

LA COLLOCAZIONE OTTIMALE DEI POZZI PER ACQUA IN FUNZIONE DI CRITERI IDROGEOLOGICI

A cura di Carla Rampolla
carla.rampolla@gmail.com

INTRODUZIONE

Per valutare i criteri idrogeologici utili al posizionamento dei pozzi per acqua, è utile esaminare la vasta letteratura sull'argomento, per poi sviluppare una serie di simulazioni numeriche che verifichino i principi direttivi finora consolidati dall'esperienza. In questa elaborato si evidenzierà che la scelta della zona in cui collocare i pozzi per acqua dipende soprattutto dalla struttura del sistema acquifero, ed è governata da precisi criteri, che molteplici esperti hanno applicato utilizzando tecniche di diversa concezione ed efficacia. Si evidenzierà che la migliore resa dei pozzi si ottiene posizionandoli nelle strutture geologiche che consentono un grande e rapido ricambio delle acque estratte dal pozzo, e collocando l'opera di presa in punti caratterizzati, su una estesa area intorno al pozzo, da elevata trasmissività. Dalle simulazioni numeriche effettuate si è ottenuta conferma di tali principi, che, in questo studio, sono esposti e discussi per della evidenziare la loro diversa incidenza sulla resa delle captazioni.

1. STUDI SUL PROBLEMA DEL POSIZIONAMENTO DEI POZZI PER ACQUA

L'ampia e largamente diffusa letteratura scientifica raccomanda di posizionare i pozzi per acqua in strutture geologiche che consentono un ricambio copioso e rapido delle acque estratte dal pozzo, e di collocare l'opera di presa in una area estesa e caratterizzata da elevata trasmissività. Se l'acquifero è eterogeneo, per esempio ha forte anisotropia orizzontale o ha una successione di livelli a trasmissività diversa o ha evidenti variazioni di spessore in aree non molto estese, le diverse misure fatte con prove sui pozzi della trasmissività, non saranno sufficientemente attendibili e soddisfacenti. Perciò il metodo tradizionalmente seguito è quello di valutare la trasmissività "apparente", che rappresenta il rendimento di un ampio settore del sistema acquifero racchiuso entro il raggio d'influenza del pozzo. In questi casi è particolarmente utile la cartografia della portata specifica del pozzo (Francani 1986). Queste carte rappresentano la portata del pozzo per un metro di abbassamento e sono molto efficaci per la valutazione della trasmissività locale, come si può facilmente ricavare dagli studi di Theis (1935), H. Schoeller (1976), G. Castany (1967) e

Custodio e Llamas (1976), da cui risulta evidente che collocando i pozzi nelle aree a maggiore portata specifica, si riscontrano generalmente migliori rendimenti del pozzo. Tuttavia alcuni autori, come per esempio Osienskie et al. (2006) motivano la portata specifica non solo con la trasmissività nell'intorno del pozzo, ma anche con la forma e la disposizione dei settori a diversa permeabilità che compongono il sistema acquifero. Essi spiegano in tal modo come, a parità di trasmissività media, i pozzi di due acquiferi abbiano portate differenti in funzione della disposizione dei livelli più e meno permeabili.

Nei capitoli successivi viene eseguita una verifica del motivo di tali rendimenti diversi.

2. CONSIDERAZIONI TEORICHE E APPROCCIO PARAMETRICO AL PROBLEMA

Da un esame, anche approssimativo, delle conseguenze dell'estrazione di una portata Q dall'acquifero, risulta evidente che essa viene determinata dalla relazione:

$$Q = VS/t \quad (1)$$

in cui Q rappresenta la portata estratta dal pozzo (in m^3/s), V il volume della depressione piezometrica (in m^3), S la porosità efficace (o il coefficiente di immagazzinamento in caso di acquiferi in pressione) (adimensionale), t il periodo di tempo nel corso del quale è avvenuto il prelievo a portata costante (in secondi). A parità di permeabilità k , di tempo t e di abbassamento medio s di un acquifero, la portata erogata Q risulta dipendente dall'estensione areale della riserva sottoposta alla depressione piezometrica, e quindi dal volume dell'acquifero che ne viene interessato (figura 1).

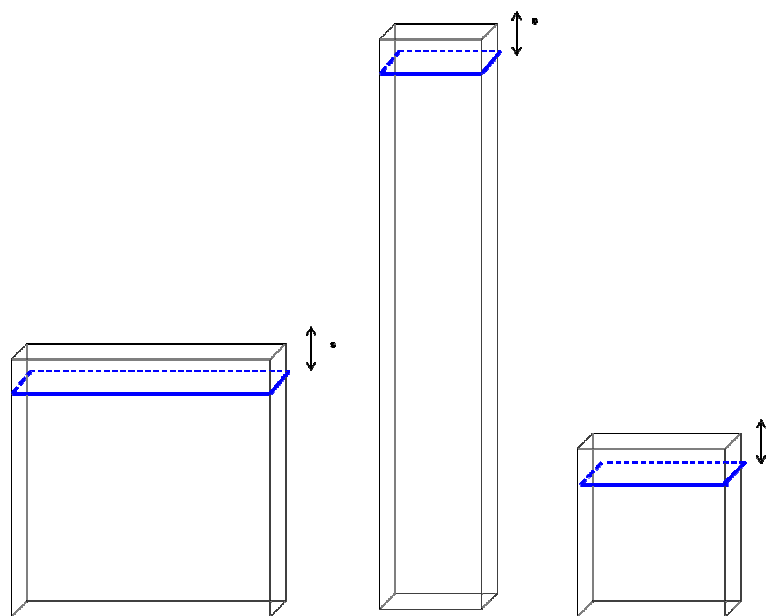


Fig.1

Considerando il caso di regime stazionario e non tenendo conto della trasmissività T dell'acquifero, a parità di abbassamento s il volume di acqua estratto Q dipende sostanzialmente dalla porosità efficace (o coefficiente di immagazzinamento) S , e dalla superficie della depressione piezometrica. Dalla figura 1 si evince facilmente che la superficie dell'acquifero, a parità di altre condizioni, regola la quantità di acqua disponibile per metro di abbassamento.

Davis e De Wiest (1966) descrivono il problema ricavando la portata Q in modo differenziale tramite la relazione:

$$dQ = -S \cdot r \cdot d\theta \cdot dr \cdot \frac{\delta h}{\delta t} \quad (2)$$

in cui r è la distanza dal pozzo (m), S è il coefficiente di immagazzinamento dell'acquifero (adimensionale), θ è l'apertura angolare (radianti) e dr la lunghezza della porzione di acquifero in cui si verifica l'abbassamento dh nell'intervallo di tempo dt .

Si osserva che, tenendo conto della trasmissività, (a) la configurazione con depressione estesa, ma abbassamento ridotto (condizione di rendimento migliore) si realizza in acquiferi a elevata trasmissività, (b) mentre la configurazione con elevato abbassamento, ma scarsa estensione della depressione piezometrica si verifica negli acquiferi a trasmissività ridotta, che rappresenta il caso meno favorevole per la resa dei pozzi. Per identificare quali fra i fattori elencati abbiano la maggiore influenza sulla resa dei pozzi, si è deciso di risolvere il problema parametricamente, effettuando una serie di simulazioni di strutture idrogeologiche relativamente semplici, nelle quali tali fattori sono stati fatti variare uno alla volta senza modificare gli altri. Si è così dimostrato che alcuni di questi parametri hanno un'influenza molto elevata (ad esempio la trasmissività e le dimensioni dell'area di cattura dei pozzi) mentre altri hanno un'importanza minore (ad esempio la cadente piezometrica). Nei punti successivi questi risultati verranno brevemente descritti e discussi.

2.1. FATTORI DAI QUALI DIPENDE LA RESA DEI POZZI

Il problema principale risulta quindi quello di determinare, utilizzando i principali parametri idrogeologici dell'acquifero, la portata specifica dei pozzi misurata in loco. Le misurazioni in sito sono necessarie perché non si sono finora individuate relazioni che permettano di identificarla in funzione dei parametri idrogeologici dell'acquifero anche nei terreni eterogenei, mentre la sua identificazione preliminare, anche in via orientativa, rappresenterebbe un considerevole vantaggio.

Si possono esporre alcune considerazioni che aiutano a migliorare la conoscenza sul problema, anzitutto per quanto riguarda gli acquiferi omogenei, e successivamente quelli eterogenei.

Dato che

$$R' = \frac{Q}{2\pi Tj} = \frac{(H-h)}{[j \cdot \ln(\frac{R}{r})]} = \frac{(y-h)}{[j \cdot \ln(x/r)]} \quad (3)$$

risulta evidente che la portata specifica $Q' = Q/(H-h)$ è in relazione sia con R' sia con F . In particolare

$$Q' = \frac{2\pi TjR'}{(H-h)} = \frac{F \cdot q}{(H-h)} \quad (4)$$

Dove R' rappresenta il raggio fittizio del pozzo, ossia la distanza tra il centro di quest'ultimo ed il punto di stagnazione a valle, T la trasmissività dell'acquifero in m/s, j il gradiente medio, H , h ed y le altezze piezometriche misurate rispettivamente a distanza R , r ed x dal centro del pozzo. F è la larghezza del fronte di richiamo del pozzo, e q la portata di una sezione di larghezza unitaria dell'acquifero. Dalla relazione fra portata specifica e fronte di richiamo, si può concludere che la portata specifica di una captazione dipende da fattori geometrici, quali l'estensione areale della depressione piezometrica proporzionale al perimetro (rappresentato nel caso del pozzo isolato in falda inclinata dal valore di F), e da fattori idrogeologici, quali la portata naturale q delle acque che vi affluiscono, e quindi dalla trasmissività. Nel caso di acquiferi in cui lungo il fronte di richiamo le T siano diverse, la portata che alimenta il pozzo è quindi ricavabile dalla sommatoria dei prodotti della lunghezza di ciascun tratto a diversa trasmissività per la T propria del tratto e per la cadente piezometrica, e dipende quindi dai medesimi fattori che agiscono sui pozzi negli acquiferi omogenei, con l'aggiunta di quelli sottolineati da Tumilson et al. (2006).

Tenendo conto delle relazioni riportate precedentemente, si ottiene che la portata dei pozzi in questi acquiferi dipende principalmente dai seguenti cinque elementi:

1. la trasmissività e il grado di interconnessione fra le aree a elevata trasmissività;
2. la cadente piezometrica;
3. la facilità di rialimentazione delle portate erogate;
4. la collocazione del pozzo in aree di elevata permeabilità e trasmissività;
5. le strutture geologiche, in particolare l'anisotropia.

3. DESCRIZIONE DEL MODELLO E DELLE SIMULAZIONI ESEGUITE

Si è dimostrato che la distribuzione delle zone a maggiore trasmissività favorisce le migliori rese dei pozzi, se esse risultano interconnesse fra loro e con la zona di alimentazione, pertanto l'oggetto delle simulazioni effettuate è stata questa struttura tipica dei depositi alluvionali. In ogni

simulazione tali proprietà sono state gradualmente modificate in modo da permettere di esaminare tutti i casi più comuni ed evidenziare i criteri da seguire per classificare le diverse strutture esaminate e le diverse posizioni prescelte per collocare il pozzo. I risultati presentati, sono stati ottenuti attraverso la simulazione del flusso stazionario in falda inclinata all'interno di un dominio di 500x750 metri, implementato con un modello chiamato matrice delle piezometrie (Bonnet 1978). Questo modello prevede la suddivisione dell'acquifero in prismi quadrati dalle caratteristiche omogenee; ogni prisma rappresenta un nodo della rete di flusso, ed il modello prese in ingresso le quote piezometriche al contorno, restituisce i valori di queste ultime per ogni nodo della rete di flusso, ottenute attraverso un bilancio delle portate. Nello specifico il modello utilizzato prevede un dominio di flusso costituito da 150 celle quadrate, di dimensione 50x50 metri, che rappresentano ciascuna un prisma di acquifero di spessore pari allo spessore dell'acquifero stesso. Il dominio di flusso è quindi monostrato, ha celle quadrate con i lati di 750 m X 500 m e spessore dello stato di 20 metri. Si distinguono in arancione chiaro le zone ad alta permeabilità ($5 \cdot 10^{-4}$ m/s) e con una tonalità più scura le zone a permeabilità più bassa di un ordine di grandezza ($5 \cdot 10^{-5}$ m/s). Sei differenti simulazioni (figura 2) saranno ora brevemente descritti ed analizzati.

Caso a: La configurazione descritta dalla figura 2.a è stata costruita in modo da affiancare le celle a diversa permeabilità per ciascuna delle tre parti dell'acquifero (zona di alimentazione, zona di deflusso e zona di recapito) così da rappresentare le più comuni condizioni di flusso. Le sette posizioni del pozzo sono rappresentate dai piccoli cerchi neri. In particolare, la zona di alimentazione e quella di recapito presentano tre settori con diverse caratteristiche: uno in cui predominano le celle ad alta permeabilità, uno altrettanto esteso in cui sono comprese solo celle a minore permeabilità, e uno stretto corridoio ad elevata permeabilità. Il pozzo è stato posizionato lungo il corridoio ad elevata permeabilità nella zona di deflusso, e di volta in volta lo si è spostato lungo questa struttura passando da un punto prossimo all'alimentazione (pozzo 1) ad un altro più vicino al recapito (pozzo 7). Il motivo della scelta di tale configurazione, come successivamente verrà chiarito esaminando i risultati dei calcoli, consiste nella necessità di porre in evidenza l'importanza della ripartizione della trasmissività nell'area prossima al pozzo nel determinarne la portata specifica, altrimenti non sufficientemente sottolineata.

Casi b, c, d ed e: nelle figure 2.b ÷ 2.e si evidenzia l'aumento della permeabilità in una zona dell'acquifero, normalmente vicino ai pozzi. Questo aumento di permeabilità, riguarda in particolare la zona 9 nel caso b, la zona 10 nel caso c, la zona 11 nel caso d e la zona 12 nel caso e, ed è fatto per garantire una maggiore alimentazione alla zona dei pozzi, aumentando la trasmissività dell'acquifero in loro prossimità e garantendo un migliore collegamento con l'alimentazione. Al

fine di mantenere comunque invariata la trasmissività totale del dominio, ogni aumento della permeabilità nella zona vicino ai pozzi, viene “recuperato” con la diminuzione della stessa su una zona di pari estensione, di norma situata in prossimità del margine sinistro del dominio, perciò ad ogni zona di cui aumenta la permeabilità corrisponderà una zona di uguale estensione classificata con lo stesso numero dell’altra ma con l’aggiunta della lettera *c*, per cui all’aumento della permeabilità della zona 9 corrisponderà una diminuzione della stessa nella zona 9c.

Caso *f*: Da ultimo, nel caso *f*, anche la zona 13 passa da bassa ad alta permeabilità, creando una terza area di comunicazione tra monte e valle, il flusso della falda perciò non viene più costretto a passare attraverso i due “corridoi” di destra, per raggiungere il recapito a valle. Come è possibile notare anche dai risultati dei calcoli, esposti in dettaglio nei paragrafi successivi, le variazioni nella struttura geologica descritte determinano condizioni sempre più favorevoli all’espansione dell’area di richiamo del pozzo, che si estende maggiormente all’interno di zone ad alta permeabilità piuttosto che in quelle a permeabilità inferiore. Quindi l’aumento delle connessioni tra le varie zone ad alta permeabilità dell’acquifero, separate inizialmente da celle meno permeabili, aumenta lo scambio all’interno dell’acquifero, e la possibilità per la depressione piezometrica creata dal pozzo di espandersi su di un’area sempre più vasta passando dal caso *a* al caso *f*. Il pozzo può così richiamare di conseguenza molta più acqua a parità di abbassamento prodotto. Inoltre, la rimozione di barriere, costituite da celle a bassa permeabilità, a monte delle zone di captazione come avviene nei casi *d* ed *e* favorisce l’aumento delle portate estratte dai pozzi.

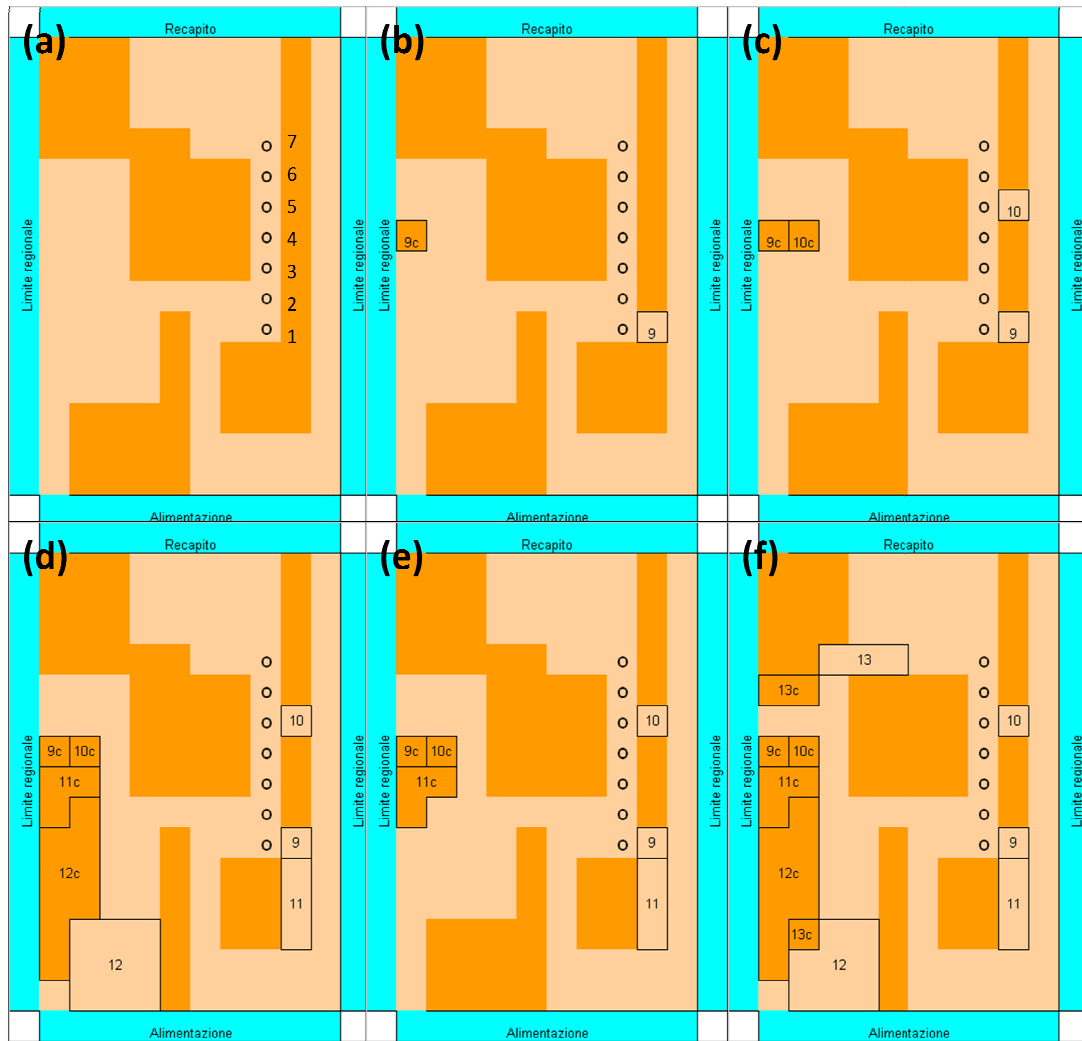


Fig. 2 – I sei differenti domini di flusso descritti nel testo. In arancione chiaro le zone ad alta permeabilità ($5 \cdot 10^{-4}$ m/s) e con una tonalità più scura le zone a permeabilità più bassa di un ordine di grandezza ($5 \cdot 10^{-5}$ m/s).

3.1. INFLUENZA DEL GRADIENTE

A parità di portata estratta dal pozzo Q, un aumento della cadente piezometrica j corrisponde ad una

simmetrica riduzione del fronte di richiamo F e di R' ($F = \frac{Q}{Tj}$; $R' = \frac{q}{2\pi Tj}$)

Infatti F e R' sono inversamente proporzionali alla portata entrante dal fronte di richiamo a parità di portata del pozzo. Quindi, secondo la nota relazione di Darcy applicata al fronte di richiamo dei pozzi ($Q = FTj$) se aumenta j , abbiamo una proporzionale riduzione di F , mentre la Q' rimane costante. Lo studio ha accertato che agli acquiferi eterogenei si può applicare un'estensione della relazione di Darcy per il fronte di richiamo dei pozzi, che tenga conto della variazione di j lungo il fronte di richiamo, secondo la relazione :

$$Q' = \sum \frac{F_i q_i}{(H - h)} \quad (5)$$

Dove la portata Q' è data dalla sommatoria di ogni fronte di richiamo F_i per ogni portata specifica q_i diviso il dislivello tra le quote di alimentazione e recapito ($H-h$).

Per verificare tale fenomeno, sono stati eseguiti tre cicli di simulazioni per ognuna delle sei configurazioni presentate nel paragrafo precedente come casi a-f:

- Un primo ciclo nel quale si è considerato un dislivello tra le quote di alimentazione e recapito di 10 metri, a produrre un gradiente medio sul dominio dell'1.33 %.
- Un secondo ciclo con un dislivello dimezzato (5 metri tra alimentazione e recapito), corrispondenti ad un gradiente medio dello 0.667%.
- Un ultimo ciclo con un dislivello di soli due metri tra monte e valle per un gradiente medio dello 0.27%.

Nelle seguenti tabelle (Tab. 1- 2), che riportano i valori di variazione della portata estratta dai pozzi in %, è possibile osservare che cambi importanti nell'entità del gradiente j non producono significative variazioni nella portata estratta dai pozzi.

Pozzo\caso	1	2	3	4	5	6
Pozzo 1	0.1%	0.5%	0.1%	0.0%	0.2%	0.0%
Pozzo 2	0.0%	0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%	-0.1%
Pozzo 3	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%
Pozzo 4	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	-0.1%	0.1%
Pozzo 5	-0.1%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Pozzo 6	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
Pozzo 7	0.3%	0.0%	0.2%	0.0%	-0.1%	0.0%

Tabella 1: le variazioni di portata estratta dai pozzi, nei casi di acquifero con gradiente di 1.3% e 0.67% producendo sempre un abbassamento di un metro rispetto al caso stazionario, si dimostrano insignificanti, non andando oltre lo 0.5%

Pozzo\caso	1	2	3	4	5	6
Pozzo 1	0.2%	0.8%	0.2%	0.0%	0.2%	0.0%
Pozzo 2	-0.1%	0.0%	0.1%	-0.2%	-0.1%	0.0%
Pozzo 3	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	-0.1%	0.0%
Pozzo 4	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.1%
Pozzo 5	0.1%	0.5%	0.0%	-1.1%	0.0%	-0.1%
Pozzo 6	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%
Pozzo 7	0.3%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	-0.1%

Tabella 2: le variazioni di portata estratta dai pozzi, nei casi di acquifero con gradiente di 1.3% e 0.27%, producendo sempre un abbassamento di un metro rispetto al caso stazionario, sono molto poco rilevanti, rimanendo sempre al di sotto dell'1% sia in più che in meno.

3.2. INFLUENZA DEL GRADO DI INTERCONNESSIONE DEL SISTEMA

I grafici che seguono (figg. 4-5-6) mostrano i risultati, in termini di portate specifiche q estratte in regime permanente con dislivello tra le quote di alimentazione e recapito diversi, ottenute dalle simulazioni sulle sei configurazioni dell'acquifero presentate (casi a-f).

Dai grafici si possono fare le seguenti osservazioni:

- La portata estratta dai pozzi cresce all'aumentare della connessione dell'acquifero;
- La portata è particolarmente influenzata dai cambiamenti che avvengono a monte del pozzo, più che da quelli che avvengono a valle di quest'ultimo.
- L'aumento di portata estratta, è influenzato in maniera maggiore da cambiamenti che avvengono in prossimità del pozzo piuttosto che da quelli che avvengono lontano da esso.
- Il pozzo 1, presenta un notevole incremento della portata estratta passando dal caso 1 al caso 2, in occasione dell'apertura del passaggio corrispondente alla zona 9, ed un altro importante incremento tra il caso 3 e 4 in occasione dell'aumento di permeabilità della zona 11, direttamente a monte di esso.
- Il pozzo 2 presenta pressappoco lo stesso andamento del pozzo 1, salvo il fatto che partendo da portate più elevate, gli incrementi registrati sono di entità inferiore.
- I pozzi 3 e 4 sono quelli che in generale hanno la resa minore, essendo stretti su due lati dall'area a bassa permeabilità, le loro rese crescono in tutti i casi in maniera pressappoco regolare, perché tutti gli aumenti di permeabilità che si registrano tra il caso 1 ed il caso 5, hanno localmente l'effetto di aumentare la portata che da monte viene convogliata verso valle e che passa per forza anche attraverso il "corridoio" ove questi pozzi sono ubicati.
- Il pozzo 5, presenta un notevole incremento in occasione dell'aumento di permeabilità della zona 10, posta direttamente alla destra del pozzo.
- Il pozzo 6 presenta un andamento del tutto simile a quello del pozzo 5, essendo situato a valle di quest'ultimo, trae anch'esso beneficio dall'accresciuta permeabilità della zona 10.
- Il pozzo 7 aumenta la portata estratta tra i casi 1 e 5, in particolare in corrispondenza del caso 3, che prevede l'aumento di permeabilità della zona 10 che è la più vicina al pozzo. Inoltre quest'ultimo mostra una diminuzione significativa della portata in occasione dell'apertura del passaggio attraverso la zona 12, infatti la creazione di una nuova via per il transito delle portate da monte a valle, causa un leggero calo del gradiente da monte in quanto parte del flusso monte-valle adesso fluisce attraverso il nuovo passaggio e non più attraverso il "corridoio" che nei casi precedenti convogliava tutta la portata verso il pozzo 7.

Dal confronto tra i grafici si trae subito una riconferma di quanto esposto al paragrafo 3.1 ossia che il gradiente non ha nessuna influenza sulle portate estratte, risultando l'andamento di queste ultime identico nei tre grafici presentati.

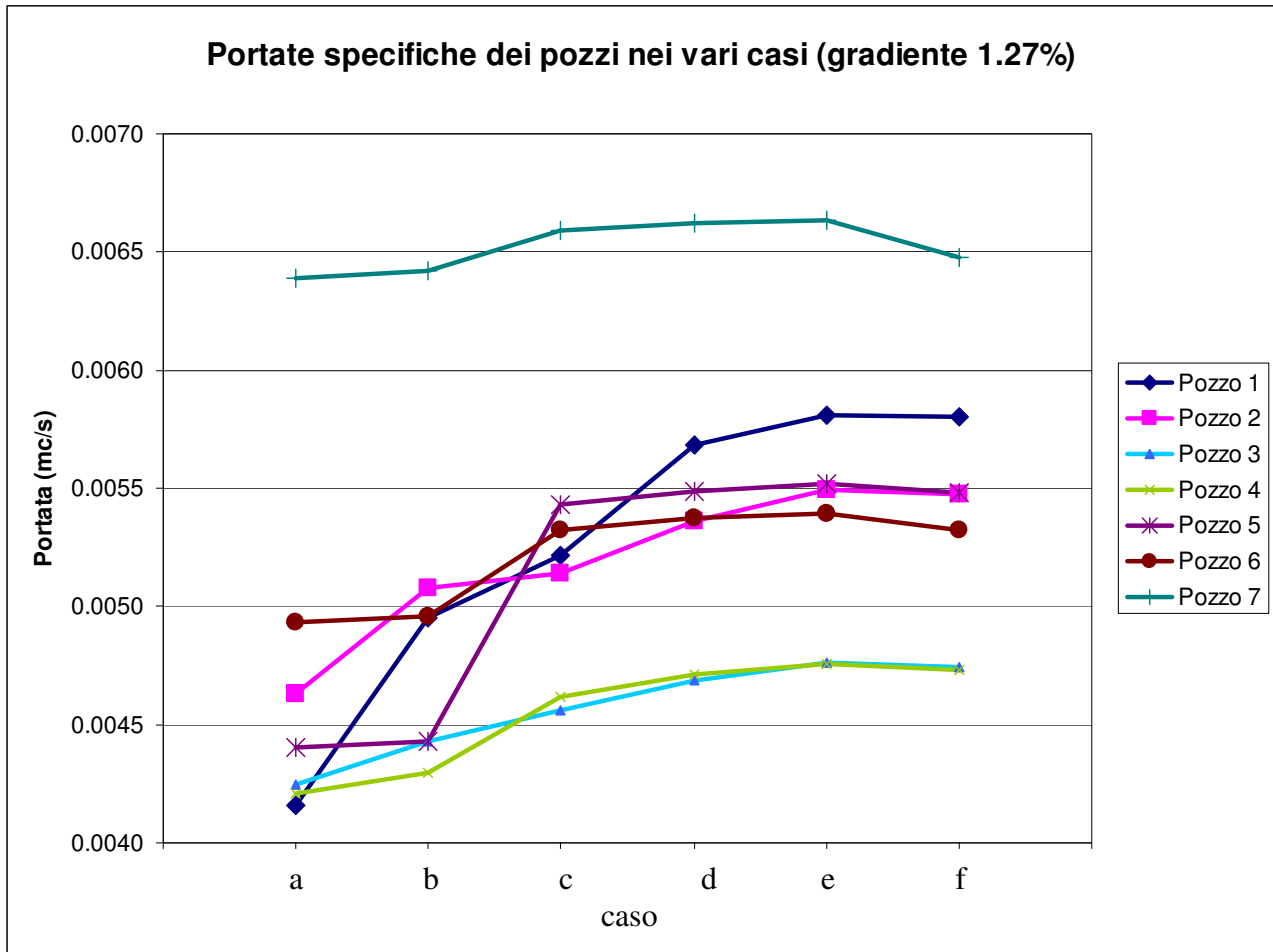


Figura 4: Il grafico riporta le portate ottenute dai vari pozzi (numerati da 1 a 7 da monte a valle cfr. figura 2) per ognuno dei casi (a-f) con differente distribuzione delle permeabilità, illustrati sopra e un dislivello tra la quota dell'alimentazione e quella del recapito di 10 metri.

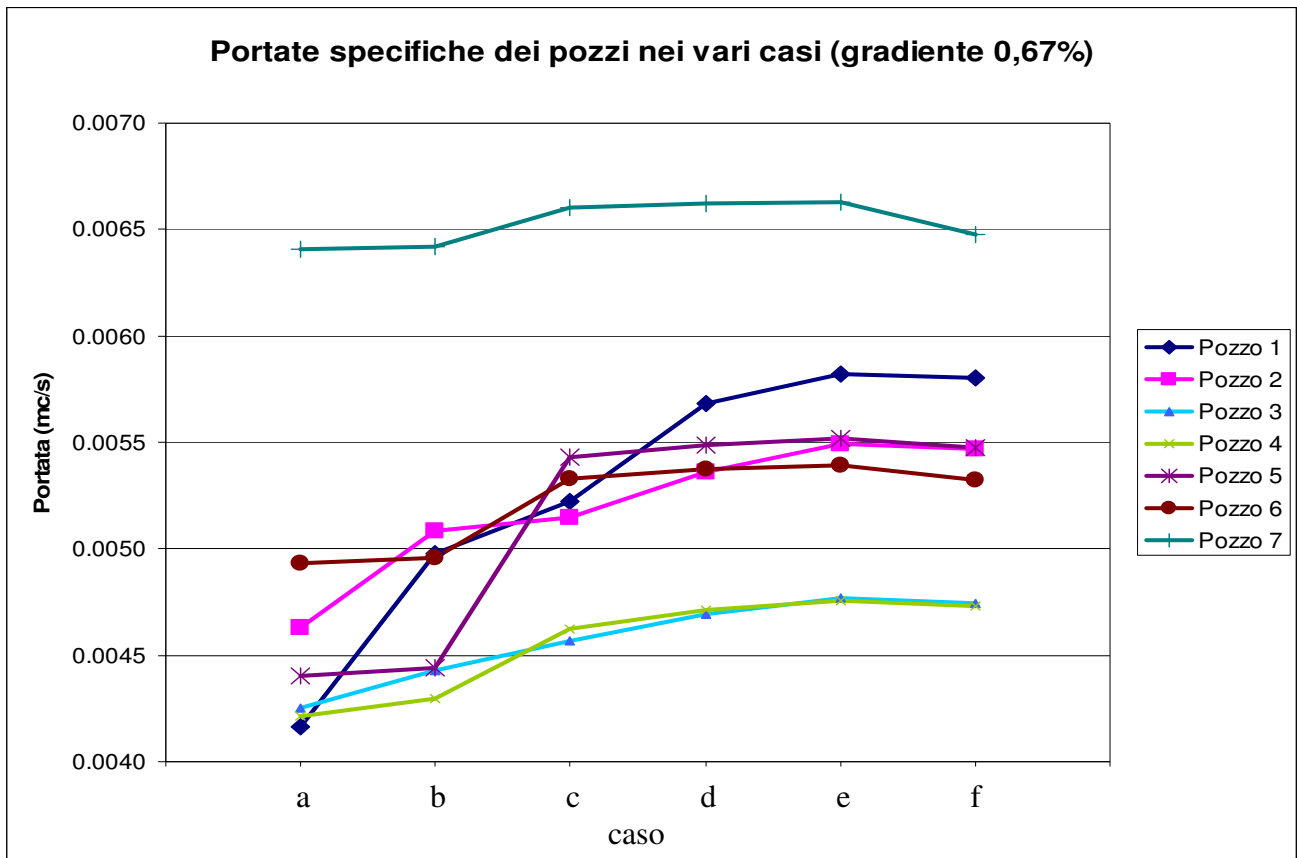


Figura 5 : Il grafico mostra i dati di portata relativi alla simulazione condotta nei sei casi di configurazione delle permeabilità esposte, ma con un gradiente pari alla metà di quello esposto nel paragrafo precedente, prodotto da un dislivello di 5 metri tra alimentazione e recapito.

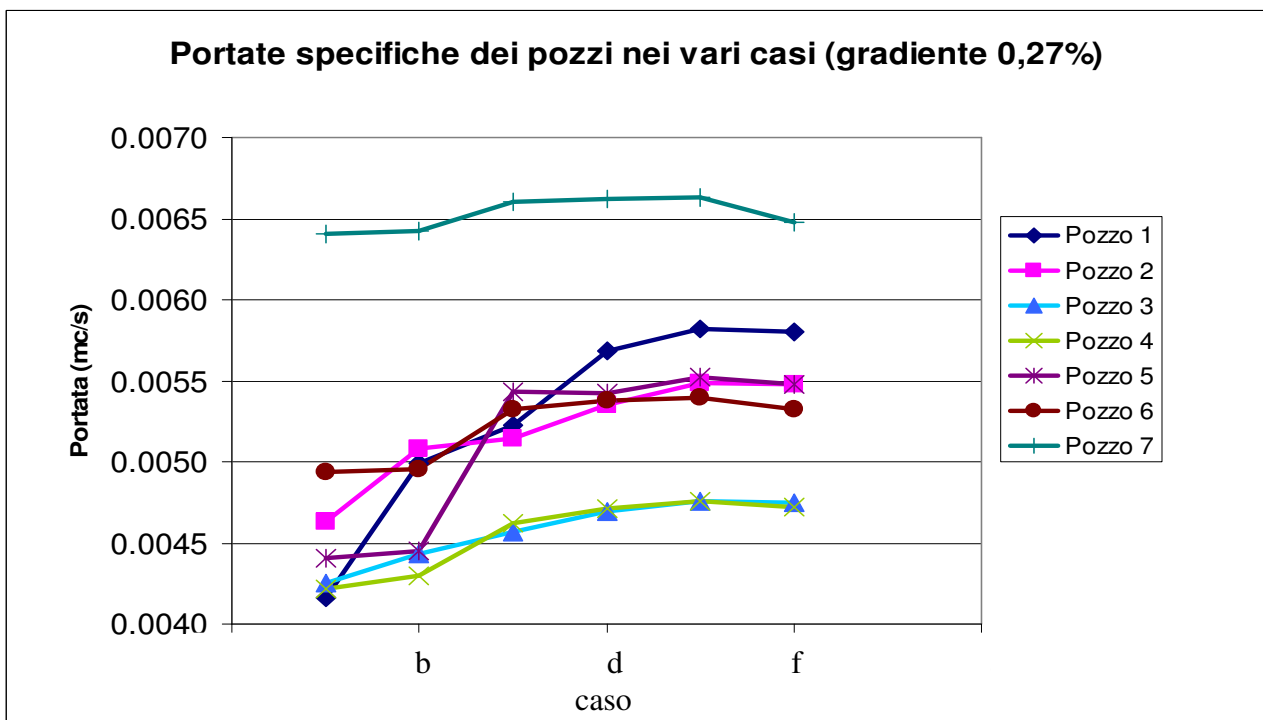


Figura 6: Grafico che mostra le portate ottenibili dai pozzi in presenza di un gradiente pari allo 0.27% prodotto da un dislivello di 2 metri tra alimentazione e recapito.

3.3. INFLUENZA DEL COLLEGAMENTO CON LE ZONE DI ALIMENTAZIONE

Dai risultati riportati in precedenza si deduce che, più aumenta la connessione dell'acquifero, intesa come la presenza di zone ad elevata permeabilità collegate tra di loro, più aumenta la produttività dei pozzi che in esse sono posti. In questo paragrafo si illustrerà come il collegamento della zona dove è posto un pozzo con i limiti di ricarica, possa essere indicizzata e messa in relazione alla resa dei pozzi che nell'acquifero operano.

- *Calcolo dell'indice di collegamento con i limiti di ricarica I_c .*

L'indice di collegamento è un numero inferiore ad uno che rappresenta l'inverso della lunghezza media del percorso che l'acqua deve compiere partendo da uno dei contorni del dominio modellizzato per raggiungere il pozzo, in particolare questo percorso viene misurato e poi mediato, dai quattro lati (monte, valle, destro e sinistro) della cella dove il pozzo è posto, tenendo conto dei valori di permeabilità delle celle.

Per ogni pozzo si è calcolata la "lunghezza" del percorso più veloce da ogni lato che permette di raggiungere uno dei contorni del dominio, siano essi alimentazione, recapito o il limite regionale laterale a quota piezometrica costante.

- *Relazione Portata Q - Indice di collegamento I_c*

I valori dell'indice di collegamento I_c sono poi stati inseriti in un grafico (fig. 7) e messi in relazione con le portate emunte dai pozzi.

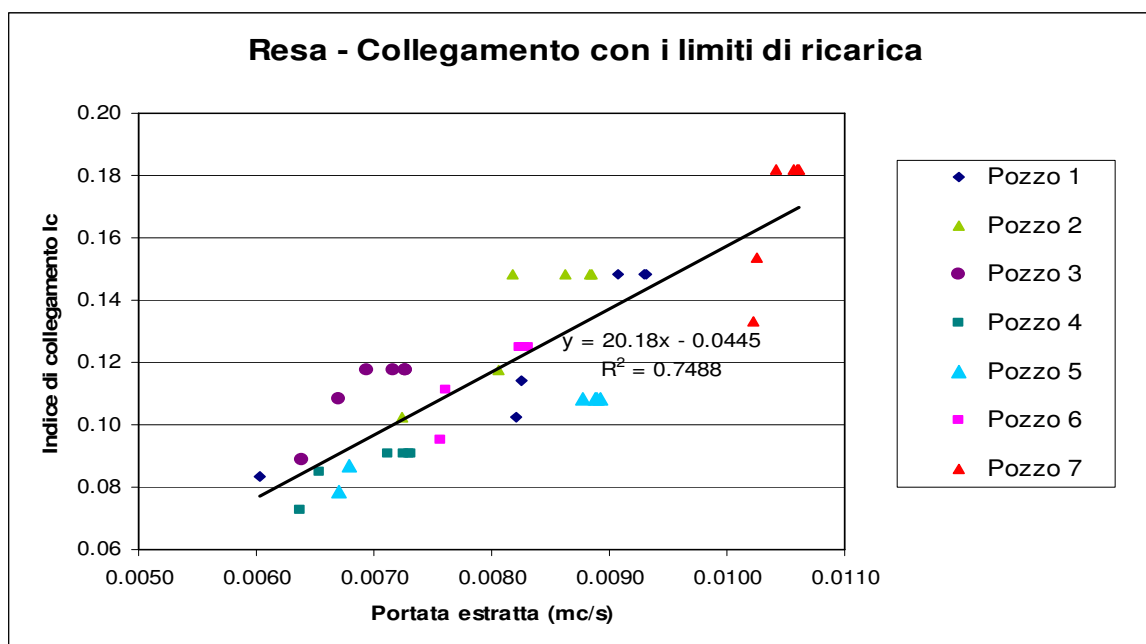


Figura 7

In particolare, il grafico in figura 7 riporta in ascisse il valore della portata estratta ed in ordinata il valore dell'indice di collegamento. Dal grafico risulta chiara la presenza di una certa relazione che lega le portate estratte dal pozzo, alla sua possibilità di “allacciarsi” a zone a quota piezometrica costante o ad alta permeabilità, che se raggiunte dalla depressione piezometrica causata dal pozzo stesso, convogliano verso di esso una portata elevata.

Con una interpolazione lineare su tutti i punti, ed impostando l'intercetta a zero (anche se questo porta ad una retta che non rappresenta propriamente la migliore interpolazione possibile dei dati), in quanto è naturale supporre che un pozzo completamente isolato non sarà in grado di estrarre portata è facile ottenere la relazione empirica e valida solo per il modello e nelle condizioni utilizzate:

$$Q\left(\frac{mc}{s}\right) = \frac{Ic}{15} \quad (6)$$

3.4. INFLUENZA DELL' ANISOTROPIA

A complemento del lavoro presentato, è stato effettuato uno studio teso ad individuare l'influenza di strutture regolari sulla resa dei pozzi, in particolare quando questi si trovino ad operare all'interno di un acquifero caratterizzato da un'alternanza di zone ad alta ed a bassa permeabilità.

In particolare è stato analizzato un acquifero che presenta un'alternanza di zone ad alta e bassa permeabilità, analizzate tre configurazioni differenti: disposte parallelamente al senso del flusso monte – valle, perpendicolarmente a questo, e orientate in modo da formare un angolo di 45° rispetto alla direzione di flusso come indicato nelle immagini in figura 8.

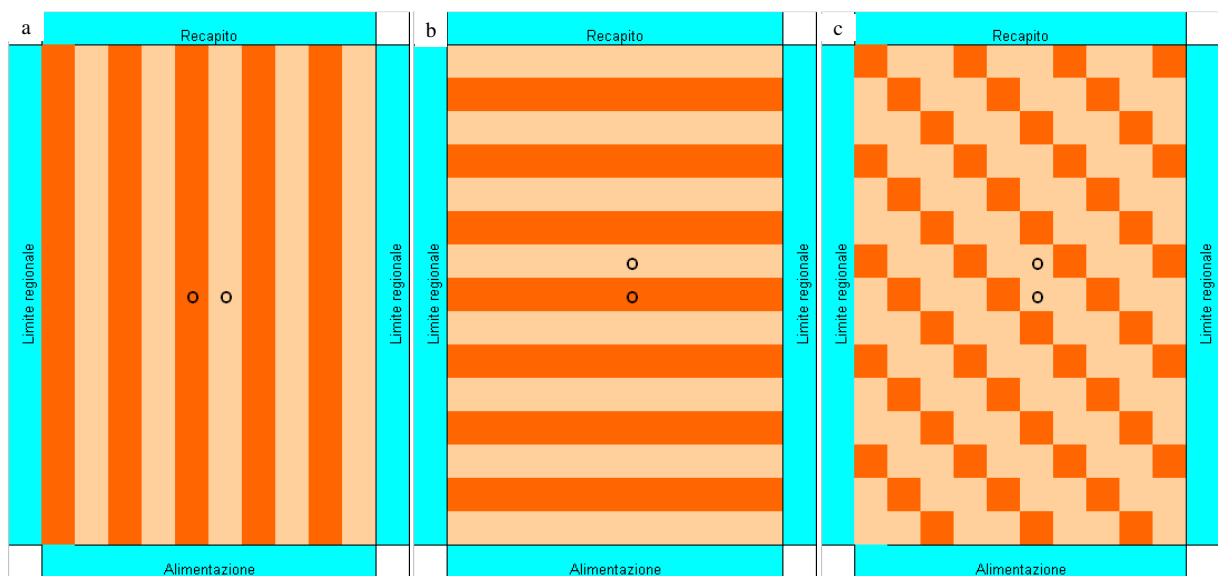


figura 8 – tre configurazioni di un acquifero che presenta un'alternanza di zone ad alta (arancione chiaro) e bassa (arancione) permeabilità.

Per ognuna delle tre configurazioni presentate in figura 8, sono state eseguite simulazioni in due pozzi, attivi uno per volta e sempre a partire dallo stato stazionario indisturbato uno posto nella zona ad alta ed uno nella zona a bassa permeabilità per i primi due casi, mentre per il terzo caso i pozzi sono disposti con la zona a bassa permeabilità a monte od a valle a seconda del caso. Per tutti e tre i casi, il pozzo ha operato con i tre gradienti differenti (1.27%, 0.67% e 0.27%) come per i casi a - f presentati in precedenza. Considerato che le portate estratte dallo stesso pozzo, non cambiano in occasione del cambio del gradiente medio dell'acquifero, vengono qui riportati i risultati relativi al caso di gradiente 0.67%, per una più agevole lettura.

Portate estratte (l/s)		
Caso/Pozzo	Pozzo all'interno della zona ad alta permeabilità	Pozzo all'interno della zona a bassa permeabilità
anisotropia parallela al flusso	13,768	1,855
anisotropia perpendicolare al flusso	6,743	3,627
	Pozzo con la bassa permeabilità a monte	Pozzo con la bassa permeabilità a valle
anisotropia obliqua	6,882	6,816

Tabella 3

Come è possibile vedere dalla Tabella 3, la direzione delle zone di bassa permeabilità rispetto al flusso, ha una grande influenza sulla resa dei pozzi. In particolare per quanto riguarda i primi due casi, possiamo notare che se il pozzo è situato nella zona ad alta permeabilità, come normalmente accade, la sua portata raddoppia passando dalla situazione con strisce perpendicolari al flusso a quella con strisce parallele a quest'ultimo, mentre è il contrario se il pozzo si trova all'interno della zona di bassa permeabilità, in questo caso infatti la portata è più alta se le strisce sono perpendicolari al flusso della falda. Se confrontiamo i valori di portata estratta dal pozzo Q quando questo si trovi ad operare nella configurazione con le zone a bassa permeabilità inclinate di 45° (fig. 8c), vediamo che non vi sono cambiamenti rilevanti di portata estratta, sia che questo sia posto più vicino alla zona a bassa permeabilità, dal lato di monte o da quello di valle. La portata estratta invece è sostanzialmente uguale a quella estratta dal pozzo che opera nell'acquifero con zone a bassa permeabilità parallele al senso di flusso.

Dall'osservazione di questi risultati è possibile concludere che la presenza di zone a bassa permeabilità, alternate ad altre a permeabilità più elevata, influenza la portata ottenibile dai pozzi, in particolare è l'orientazione relativa di queste "discontinuità" rispetto alla direzione di flusso che ha una grande influenza. La resa di un pozzo infatti, a patto che questo sia installato all'interno di una zona molto permeabile, è grande quando questo opera all'interno di una striscia ad alta permeabilità che congiunge l'alimentazione con il recapito (fig. 9a), perché questa è la zona dove si concentra la

maggior parte del flusso di falda, mentre è minore se si trova in una striscia ad alta permeabilità che è però disposta perpendicolarmente al flusso di falda (fig. 9b), questo perché subito a monte del pozzo, ed all'interno del suo cono di richiamo abbiamo una "barriera" costituita da una "striscia" di materiale a permeabilità ridotta, cosa che invece non accadeva nel caso precedente in cui il cono di richiamo del pozzo aveva la possibilità di estendersi fino all'alimentazione senza incontrare ostacoli.

Da questo ragionamento si capisce bene perché anche nel caso di anisotropia obliqua (fig. 9c), la resa del pozzo non aumenti se non marginalmente, a causa comunque della presenza di una barriera a bassa permeabilità che separa la zona molto trasmissiva dove il pozzo è ubicato dall'alimentazione di monte.

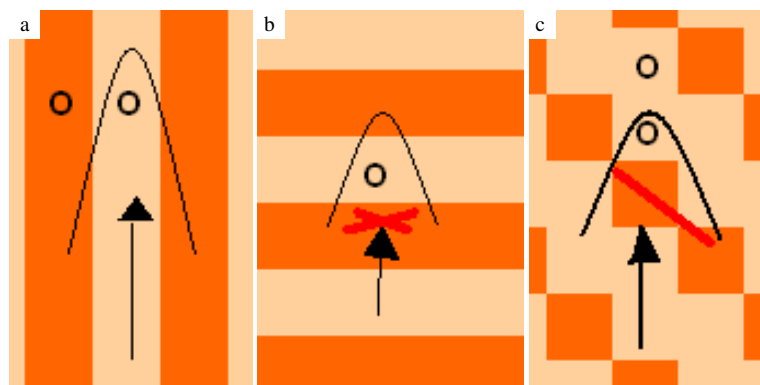


Figura 9 – In caso di anisotropia perpendicolare al flusso (b) e anisotropia obliqua (c) la resa del pozzo non è altrettanto efficace come nel caso in cui sia presente anisotropia parallela al flusso (a).

3. DISCUSSIONE RISULTATI

E' stata esaminata l'incidenza sulla portata specifica dei pozzi dei seguenti fattori:

1. *la trasmissività e il grado di interconnessione fra le aree a elevata trasmissività.*

È possibile affermare che la portata ottenibile da un pozzo che si trovi ad operare in falda inclinata è principalmente funzione della trasmissività media pesata sulle varie zone con caratteristiche idrauliche differenti che stanno tra il pozzo e l'alimentazione di monte, all'interno del suo cono di richiamo e del loro grado di interconnessione. Infatti, il miglioramento della portata specifica dei pozzi passando dal caso 1 al caso 6, quindi aumentando l'interconnessione, è molto evidente. Si è potuto chiarire che tale incremento non è generalizzato. Nei casi esaminati si è notato infatti che in alcuni pozzi l'incremento è inferiore al 10%, in altri è prossimo al 30%. Fa eccezione il caso in cui esistano vie ad alta trasmissività capaci di creare direzioni preferenziali di flusso; in queste circostanze l'area

circostante un pozzo può ricevere una minore alimentazione rispetto ai casi in cui tali vie preferenziali non sono presenti, se il pozzo è lontano da queste vie preferenziali di flusso.

2. *La cadente piezometrica.*

Si è osservato che la cadente piezometrica influenza la portata del sistema idraulico e quindi aumenta tutte le portate specifiche; a parità di abbassamento prodotto dal pozzo, la cadente piezometrica non ha invece alcun effetto sulle portate specifiche. Dai risultati ottenuti, è possibile confermare che questa ipotesi vale anche all'interno di acquiferi eterogenei, e che per questi ultimi la trasmissività T utilizzata nella formula per il calcolo della portata va modificata come sommatoria pesata delle diverse trasmissività all'interno del fronte di richiamo del pozzo.

3. *La facilità di rialimentazione delle portate erogate.*

Si è ritenuto utile introdurre un parametro (indice di collegamento), che sottolinei il vantaggio che ogni pozzo ricava nel trovarsi in condizione di ricevere rapidamente rialimentazione. Osservando il grafico di figura 7, per ogni pozzo, si nota inoltre una crescita molto rapida per i primi tre casi per poi raggiungere una sorta di asintoto orizzontale: la portata continua a crescere anche se I_c rimane costante.

4. *La collocazione del pozzo in aree di elevata permeabilità e trasmissività.*

Risulta evidente che la portata estratta dipende fortemente, oltre che dalla connettività del sistema, anche dalla permeabilità dell'acquifero nel suo intorno. A conferma di ciò il pozzo n.7, che si colloca in un'area che corrisponde a questo criterio, è sempre quello con la maggiore portata mentre i pozzi n. 3-4 (e nei primi due casi il 5) sono sempre quelli con la portata inferiore, trovandosi direttamente a contatto con aree molto estese a trasmissività inferiore sui due lati. Risulta quindi confermato che, per ottenere la maggiore resa possibile, il pozzo deve essere collocato in una vasta area a grande trasmissività, collegata con altre aree dotate di analoghe caratteristiche, preferibilmente disposte secondo la direzione del gradiente idraulico, e collocate in modo da poter ricevere un'alimentazione rapida e importante dalle fonti di ricarica dell'acquifero.

5. *Le strutture geologiche, in particolare l'anisotropia.*

In tale contesto, è risultato evidente che l'anisotropia del sistema ha un ruolo importante: infatti altresì si è notato che essa è funzione dell'orientazione di aree a bassa trasmissività

dovute per esempio a strutture stratificate, rispetto alla direzione di flusso di falda. In particolare la portata di un pozzo tende ad aumentare con il coseno dell'angolo tra il gradiente e la direzione della struttura geologica a bassa permeabilità, ed è massima quando questo angolo è zero, ossia quando le zone a bassa permeabilità sono parallele al gradiente, come peraltro noto dalla letteratura (es. Maidment, 1993).

4. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti confermano quanto noto dalla letteratura e dall'esperienza. Appare tuttavia utile uno sviluppo futuro della ricerca sul problema, in modo da identificare relazioni orientative che, ponendo in rapporto i parametri idraulici del sistema acquifero con la struttura idrogeologica, consentano una valutazione preliminare delle portate estraibili dai pozzi nelle diverse parti del sistema acquifero in esame, definendo così il sito ottimale per il posizionamento del pozzo meglio di quanto la sola esperienza possa al momento indicare se non assistita da una impegnativa modellazione matematica.

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento all'Ing. Bonfanti Enea Giovanni per la realizzazione dei modelli sui domini di flusso e i prof. Vincenzo Francani e Paola Gattinoni per l'impostazione dello studio.

Bibliografia

- Bonnet M. (1978) - Méthodologie des modèles de simulation en hydrogeologie BRGM
- Castany J., (1967), Traité pratique des eaux souterraines, Dunod ed, Paris
- Custodio E. e Llamas M. R. (1976). "Hidrología subterránea" Editorial Omega, Barcellona .
- Davis S. N. e De Wiest R. J. M. (1966) Hydrogeology, John Wiley and Sons, New York
- Francani V.(1986) .Idrogeologia generale e applicata, CLUP, Milano
- Maidment (1987) Handbook of Hydrology , MacGrawHill, New York
- Osiensky J.L., Williams B., Johnson G.(2006)-Evaluation of drawdown curves derived from multiple well aquifer tests in heterogeneous environments.Mine Water and the Environment, C Interational Association 2006,ww.IMWA.info
- Schoeller H (1976) Les eaux souterraines, Masson ed., Paris

- Theis, C. V. (1935), "The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage". Transactions, American Geophysical Union 16: 519–524.
- Tumlinson L.G., Osiensky J.L. & Fairley J.P. (2006) - Numerical evaluation of pumping well transmissivity estimates in laterally heterogeneous formations. Journal of Hydrology, 14(1-2): 21-30.