspetti negativi. Il primo

dovuto al fatto che al nuovo punto di funzionamento B la pompa avrà un rendimento più basso di quello ottimale.

Il secondo dovuto alla dissipazione di energia provocata dalla perdita di carico per parziale chiusura della valvola. A cui si deve aggiungere che operando in queste condizioni la pompa è sottoposta a maggiori sforzi, per altro non produttivi, che alle lunghe finiscono per ridurne la durata.

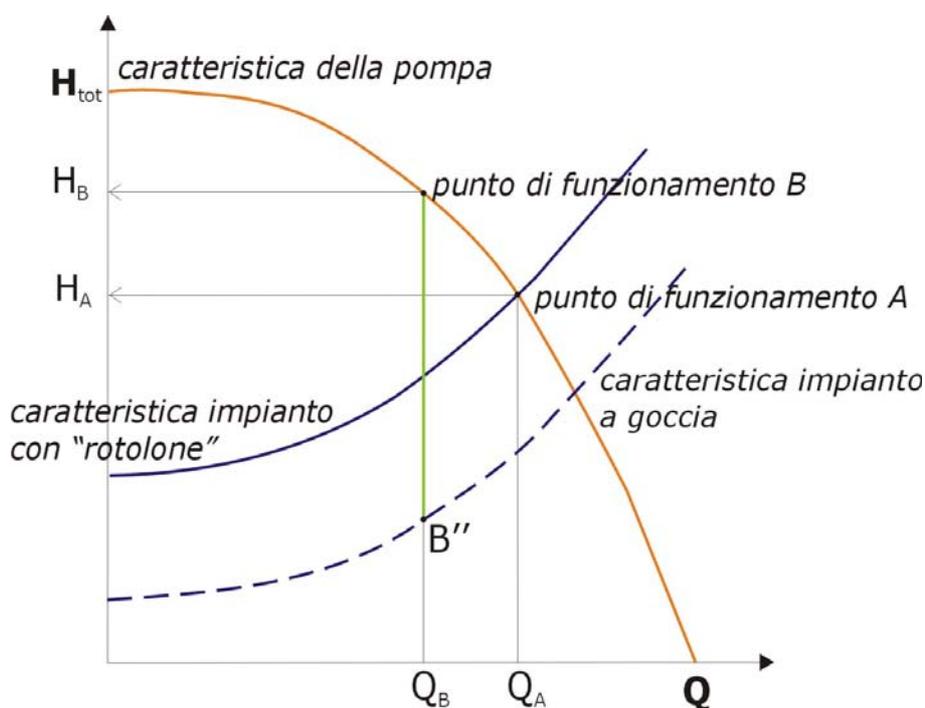


Fig.15 – Punto di funzionamento della pompa, cambiando la tipologia di impianto, ma utilizzando le stesse condotte di adduzione.

Nelle situazione in cui si richieda alla pompa di operare con portate diverse si possono ridurre sensibilmente i consumi energetici ed aumentare la vita delle elettropompe installando nel quadro elettrico dei dispositivi elettronici chiamati "Inverter". Questi variando la frequenza della corrente, regolano il numero dei giri del rotore, adeguandolo alle condizioni operative dell'impianto.

PARTE SECONDA

Elementi di base sulla utilizzazione delle acque sotterranee tramite pozzi.

1. Il ciclo idrologico dell'acqua

Il vapor acqueo che, per azione dell'energia della radiazione solare, si forma, principalmente dall'evaporazione delle acque superficiali, come mari, laghi e fiumi, ma anche dall'evaporazione del suolo e dalla traspirazione delle piante, sale nell'atmosfera fino ad incontrare aria più fredda, che ne determina, dapprima la condensazione in minuscole goccioline che formano le nubi e successivamente le precipitazioni, che riportano l'acqua al suolo sotto forma di pioggia, neve e grandine (fig.16).

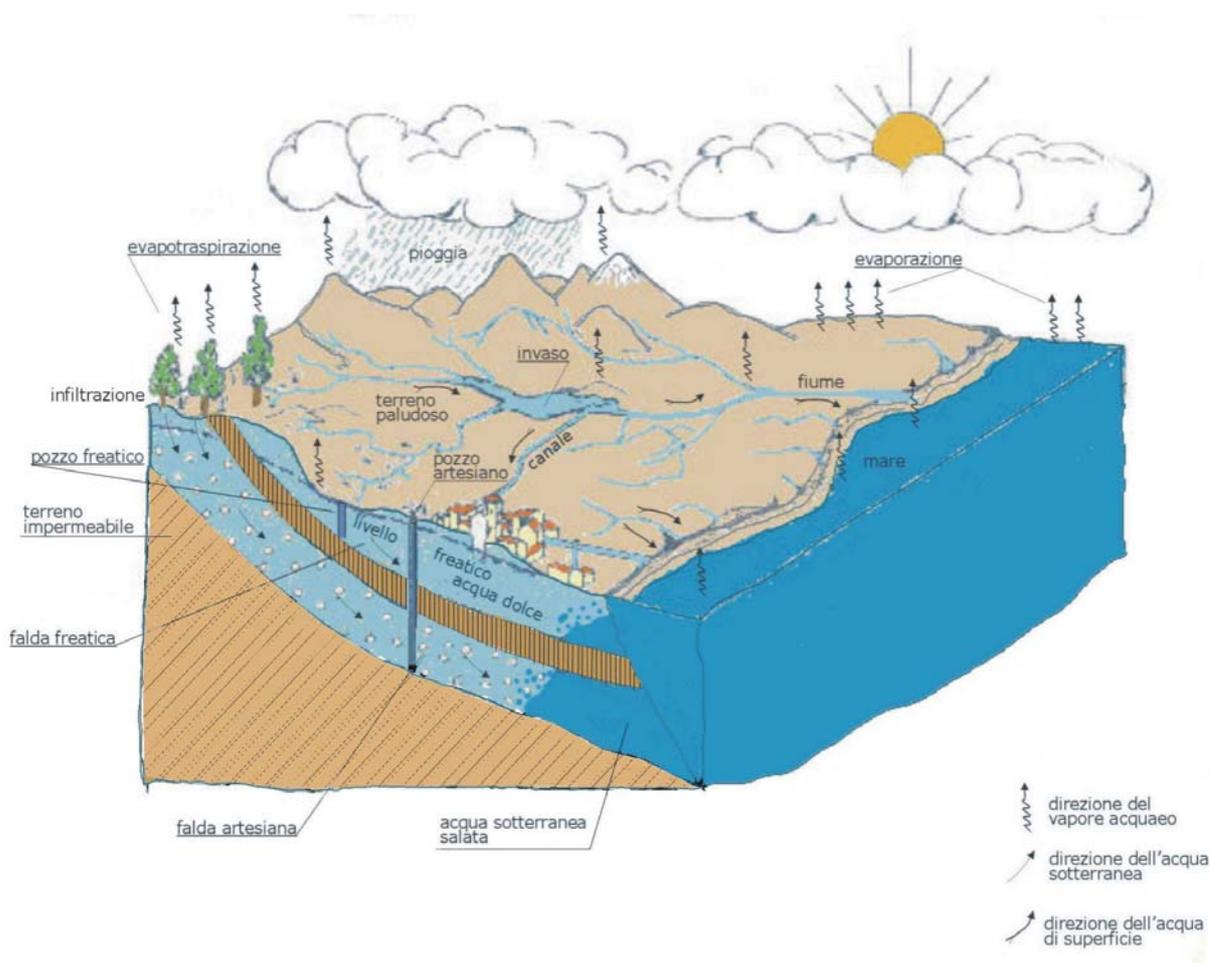


Fig.16 – Schema del ciclo idrologico dell'acqua e illustrazione delle falde acquifere.

L'acqua che arriva al suolo, a partire dai rilievi, tende a raccogliersi prima in piccoli solchi, rivi o ruscelli, poi in torrenti e in fiumi per formare laghi e/o per tornare ai mari.

Una parte dell'acqua viene assorbita dal terreno e di questa una porzione viene utilizzata dalle piante, mentre la porzione rimanente si infiltra negli strati profondi, andando a costituire accumuli di acqua sotterranei.

Gli acquiferi sono strati di roccia o di sedimenti con alta porosità e permeabilità che funzionano da serbatoi di deposito per le acque sotterranee. Gli strati impermeabili sono al contrario

costituiti da rocce o sedimenti con permeabilità molto bassa, che si comportano come una barriera al flusso delle acque.

Le acque sotterranee contenute negli acquiferi costituiscono le falde, che possono essere di due tipi: falde freatiche e falde artesiane.

Le falde freatiche sono le più superficiali e sono delimitate solo inferiormente da uno strato impermeabile (generalmente argilla) detto “letto” di falda e presentano superiormente una superficie libera a pressione atmosferica, a contatto con la soprastante zona di terreno areato (non saturo), in cui l’acqua risale per capillarità, formando la “frangia capillare”. Questa ultima può esercitare anche un ruolo attivo nell’alimentazione idrica delle piante.

Se si scava o se si perfora un pozzo in una falda freatica, l’acqua nel pozzo assume il livello della superficie libera dell’acqua nella falda (livello freatico).

Le falde artesiane sono invece comprese fra due strati impermeabili (roccia o argilla), quello inferiore detto ancora “letto” di falda e quello superiore detto “tetto”.

Nelle falde artesiane l’acqua, essendo compresa fra due strati impermeabili si trova in pressione, similmente ad una condotta. Rispetto a questa ultima il movimento dell’acqua avviene però molto più lentamente. Infatti nelle condotte l’acqua ha a disposizione l’intera sezione mentre nelle falde freatiche l’acqua si deve muovere attraverso le sezioni ridotte formate dagli interstizi fra la matrice solida dell’acquifero.

L’acqua nelle falde artesiane si trova in pressione, questa è determinata dal carico idraulico dovuto alle alimentazioni in quota, come esemplificato in fig.16.

Introducendo un pozzo in una falda artesiane, l’acqua vi risale, allo stesso modo di come risale in un piezometro inserito nella condotta descritta in fig.1.

L’acqua si muove nella falda dai punti a maggiore pressione verso i punti a pressione più bassa e, a seconda dell’andamento del terreno, può anche riemergere formando sorgenti.

Il moto lento dell’acqua nell’acquifero prosegue in genere verso il mare, muovendosi fintanto che il carico idraulico della falda è superiore al carico idraulico esercitato dal livello dell’acqua del mare.

Quando il carico idraulico esercitato dal livello dell’acqua del mare diventa maggiore l’acqua salata penetra nell’acquifero. L’estensione della penetrazione può raggiungere anche decine di chilometri, quando la pressione nella falda si abbassa in seguito ad attingimenti eccessivi e/o in annate di scarsa alimentazione da parte delle precipitazioni.

L’acqua salata che penetra nelle falde artesiane, avendo maggiore densità dell’acqua dolce tende a posizionarsi negli strati più bassi dell’acquifero.

2. I pozzi

I pozzi sono i manufatti attraverso i quali si attinge l’acqua dalle falde sotterranee, sia freatiche che artesiane.

I pozzi nelle falde freatiche possono essere “a giorno” o “tubati”.

I pozzi a giorno sono quelli di grande diametro che tradizionalmente troviamo ancora nei cortili degli insediamenti rurali, solitamente utilizzati per attingere acqua per servizi domestici, di cortile e per l’allevamento.

I pozzi tubati sono in genere realizzati con tubi metallici di ridotto diametro (1 1/4”÷1 3/4”), infissi nel terreno e terminanti al livello della falda con una parte finestrata protetta da una rete metallica atta ad evitare il passaggio della sabbia.

Le portate di questi pozzi sono generalmente basse per le esigenze dell’irrigazione, per cui ci si limita a ricordarne l’esistenza.

I pozzi di maggiore interesse per l'approvvigionamento irriguo sono quelli artesiani costituiti da tubi pozzo di diametri generalmente compresi fra 100 e 300 mm, che si approfondiscono fino a raggiungere preferibilmente il "letto" della falda artesianiana da emungere.

Il pozzo è costruito da un "tubo pozzo" munito a livello della falda di una parte filtrante, chiamata "tubo-filtro", attraverso il quale avviene il passaggio dell'acqua dall'acquifero al pozzo.

Il "tubo filtro" costruisce la principale parte funzionale del pozzo ed ha lo scopo di lasciare passare l'acqua, ma non la sabbia da essa trascinata durante l'esercizio.

Il filtro è realizzato praticando opportune finestre nella parete del tubo, di forma adeguata alle caratteristiche granulometriche del materiale circostante.

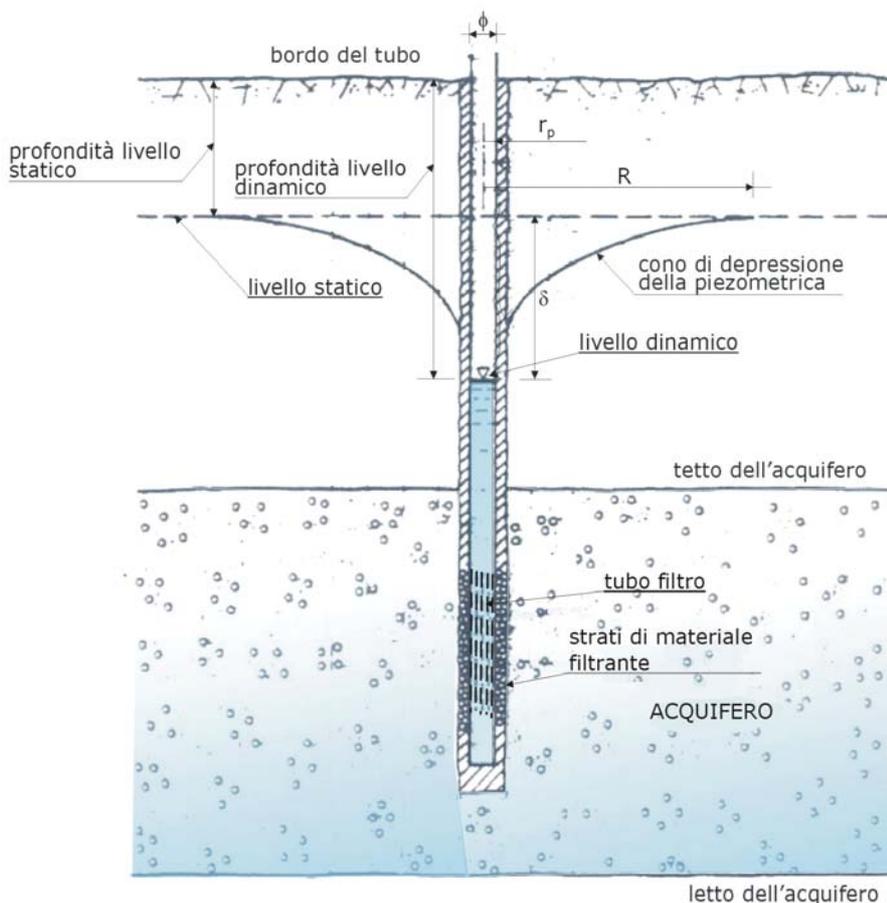
Il funzionamento a regime del filtro è condizionato dal posizionamento di strati radiali di materiale di diverso diametro attorno al "tubo filtro". La stratigrafia che garantisce il miglior funzionamento è quella realizzata con granulometrie gradualmente decrescenti dal centro verso l'esterno.

Questa situazione si viene a verificare naturalmente dopo l'espurgo iniziale del pozzo attraverso il quale vengono espulsi i grani più piccoli, che si trovano vicino alla parete del pozzo, dove la velocità dell'acqua è più alta. Per particolare tipologie dell'acquifero può essere opportuna l'introduzione artificiale di materiale drenante esternamente al "tubo filtro".

2.1 – Livello statico e livello dinamico.

Il livello che naturalmente raggiunge l'acqua nel pozzo in assenza di pompaggio si chiama "livello statico" (fig.17).

Quando si attiva il pompaggio il livello dell'acqua cala gradualmente fino a raggiungere un punto di equilibrio fisso per ogni valore di portata emunta, che si chiama "livello dinamico".

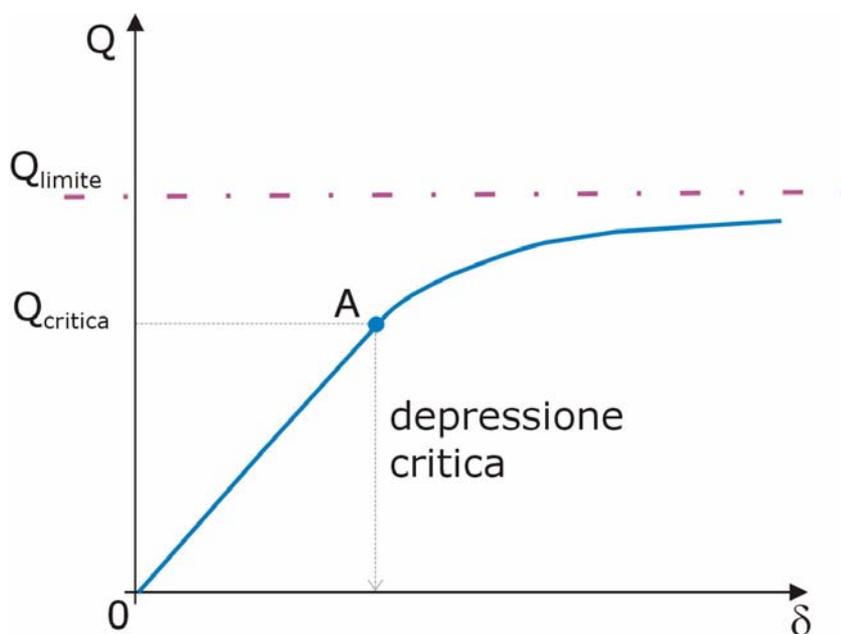


L'altezza di risalita dell'acqua di falda si abbassa gradualmente dal livello statico a quello dinamico, formando un cono di depressione concentrico attorno al pozzo.

Il cono di depressione della piezometrica si forma a seguito della graduale diminuzione di pressione dell'acqua nella falda, in conseguenza del progressivo aumento della velocità che assume l'acqua avvicinandosi al tubo filtro.

Nel caso di pozzi posti a distanza ravvicinata i coni di depressione possono interferire fra loro, determinando, a parità di portata, valori più bassi dei rispettivi livelli dinamici.

Fig. 17 – Livello statico e dinamico e cono di abbassamento in un pozzo artesianiano.



La relazione che lega la portata emunta dal pozzo (Q) all'abbassamento fra il livello statico ed il livello dinamico, costituisce la curva caratteristica del pozzo. Questa nei pozzi artesiani assume la forma di una retta uscente dall'origine, che sta ad indicare che l'abbassamento del livello è direttamente proporzionale alla portata attinta.

Tuttavia se aumentiamo la portata oltre determinati valori la curva passa da un andamento rettilineo ad andamento curvilineo gradualmente tendente all'orizzontale (fig.18).

Fig. 18 – Curva caratteristica portata Q – abbassamento δ in un pozzo artesiano.

Sulla curva possiamo pertanto individuare un punto di abbassamento critico, in corrispondenza del quale si ha la portata critica del pozzo. Questo punto si posiziona a portate tanto più basse, quanto più è sottile la granulometria dell'acquifero e quindi quanto più è bassa la velocità di infiltrazione dell'acqua.

La portata critica del pozzo costituisce praticamente la portata massima che si può trarre dal pozzo. Infatti, oltre questa portata l'emungimento, non solo non è più conveniente, ma è anche dannoso.

3. Effetti dell'eccessivo emungimento sul sistema idrologico.

Abbiamo già detto che, nell'acquifero di una falda artesianica, l'acqua si trova in pressione come in una condotta.

Proseguiamo ancora ad utilizzare questa similitudine considerando ad esempio un acquedotto civico alimentato da un serbatoio in quota. Se, col procedere dello sviluppo edilizio, si intende soddisfare le esigenze degli ulteriori insediamenti abitativi aumentando gli "allacciamenti" allo stesso acquedotto, inevitabilmente diminuirà la pressione dell'acqua. Questa ultima di conseguenza, dapprima non arriverà più ai piani alti delle case, poi, aumentando ancora le utenze, anche ai piani più bassi non arriverà più con la pressione necessaria a far funzionare gli elettrodomestici e così via.

Allora gli utenti installeranno presso le loro abitazioni dei serbatoi di accumulo con autoclavi per riportare l'acqua in pressione. Ma se gli "allacciamenti" ed i consumi aumentano oltre la possibilità di reintegro dell'acqua nel serbatoio, alcune utenze rimarranno senza acqua, a cominciare da quelle idraulicamente più sfavorite, perché in quota e più distanti.

Una falda artesianica fino ad un certo punto si comporta proprio come l'acquedotto civico del precedente esempio, pertanto all'aumentare del numero dei pozzi che attingono dalla falda e/o all'aumentare dei volumi emunti, la pressione dell'acqua nella falda sempre più diminuisce.

L'agricoltore che utilizza il pozzo per irrigare se ne accorge dall'abbassamento del livello statico nel pozzo, che ovviamente si ripercuote anche sul livello dinamico a parità di portata emunta. Pertanto per poter continuare a disporre dei volumi d'acqua che gli necessitano, l'agricoltore è costretto ad abbassare la profondità di posizionamento della pompa.

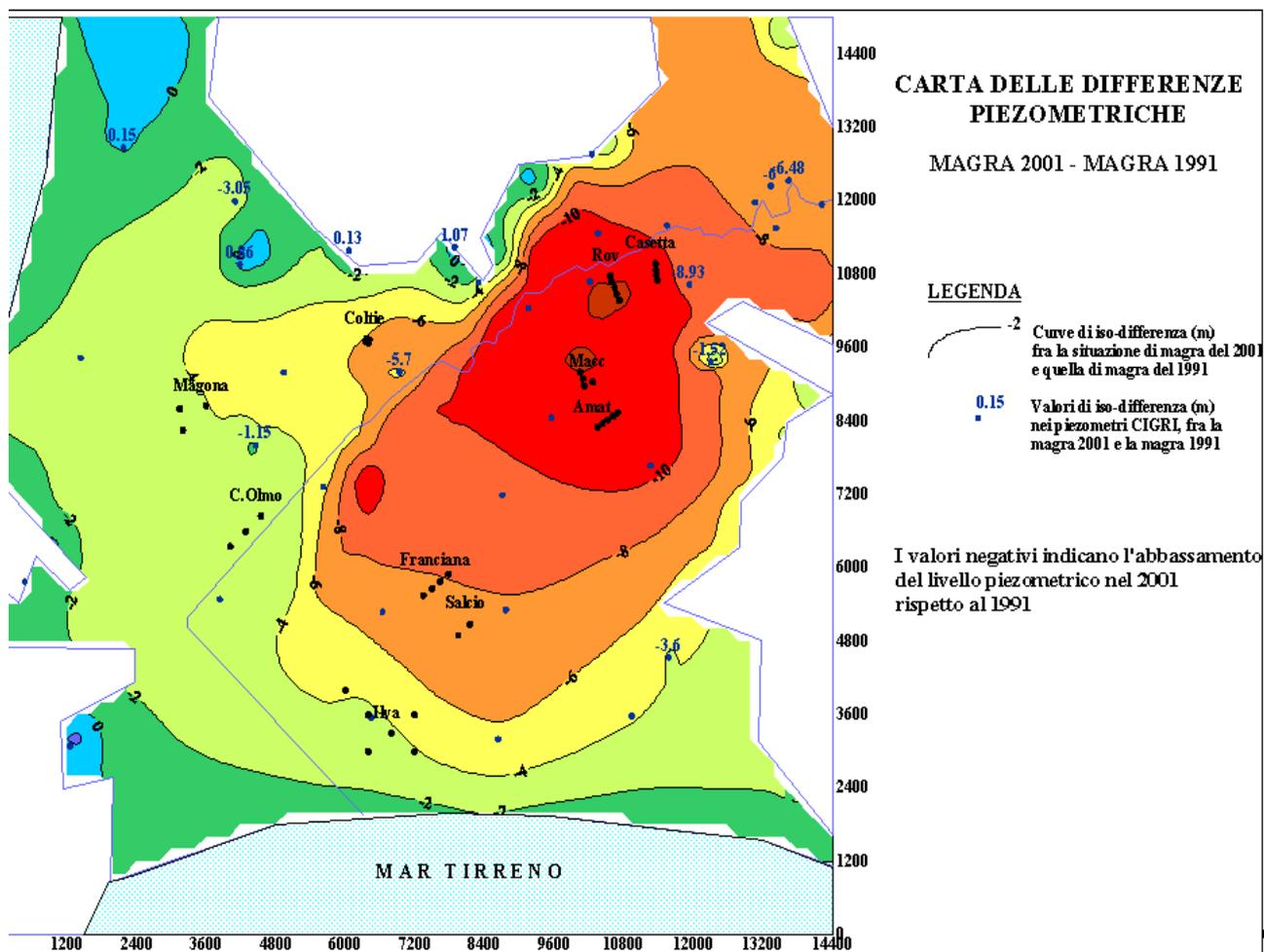


Fig. 19 – Abbassamenti dei livelli statici di falda rilevati dal CIGRI fra il periodo di “magra” del 1991 e quello del 2001 in Val di Cornia.

Tuttavia la disponibilità di acqua dolce attingibile ha chiaramente un limite determinato dall'estensione ed orografia del bacino di alimentazione della falda, oltre che dall'andamento stagionale delle precipitazioni sul suddetto bacino. Pertanto aumentando gli emungimenti si può, nel corso della stagione irrigua, andare incontro ad un graduale esaurimento dell'acqua dolce disponibile.

Nelle pianure costiere purtroppo, al graduale esaurimento dell'acqua dolce disponibile si associa il grave problema dell'intrusione nell'acquifero di acqua marina, per il meccanismo precedentemente descritto, penetra sempre più nell'acquifero, quanto più si abbassa la piezometrica, ovvero il livello a cui risale l'acqua di falda.⁶

⁶ Infatti nelle zone costiere l'acqua di falda e quella marina entrano comunemente in “contatto” a quote inferiori al livello del mare e ad una certa distanza dalla costa.

Le due acque si miscelano completamente quando la pressione esercitata dall'acqua del mare uguaglia la pressione dell'acqua dolce. Pertanto al diminuire di questa ultima, ovvero al diminuire dei livelli di falda, la zona di completa miscelazione si sposta sempre più verso l'interno.

Succede allora che, sia pure a maggiore profondità, l'agricoltore continua ad avere acqua nel pozzo, ma solo nello strato più superficiale avrà dei contenuti salini tollerabili, mentre in profondità aumenterà gradualmente la salinità. Pompando si ottiene pertanto acqua di pessima qualità per l'eccessivo contenuto di sali. Il problema sarà sempre più grave quanto più i pozzi sono vicini alla costa e quanto più alte sono le portate emunte.

Le conseguenze dell'eccessivo sfruttamento della falda saranno scontate dapprima dagli agricoltori che hanno i pozzi più vicini alla costa, i quali avranno acqua con salinità incompatibile con le colture, allargandosi poi gradualmente anche ai pozzi più interni, che per un primo periodo avranno acqua più salata, ma ancora utilizzabile con adeguate precauzioni.

4. Principali inconvenienti dei pozzi e loro rimedi.

L'efficienza idraulica dei pozzi generalmente diminuisce con il tempo, e fondamentalmente si possono verificare i seguenti inconvenienti:

- 1) i pozzi hanno una tendenza a dare sabbia;
- 2) si nota un abbassamento del livello dinamico del pozzo.

4.1 Venuta di sabbia

Quando si interrompe per alcuni mesi l'emungimento si può verificare che il pozzo dia una certa quantità di sabbia, questo può essere dovuto a fenomeni di assestamento nelle vicinanze del filtro. Se invece il pozzo continua a dare sabbia in maniera costante questa può determinare, a lungo andare, fenomeni abrasivi sulle giranti della pompa, determinandone un cattivo funzionamento e la minore durata. Tali fenomeni abrasivi possono esercitarsi anche contro le pareti del pozzo. Inoltre, nel caso d'impianti d'irrigazione localizzata, la sabbia determina un veloce intasamento dei filtri, che devono essere puliti più frequentemente.

L'estrazione di sabbia si verifica quando le pareti del pozzo o, più frequentemente, il filtro presentano delle rotture, per lo più dovute a fenomeni di corrosione. La corrosione è influenzata dalle caratteristiche dell'acqua, dai materiali impiegati nella costruzione del pozzo e anche dalle sue caratteristiche costruttive.

Possono facilmente determinare dei fenomeni corrosivi le acque con le seguenti caratteristiche:

- pH inferiore a 7;
- ossigeno disciolto maggiore di 2 parti per milione;
- acido solfidrico maggiore di 1 parte per milione;
- anidride carbonica libera maggiore 50 parti per milione;
- cloruri maggiori di 500 parti per milione;
- solidi disciolti maggiori di 1000 parti per milione.

In presenza di una o più di queste caratteristiche dell'acqua è necessario scegliere adeguatamente i materiali per la costruzione del pozzo ed evitare il più possibile tutti i punti più soggetti a corrosione che sono:

- zone di saldatura;
- zone di taglio con il cannello ossi-acetilenico;
- aree punzonate;
- aree filettate.

Evitare inoltre di scegliere metalli diversi per la composizione del pozzo e dei filtri soprattutto se questi sono vicini tra loro, ad esempio tubo di ferro e rete del filtro in ottone.

I filtri costruiti in acciaio inossidabile sono i migliori per evitare fenomeni di corrosione. Distinguiamo tre tipologie di acciaio inossidabile

- 1) AISI 304: 18% di Cr, 8% di Ni, 2% di Mo, 0.08% di C.
- 2) AISI 316: 16% di Cr, 10% di Ni, 2% di Mo, 0.03% di C.
- 3) AISI 405: 11.5% di Cr, 0.3% di Al.

Il più resistente è il 304 e il meno resistente è il 405. E' buona norma inoltre esporre all'aria l'acciaio prima dell'interramento in modo da ottenere la sua più alta resistenza alla corrosione. Infatti l'ossigeno atmosferico si combina con la superficie del metallo formando una pellicola protettiva quasi invisibile, la superficie allora diventa opaca e se tale pellicola rimane intatta, il metallo viene a trovarsi in condizioni di passività e la sua resistenza alla corrosione diventa molto alta.

Oltre all'acciaio si possono utilizzare dei tubi in PVC speciale che lo rendono resistente alle rotture o anche ABS. Questi materiali hanno il vantaggio che sono refrattari ad alcuni tipi d'incrostazioni, ma hanno lo svantaggio di costare quasi come i tubi in acciaio inossidabile e di avere spessori più elevati di questi e pertanto diametri interni del tubo pozzo inferiori.

Nel caso che la corrosione abbia causato rotture al di sopra del filtro, si può rimediare discendendo nel pozzo una nuova tubazione di diametro inferiore a quella corrosa fino a qualche metro al di sotto della rottura. Poi procedere alla sua cementazione.

Nel caso la venuta di sabbia sia causata da rotture del filtro invece si può provare a diminuire la portata dell'acqua estratta dal pozzo. In questo modo diminuisce anche la forza di trascinamento sui grani del terreno nell'acquifero, perciò molti di essi non verranno più trascinati nel pozzo. Se questo rimedio risulta insufficiente, un metodo drastico consiste nel ritubare il pozzo completamente con una nuova tubazione di rivestimento, di diametro minore di quella già in opera e munita di filtri con finestrate più piccole. Tale soluzione ha una breve durata perché la sabbia tra i due filtri tende a costiparsi rendendo il filtro quasi impermeabile.

4.2 Abbassamento del livello dinamico del pozzo (diminuzione della produttività idraulica)

Se si nota un abbassamento del livello dinamico superiore a quello che aveva in origine il pozzo, allora si deve verificare la quota del livello statico. Se questo si è abbassato nel tempo vuol dire che la falda si è parzialmente prosciugata quindi l'abbassamento del livello dinamico è, almeno in parte, dovuto a questo fenomeno. Se però il livello statico non è variato allora il tutto è dovuto a fenomeni di intasamento dei filtri causati dalle incrostazioni.

Le cause delle incrostazioni possono essere:

- 1) precipitazione di carbonati di calcio e/o magnesio;
- 2) precipitazione dei composti del ferro e/o del manganese;
- 3) produzione di melma da parte di ferro-batteri o altri organismi simili;
- 4) deposizione sulle finestrate di argilla o limo portati in sospensione dall'acqua di falda.

Si deve tenere presente che l'acqua delle falde scorre lentamente nei terreni di struttura granulare e che quindi essa rimane in contatto con i minerali di cui sono composti questi terreni per lunghi periodi, perciò i sali disciolti in essa si trovano in equilibrio chimico con l'ambiente circostante; qualsiasi variazione di tali condizioni ambientali può causare la precipitazione di alcuni materiali insolubili, che vanno a costituire le incrostazioni. E' molto importante tenere presente le caratteristiche dell'acqua per sapere se questa ha una certa propensione a determinare incrostazioni.

Le acque incrostanti hanno le seguenti caratteristiche:

- pH maggiore di 7;
- carbonati maggiori di 300 parti per milione;
- ferro maggiore di 0,5 parti per milione;
- manganese maggiore di 0.2 parti per milione.

Pertanto l'analisi dell'acqua può darci delle indicazioni relative al tipo d'incrostazione.

Alcune volte anche acque corrosive possono creare delle incrostazioni in quanto mandano in soluzione il materiale del pozzo, che poi precipita in un secondo momento, occludendo parzialmente il filtro.

In acque ricche di carbonati l'intasamento dei filtri è dovuto molto spesso alle precipitazioni di questi, in seguito silicati possono rimanere inglobati entro tali incrostazioni, che possono così cementare grani di terreno dell'acquifero.

In acque ricche di ferro possono vivere i ferro-batteri, i cui prodotti metabolici sono fanghiglia ed ossidi di ferro insolubile, che contribuiscono entrambi all'intasamento della porzione filtrante del pozzo.

Le incrostazioni dovute invece a particelle di argilla o limo, trasportati in sospensione dall'acqua, sono causa d'incrostazioni in pozzi con filtri con finestre troppo piccole o spurgati male.

In fase di costruzione del pozzo, in presenza di acque incrostanti, è bene avere una superficie filtrante molto ampia in grado di ridurre il più possibile la velocità d'ingresso dell'acqua, spurgare bene il pozzo, preferire la perforazione di più pozzi di bassa portata piuttosto che uno di portata elevata. Per la manutenzione invece sarebbe meglio pulire e/o spurgare frequentemente il pozzo prima che si abbassi la sua produttività idrica.

In caso di intasamento del filtro il ripristino della piena produttività del pozzo richiede attrezzature idonee e personale molto specializzato pertanto a volte è economicamente più conveniente approfondire il pozzo o perforarne uno nuovo. Un Tecnico in base alla propria esperienza e/o mediante ispezioni con telecamere, prelievo di campioni delle incrostazioni, la conoscenza delle caratteristiche dell'acqua ed informazioni relative alla composizione rocciosa dell'acquifero può facilmente predire quali siano le cause d'inefficienza.

I trattamenti da eseguire prevedono l'utilizzo di acidi forti nel caso le incrostazioni siano dovute a carbonati solfati e composti del ferro, mentre se le incrostazioni sono dovute alla melma dei ferro-batteri si agisce con battericidi o prodotti disinfettanti. La presenza di limo e di argilla può essere eliminata con prodotti disperdenti o flocculanti.

Il ripristino del pozzo consiste in una pulizia dalle incrostazioni seguita da uno spurgo. La procedura deve essere eseguita sempre da personale specializzato che scelga e dosi accuratamente le diverse sostanze ed attui una metodologia tale da evitare il danneggiamento del pozzo e dell'operatore. Talvolta possono essere necessari più cicli di trattamenti e spurgo.

La pulizia della parte filtrante può essere eseguita anche con cariche calibrate di esplosivo speciale ad alta velocità o a base nitrica, quest'ultimo produce gas ad azione pistonante, le vibrazioni ottenute sono in grado di distaccare le incrostazioni dei filtri. Anche in questo caso segue lo spurgo.

5. Alcune linee fondamentali del Regolamento in materia di gestione del Demanio Idrico riguardanti le concessioni di derivazione di acqua pubblica a scopo irriguo della Provincia di Livorno.

Fanno parte del Demanio Idrico tutte le acque sotterranee e le acque superficiali, anche raccolte in invasi o cisterne (fiumi, torrenti, laghi, ghiacciai, sorgenti, canali, corsi minori) e le relative pertinenze; sono demaniali, non solo le acque, ma anche gli alvei che le contengono (i quali contengono l'intero spazio geofisico che raccoglie le acque e si estendono al terreno coperto dalle acque nelle piene ordinarie) e le rive che delimitano gli alvei stessi.

Per atto di concessione s'intende il procedimento amministrativo con cui l'Amministrazione Provinciale attribuisce al privato (cessionario) facoltà di godimento delle acque del Demanio Idrico.

Le concessioni devono essere richieste per le utilizzazioni di acqua pubblica da parte del privato per tutti i fini esclusi quelli domestici.

Al fine di salvaguardare le falde dall'eccessivo emungimento, in seguito alla Deliberazione della Giunta Regionale Toscana n. 729 del 23 giugno 1999, e successive reiterazioni della normativa, non sono ammesse nuove concessioni nei comuni di Rosignano Marittimo, Cecina, Bibbona, Castagneto Carducci, San Vincenzo, Campiglia Marittima, Piombino e comuni dell'Isola d'Elba.

La Provincia non può rilasciare concessioni senza prevedere l'installazione di un misuratore dei prelievi. E' stabilito dal DLgs n. 152/99 che lo prevede espressamente e dalla approvazione del piano di tutela delle acque del bacino Toscana Costa approvato con deliberazione del Consiglio Regionale.

Le concessioni sono sempre temporanee e la loro durata può variare da 1 a 30 anni a discrezione dell'Amministrazione Provinciale.

Per ogni utilizzazione delle acque deve essere corrisposto dall'utilizzatore un canone annuale, rivalutabile, il cui importo varia a seconda del tipo di utilizzazione e in base a parametri stabiliti dal Regolamento in materia di gestione del Demanio Idrico. Attualmente il canone è di 20 €/anno e la durata delle concessioni è di 10 anni.

L'amministrazione Provinciale potrà prescrivere il versamento di un deposito cauzionale che in nessun caso dovrà essere inferiore a cinque annualità per concessioni maggiori di cinque anni di annualità. Tale deposito sarà restituito tramite Determinazione del Dirigente del Settore una volta terminata la concessione e constatato l'adempimento di tutti gli obblighi dell'atto di concessione.

La concessione può essere rinnovata dietro presentazione di apposita domanda entro sei mesi dalla scadenza della concessione previa dichiarazione del concessionario di non variazione rispetto al titolo in corso di concessione.

La domanda di concessione (istanza) va presentata al Settore Difesa del Suolo e Protezione civile dell'Amministrazione Provinciale corredata dalla documentazione tecnica prevista (planimetrie, relazioni tecniche, etc. etc.) e indicante tra le altre cose:

- 1) lo scopo della concessione (destinazione d'uso delle acque);
- 2) punto del prelievo;
- 3) portata del prelievo;
- 4) volume annuo da prelevare;
- 5) durata della concessione.

Il Settore, acquisita l'istanza e valutata la procedibilità della stessa per quanto riguarda la completezza dell'Istanza e della documentazione allegata, entro 20 giorni individua i pareri da richiedere all'Autorità di Bacino ed eventualmente anche ad altre istituzioni pubbliche: Ente Parco, Consorzio di Bonifica A. T. O., Regione Toscana, A. S. L. .

Tali istituzioni possono emettere parere entro un termine di 40 gg. dal ricevimento degli atti dal Settore, decorso il quale, senza che sia intervenuta alcuna pronuncia in merito, s'intendono espressi in modo favorevole.

La concessione prevede la predisposizione di un "disciplinare del provvedimento" con il quale si stabiliscono le condizioni e clausole di concessione dell'acqua. Il Disciplinare stabilisce tra le altre cose:

- 1) la portata e il volume annuo concesso;
- 2) l'uso cui la risorsa è destinata in particolare per l'uso irriguo la tipologia di colture a cui l'acqua è destinata prevedendo, se necessario, specifiche modalità d'irrigazione;
- 3) la durata della concessione;
- 4) l'importo annuo del canone e la relativa decorrenza;
- 5) l'obbligo relativo all'eventuale installazione e manutenzione d'idonei dispositivi per la misurazione delle portate e dei volumi erogati e alla trasmissione all'autorità preposta dei risultati delle misurazioni;
- 6) modalità e i termini per la richiesta di rinnovo della concessione.

Per il rinnovo della concessione è necessario presentare relativa domanda (anche qui denominata "Istanza") almeno sei mesi prima della data di scadenza della stessa. Le istanze che non comportino varianti sostanziali alla concessione in scadenza, non sono soggette né condizionate dall'Autorità di Bacino. Nel caso l'Istanza di rinnovo non sia inoltrata nei termini previsti e/o la richiesta di rinnovo comporti varianti sostanziali, quali ad esempio cambio di destinazione d'uso dell'acqua o aumenti dei prelievi, verrà seguito il procedimento indicato per il rilascio di una nuova concessione.

In seguito a rinnovo può essere aggiornato sia il canone che l'eventuale deposito cauzionale originariamente versato.

Alla cessazione della concessione le opere di derivazione, devono essere rimosse a cura e a spese del concessionario e conseguentemente i luoghi devono essere ripristinati allo stato iniziale.



**Legge Regionale 3 agosto 2001 n° 34 e successive modificazioni
“Disciplina dei servizi di sviluppo agricolo e rurale”**

**Programma dei Servizi di Sviluppo Agricolo e Rurale della
Provincia di Livorno
(delibera del Consiglio Provinciale n.° 16 del 25/01/2005)**

Anno 2005

Azione 4.1 del Piano Regionale

**Progetto: “Contenimento dei consumi idrici in agricoltura e
salvaguardia della falda”**

**Progetto aggiudicato da Associazione Temporanea d’Impresa
“Terre di Livorno” tra**



**CIA Servizi Livorno s. r. l.
Piazza Manin, 4 – 57126 Livorno
tel. 0586/899740 – fax 0586/219345
e-mail: ciaservizi.li@cia.it**

**E. R. A. T. A.
Via Marradi, 14 – 57126 Livorno
tel. 0586/812744 – fax 0586/8111792
e-mail: livorno@confagricoltura.it**

**Impresa Verde Pisa-Livorno s. r. l.
Via Aurelia Nord, 4– 56122 Pisa
tel. 050/526003 – fax 050/526029
e-mail: pisa@coldiretti.it**

*“Quando il pozzo è asciutto
scopriamo il valore dell’acqua”
B. Franklin, 1745*

*Le riserve idriche della falda
non sono illimitate.
Un uso consapevole consente
il mantenimento
dell’agricoltura irrigua ed
evita pericolose intrusioni di
acqua salata*