

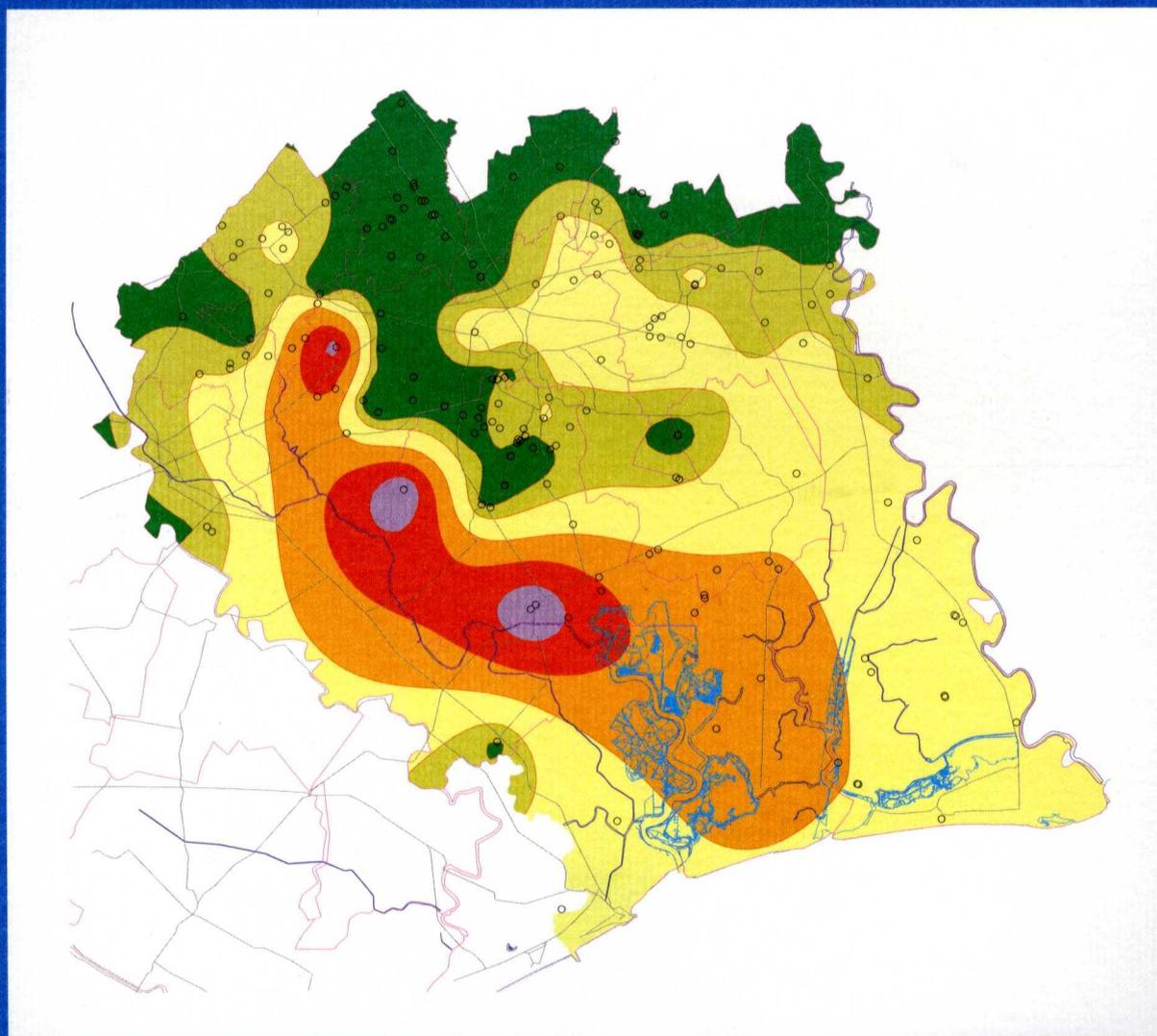


CONSORZIO DI BONIFICA  
"PIANURA VENETA TRA LIVENZA E TAGLIAMENTO"  
Portogruaro (VE)



Provincia di  
Venezia

# INDAGINE SULLE ACQUE SOTTERRANEE DEL PORTOGRUARESE



G.A.L. "Venezia Orientale" - Portogruaro  
Indagine idrogeologica realizzata nell'ambito del Piano di Azione Locale  
"Innovazione della Venezia Orientale" Submisura 6 - Azione 23







CONSORZIO DI BONIFICA  
PIANURA VENETA TRA LIVENZA E TAGLIAMENTO  
Portogruaro (VE)

PROVINCIA DI VENEZIA  
ASSESSORATO ALLA PROTEZIONE CIVILE  
Ufficio Difesa del Suolo

# Indagine sulle acque sotterranee del Portogruarese

G.A.L. Venezia Orientale – Iniziativa Comunitaria Leader II  
Piano di Azione Locale “Innovazione della Venezia Orientale”  
Sub-misura 6: “Tutela dell’ambiente e miglioramento delle condizioni di vita”  
Azione 23: “Indagine idrogeologica”

#### **ENTE ASSEGNATARIO DEL PROGETTO**

Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento (Portogruaro – VE)

**Responsabile di progetto:** Dott. Ing. *Sergio Grego* (Direttore Consorzio di Bonifica “Pianura Veneta”)

**Referente tecnico:** Dott. Agr. *Graziano Paulon* (Responsabile Settore Agrario Consorzio di Bonifica “Pianura Veneta”)

#### **ENTE COMPARTICIPANTE**

Provincia di Venezia – Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio – Ufficio Difesa del suolo

**Responsabile:** Dott. Geol. *Andrea Vitturi* (Dirigente Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio)

#### **TECNICI INCARICATI**

Dott. Geol. *Pietro Zangheri* (Geologo Libero Professionista - Padova)

Dott. Geol. *Andrea Garbellini* (Geologo Libero Professionista – Canaro - RO)

Stampa: Grafiche ERREDICI - Industria Poligrafica Editoriale S.r.l. – Sarmeola di Rubano (PD)

L'area del Portogruarese può contare su di una rilevante disponibilità di risorse idriche sotterranee, tradizionalmente considerata in funzione dell'uso domestico od irriguo ma che recentemente sta assumendo un certo interesse anche in funzione di altri utilizzi tra cui quello termale.

Nonostante siano comunemente riconosciute le potenzialità della risorsa idrica sotterranea, pochi sono stati gli sforzi sinora condotti al fine di darne una corretta quantificazione e contemporaneamente di definirne modalità di utilizzo efficienti e compatibili da punto di vista ambientale.

Il Consorzio di Bonifica "Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento", competente territorialmente, ha colto l'importanza che una più completa conoscenza delle risorse idriche sotterranee poteva rivestire nell'ambito di una azione generale di gestione del territorio. Per tale motivo, con il sostegno del Gruppo di Azione Locale della "Venezia Orientale" e la collaborazione della Provincia di Venezia, nell'ambito delle iniziative finanziate dal Programma Comunitario Leader II, ha condotto uno studio finalizzato alla caratterizzazione ed il monitoraggio delle falde nell'ambito comprensoriale i cui risultati sono riportati nella presente pubblicazione.

Il lavoro si è articolato in diverse fasi, tutte orientate al raggiungimento degli obiettivi dell'approfondimento delle conoscenze sugli acquiferi sotterranei, della realizzazione di un sistema permanente di monitoraggio, dell'applicazione e divulgazione dei risultati conseguiti.

Il progetto, sviluppato in continuità con gli studi e indagini condotti in precedenza, ha introdotto alcuni elementi originali ed innovativi che hanno consentito di accrescere il valore delle conoscenze acquisite nonché la relativa potenzialità in termini di traduzione in indicazioni tecnico-gestionali a favore degli operatori di settore interessati.

Oltre alle risultanze scientifiche dello studio, contraddistinguono il progetto, il sistema realizzato per il monitoraggio nel tempo del quadro idrogeologico dell'area e l'integrazione delle conoscenze acquisite e di quelle risultanti dall'attività continua di controllo, con le banche dati territoriali già organizzate dal Consorzio nell'ambito del proprio Sistema Informativo Geografico.

A questi aspetti si aggiunge inoltre quello dell'immediata applicazione pratica delle conoscenze rilevate nell'ambito delle attività di gestione e pianificazione dell'uso delle risorse idriche. La conduzione dell'indagine idrogeologica nel contesto delle attività di un Ente per tradizione operativo, come il Consorzio di Bonifica, consente di realizzare un tramite immediato per la diffusione delle conoscenze e dei nuovi indirizzi tecnico-gestionali tra gli operatori di settore interessati all'utilizzo della risorsa idrica sotterranea.

In tale quadro i risultati e la metodologia di progetto vanno visti come esportabili in altre aree dalle caratteristiche simili, dove la gestione funzionale delle conoscenze territoriali può costituire un valido supporto per la definizione di specifiche linee di intervento per la razionalizzazione dell'uso delle risorse idriche.

IL PRESIDENTE DEL CONSORZIO DI BONIFICA  
Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento  
GIANLUIGI MARTIN



La Provincia di Venezia ha, tra i suoi compiti d'istituto, quanto attiene alla difesa del suolo ed alla protezione civile, ed è in questo ambito che ha recentemente portato a termine, pubblicato e presentato nel corso di un convegno nazionale, la Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia, che ha sintetizzato le conoscenze, in gran parte appositamente raccolte, relative alle falde idriche sotterranee presenti nel sottosuolo del territorio provinciale.

Dal quadro così acquisito, è emerso che le aree dove tali georisorse sono di maggior rilevanza sono l'Alto Miranese ed il Portogruarese; in particolare in quest'ultimo territorio vi sono falde sia sfruttate a scopo potabile (anche acquedottistico) sia di tipo termale, utilizzabili in vario modo (turistico, agricolo, industriale, domestico).

È anche per questo che la Provincia ha visto fin dall'inizio con particolare favore che il Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento acquisisse ulteriori conoscenze nel territorio di propria competenza partendo sì dai dati provinciali ma arricchendoli con un'abbondante serie di ulteriori informazioni che consentono una miglior conoscenza delle risorse idriche sotterranee locali, tanto più importante se si considera la fragilità generale del territorio sia provinciale che del Portogruarese, in gran parte sotto al livello del mare e che è soggetto a insidiosi fenomeni naturali, ma aggravati dalle azioni umane, quali alluvioni e subsidenza.

Inoltre, è da sottolineare che la collaborazione tra Provincia e Consorzio è di vecchia data, e che già per la formazione degli strumenti di pianificazione di competenza (Piano Territoriale Provinciale e Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio Rurale) i due enti hanno studiato in modo coordinato il territorio, evitando sprechi e perseguendo anzi ogni utile sinergia al fine del superiore interesse pubblico.

Il Consorzio, che ha compiti essenzialmente operativi, e la Provincia, che in questo campo ha competenze di acquisizione delle conoscenze e di coordinamento, hanno quindi, con l'indagine qui presentata, mostrato una volta di più i fattori positivi che possono conseguire due enti che perseguono unità d'intenti (la conoscenza del territorio) per applicarla alle rispettive specifiche competenze istituzionali.

Concludo auspicando che tale percorso possa essere d'esempio per altre situazioni e per altri territori, non necessariamente della provincia di Venezia.

L'ASSESSORA ALLA PROTEZIONE CIVILE  
della Provincia di Venezia  
DELIA MURER



# Indice

1	PREMESSA	15	5.9.4 Metodologia 3	55
2	SCOPI E LIMITI DEL LAVORO	17	5.9.5 Analisi dei dati	56
3	IL PROGETTO “INDAGINE IDROGEOLOGICA” SCHEMA LOGICO	19	5.10 Caratterizzazione per singola falda	56
4	GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA DEL PORTOGRUARESE	21	5.10.1 Falda I <sup>a</sup> (10-20 m)	57
4.1	Inquadramento: schema idrogeologico della pianura veneto-friulana	21	5.10.2 Falda II <sup>a</sup> (35-55 m)	58
4.2	Dati preesistenti	22	5.10.3 Falda III <sup>a</sup> (60-90 m)	59
4.2.1	Generalità	22	5.10.4 Falda IV <sup>a</sup> (100-130 m)	60
4.2.2	Dati litostratigrafici esistenti sull’area di progetto	22	5.10.5 Falda V <sup>a</sup> (150-240 m)	61
4.2.3	Alcuni dati di sintesi sull’area di alimentazione (pianura pordenonese)	24	5.10.6 Falda VI <sup>a</sup> (250-315 m)	63
4.3	Struttura del sottosuolo	26	5.10.7 Falda VII <sup>a</sup> (320-380 m)	65
4.3.1	Profili geologici	26	5.10.8 Falda VIII <sup>a</sup> (400-460 m)	66
4.4	Distribuzione degli acquiferi	26	5.10.9 Falda IX <sup>a</sup> (480-540 m)	67
5	LE FALDE DEL PORTOGRUARESE: QUANTITÀ, QUALITÀ E PARAMETRIZZAZIONE	41	5.10.10 Falda X <sup>a</sup> (> 580 m)	69
5.1	Premessa	41	5.10.11 Tutte le falde: caratteri chimico-fisici	70
5.2	Prove idrogeologiche (prove di pozzo e di pompaggio): metodologia di esecuzione e di interpretazione dei dati sperimentali	42	5.11 Altri parametri idrochimici	71
5.2.1	Introduzione	42	5.12 Sintesi dei risultati di parametrizzazione	82
5.3	Prove di pozzo	42	6 LA RISORSA GEOTERMICA	83
5.3.1	Portata critica	43	6.1 Geologia ed idrogeologia in rapporto alla risorsa geotermica	83
5.3.2	Portata specifica	43	6.2 Risorsa geotermica - Cenni normativi	86
5.3.3	Abbassamento specifico	43	6.3 Risorsa geotermica - Conclusioni	86
5.4	Prove di pompaggio	43	6.4 Risorse geotermiche - Appunti per un approfondimento delle conoscenze	87
5.4.1	Metodo di Jacob	44	6.4.1 Stato delle conoscenze sulla risorsa geotermica	87
5.4.2	Metodo di Jacob – Lohman	45	6.4.2 Indicazioni per una analisi del sistema geotermico	87
5.4.3	Metodo di Hantush	46	7 ELEMENTI DI BILANCIO IDROGEOLOGICO	89
5.5	Prove idrogeologiche in pozzo: risultati delle prove	46	7.1 Taratura dei dati sui prelievi di acque sotterranee	89
5.5.1	Selezione dei punti di misura	46	7.2 Metodologia di taratura dei dati sui prelievi idrici da falda	89
5.6	Prove di pozzo	47	7.3 Valutazione quantitativa delle risorse (Bilancio idrogeologico)	91
5.7	Prove di pompaggio - Schemi riassuntivi delle prove idrogeologiche eseguite e analisi dei risultati	52	7.3.1 Generalità	91
5.8	Raggio di influenza	53	7.3.2 Limiti del sistema idrogeologico	91
5.8.1	Aspetti metodologici	53	7.3.3 Stima dei volumi d’acqua disponibili nel sottosuolo (riserva idrica sotterranea)	91
5.8.2	Metodo di Jacob	53	7.3.3.1 Metodologia	91
5.8.3	Metodo di Sichard	53	7.3.3.2 Stima dello spessore acquifero	92
5.8.4	Metodo di Bear	53	7.3.3.3 Stima della porosità efficace	92
5.8.5	Metodo di interpolazione	54	7.3.3.4 Calcolo della riserva idrica	92
5.8.6	Analisi dei dati	54	7.3.4 Portate	94
5.9	Relazione tra portata specifica e trasmissività	54	7.3.5 Entità dei prelievi	95
5.9.1	Aspetti metodologici	54	7.3.6 Confronto dei dati	96
5.9.2	Metodologia 1	55	7.3.6.1 Portogruarese	96
5.9.3	Metodologia 2 (Di Molfetta, 1992)	55	7.3.6.2 Confronto con l’area Nord (Pianura Pordenonese)	98
			7.3.7 Uso delle acque	99
			7.3.8 Evoluzione dello sfruttamento	100
			7.3.9 Andamenti futuri delle portate entranti ed uscanti dal sistema idrogeologico	100
			7.4 Sostenibilità dei prelievi	102

7.4.1	Considerazioni generali	102	9.5	Utilizzo della risorsa termale	133
7.4.2	Perdita di portata spontanea e di artesianità delle falde	102	9.6	Semplificazione delle procedure autorizzative per le piccole derivazioni	133
7.4.3	Perdita di qualità delle acque sotterranee	102	9.7	Proposte tecniche	133
7.4.4	Subsidenza e problemi connessi	102			
7.5	Stima della portata prelevabile in condizioni di sostenibilità	102	10	SINTESI	135
7.6	Conclusioni	103	10.1	Struttura del progetto	135
			10.2	Sintesi degli obiettivi raggiunti dal progetto	135
			10.3	Continuità del progetto	136
8	IL MONITORAGGIO DEGLI ACQUIFERI	105	11	CONCLUSIONI	137
8.1	Premessa	105	12	BIBLIOGRAFIA RAGIONATA	139
8.2	Criteri idrogeologici di progettazione della rete	106	12.1	Testi di carattere generale e/o metodologico citati	139
8.3	Struttura della rete	106	12.2	Bibliografia idrogeologica generale comprendente l'area studiata	140
8.4	Livellazioni topografiche	108	12.3	Bibliografia specifica sull'idrogeologia del Portogruarese	140
8.5	Misure sulla rete di monitoraggio	108	12.4	Bibliografia specifica sull'idrogeologia delle risorse geotermiche della bassa pianura veneto-friulana	141
9	ASPETTI NORMATIVI E PROGRAMMATORI – PROPOSTE PER UN RAZIONALE USO DELLA RISORSA	131	12.5	Bibliografia sull'idrogeologia dell'area di alimentazione (pianura pordenonese) e sull'area al contorno orientale (provincia di Udine)	147
9.1	Spreco della risorsa	131			
9.2	Assenza di informazioni su numerosi punti di prelievo	132			
9.3	Necessità di coordinare gli interventi con gli altri Enti aventi compiti gestionali in materia	132			
9.4	Pozzi non autodenunciati e/o abusivi	133			

## Indice delle figure

1. Inquadramento dell'area.	16	27. Sezione Est-Ovest, posta all'altezza di Portogruaro per il calcolo delle portate delle falde.	95
2. Modello idrogeologico della Pianura Veneto-friulana. La figura rappresenta uno spaccato (sezione) con direzione Nord-Sud.	22	28. Fascia sulla quale si è calcolato il gradiente idraulico medio.	95
3. Ubicazione delle stratigrafie raccolte e traccia dei profili litostratigrafici	30	29. Percentuale del consumo totale prelevato da ciascuna falda.	96
4. Profilo litostratigrafico N. 1.	32	30. Utilizzo prevalente dei pozzi (percentuale sul numero totale dei pozzi).	99
5. Profilo litostratigrafico N. 2.	34	31. Prelievi (percentuale sul totale) di acque sotterranee suddivisi per tipo di utilizzo.	100
6. Profilo litostratigrafico N. 3.	35	32. Diagrammi evolutivi dei pozzi esistenti.	101
7. Profilo litostratigrafico N. 4.	36	33. Falda I <sup>a</sup> – Classe di profondità: 10-20. Pozzi censiti.	110
8. Profilo litostratigrafico N. 5.	38	34. Falda II <sup>a</sup> – Classe di profondità: 35-55 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.	112
9. Profilo litostratigrafico N. 6.	40	35. Falda III <sup>a</sup> – Classe di profondità: 60-90. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.	114
10. Ubicazione dei punti su cui si sono realizzate le prove di pozzo, con indicata la falda di appartenenza.	48	36. Falda IV <sup>a</sup> – Classe di profondità: 100-130 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.	116
11. Ubicazione dei punti su cui si sono realizzate le prove di pompaggio, con indicata la falda di appartenenza.	50	37. Falda V <sup>a</sup> – Classe di profondità: 150-240 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.	118
12. Valore medio misurato di trasmissività e permeabilità per ciascuna falda.	53	38. Falda VI <sup>a</sup> – Classe di profondità: 250-315. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.	120
13. Diagramma logaritmico per la determinazione della relazione tra trasmissività e portata specifica.	56	39. Falda VII <sup>a</sup> – Classe di profondità: 320-380. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.	122
14. Distribuzione della Conducibilità elettrica (tutte le falde esclusa la prima).	73	40. Falda VIII <sup>a</sup> – Classe di profondità: 400-460 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.	124
15. Distribuzione della Ammoniaca (tutte le falde esclusa la prima).	74	41. Falda IX <sup>a</sup> – Classe di profondità: 480-560 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.	126
16. Distribuzione del Ferro (tutte le falde esclusa la prima).	75	42. Falda X <sup>a</sup> – Classe di profondità: > 580 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.	128
17. Area di risorsa idropotabile.	76		
18. Pozzi di monitoraggio qualitativo suddivisi per unità idrogeologica (da Zangheri, 2000).	78		
19. Diagrammi di Piper (da Zangheri, 2000).	71		
20. Diagramma Calcio-Magnesio per l'intera provincia di Venezia.	72		
21. Diagrammi di Schoeller (da Zangheri, 2000).	72		
22. Schema del sottosuolo dell'area geotermica (da Bellani et alii) – 1) Dolomie e calcari dolomitici (Trias sup.-Lias); 2) Calcare biogenico di piattaforma (Dogger-Cretaceo sup.); 3) Scarpata e calcare di bacino (Dogger-Cretaceo sup.); 4) Flysh (Paleocene-Eocene); 5) Arenarie arcose (Miocene); 6) Depositi fluviali e marini (Quaternario); a) conduzione dominante; b) convenzione dominante; c) circolazione superficiale.	74		
23. Distribuzione dei pozzi con Temperatura superiore ai 30°C.	75		
24. Confronto tra i pozzi censiti e quelli autodennunciati.	90		
25. Spessore dei materiali acquiferi (loro poroso: sabbia e ghiaia). espresso in percentuale, elaborato sulla base delle stratigrafie di profondità superiore ai 35 metri.	92		
26. Sezione Est-Ovest, posta in ingresso all'area di studio, utilizzata per il calcolo delle portate delle falde.	94		

## Elenco delle tabelle

1. Principali dati di sintesi sull'area a monte di quella di progetto (pianura pordenonese).	24
2. Pozzi di attingimento privati in alcuni comuni della provincia di Pordenone. Fonte dell'informazione: (Catasto Regionale dei Pozzi per Acqua - Regione F.V.G. - Trieste 1990) (da Carniel 1999).	25
3. Schema degli acquiferi individuati -Portogruarese.	27
4. Prospetto riassuntivo del numero di prove eseguite su ciascuna falda.	46
5. Prospetto riassuntivo delle prove di pozzo.	47
6. Prospetto riassuntivo delle prove di pompaggio.	52
7. Calcolo del Raggio di influenza con quattro diverse metodologie.	54
8. Prospetto di raffronto dei valori di trasmissività	56
9. Range di Conducibilità e di Salinità (calcolata) per ciascuna falda.	70
10. Valori medi misurati, per il Portogruarese, sulla rete di monitoraggio della provincia di Venezia.	80
11. Riserva idrica (con $n_e=0.12$ )	93
12. Riserva idrica (con $n_e=0.20$ )	93
13. Valori di portata per ciascuna falda, calcolati sulla prima sezione (sezione in ingresso).	94
14. Valori di portata per ciascuna falda, calcolati sulla seconda sezione (alla latitudine di Portogruaro).	95
15. Prelievi misurati per ciascuna falda.	96
16. Prelievi suddivisi per falda.	97
17. Confronto tra portata fluente nell'acquifero e portata prelevata dai pozzi.	97
18. Tempi di "svuotamento".	98
19. Fabbisogni idrici in provincia di Pordenone.	99
20. Usi prevalenti dei pozzi censiti.	99
21. Prelievi ( $m^3/anno$ ) di acque sotterranee suddivisi per tipo di utilizzo.	100
22. Confronto tra prelievo attuale e prelievo "sostenibile" considerando tre diversi criteri.	103
23. Sintesi della livellazione topografica della rete di monitoraggio.	109

## Elenco delle tavole fuori testo

1. Carta dei punti di prelievo delle acque sotterranee
2. Parametrizzazione idrogeologica - falde II e V
3. Parametrizzazione idrogeologica - falde VI e VII
4. Parametrizzazione idrogeologica - falde IX e X

INDAGINE  
SULLE ACQUE SOTTERRANEE  
DEL PORTOGRUARESE



# 1. Premessa

La presente indagine idrogeologica è stata realizzata nell'ambito del progetto Leader II (Sub misura 6: *Tutela dell'ambiente e miglioramento delle condizioni di vita*) e si inserisce in quelli che sono gli obiettivi generali di tale submisura di "creare la consapevolezza e la partecipazione alle esigenze di salvaguardia e di valorizzazione dell'ambiente dei territori rurali, attraverso la riqualificazione del paesaggio ed attraverso iniziative culturali di educazione ambientale. L'ambiente visto come polo di attrazione non solo del turismo verde, ma anche delle imprese, diventa quindi un'importante risorsa che può contribuire allo sviluppo socio-economico dell'Area della Venezia Orientale". In quest'ottica, particolare importanza per l'ambiente rurale ma più in generale per tutti i comparti produttivi, acquista l'acqua sotterranea.

L'azione si è focalizzata su una risorsa, "l'acqua sotterranea", che per il fatto di essere "nascosta nel sottosuolo" viene spesso non considerata, tanto che, anche nel Portogruarese, fino a pochi anni or sono era così sconosciuta da non essere nota né la quantità, né la qualità dell'acqua presente nel sottosuolo.

L'indagine va ad interessarsi di un tema comune all'intera fascia delle falde confinate della Pianura Veneta e, più in generale, della Pianura Padana. Ovvero di quella fascia che assicura l'approvvigionamento idropotabile a milioni di persone e che rappresenta una risorsa ampiamente utilizzata a scopo industriale ed agricolo.

Va da subito premesso il carattere innovativo dell'azione, in quanto in nessuna altra area della Pianura Veneta è stato né ideato né attuato un progetto di questo tipo. La metodologia applicata quindi, previa apposita taratura, è estendibile all'intera fascia della falde confinate ed in altre aree idrogeologicamente comparabili.

Il lavoro è stato realizzato avendo come base conoscitiva indispensabile una preesistente indagine idrogeologica, svolta nel periodo 1997-98, dalla Provincia di Venezia; tale studio, pubblicato nel 2001, è stato il punto di partenza per le nuove indagini, elaborazioni e sperimentazioni oggetto dell'azione.

L'indagine ha interessato i comuni di Annone Veneto, Pramaggiore, Cinto Caomaggiore, Gruaro, Teglio Veneto, Fossalta di Portogruaro, Portogruaro,

Concordia Sagittaria, S. Stino di Livenza, Caorle (parte ad Est del Fiume Livenza), S. Michele al Tagliamento, e cioè il territorio tra Livenza e Tagliamento ricadente in provincia di Venezia e facente parte interamente del Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento. Si tratta di un'area unitaria da un punto di vista idrogeologico con strette connessioni con l'area a monte.

L'area di progetto viene schematicamente riportata in Figura 1.



Figura 1 - Inquadramento dell'area.

## 2. Scopi e limiti del lavoro

La “Indagine idrogeologica”, partendo dai dati messi a disposizione da una preesistente (1998) prima indagine della provincia di Venezia, è andata, da una parte, a colmare molte lacune conoscitive sulla risorsa acqua sotterranea e, dall'altra, ha focalizzato le possibili modalità di corretto uso della risorsa stessa, in un'ottica di sostenibilità.

Il lavoro schematicamente si è incentrato su:

- la ricostruzione idrogeologica del sottosuolo;
- la parametrizzazione degli acquiferi;
- la elaborazione di un primo bilancio idrogeologico;
- la caratterizzazione delle falde e degli acquiferi sia per gli aspetti qualitativi che per quelli quantitativi;
- la predisposizione di una rete di monitoraggio a scala locale delle acque sotterranee;
- la formulazione di indicazioni normative e di gestione della risorsa acqua sotterranea.

Tali scopi generali si inseriscono in un quadro normativo che prevede che *“tutte le acque sotterranee, ancorché non estratte dal sottosuolo, sono pubbliche e costituiscono una risorsa che è salvaguardata ed utilizzata secondo criteri di solidarietà”* (art. 1 della L. 36/94) e in indirizzi a livello comunitario che, ad esempio con la Delibera del Consiglio n. C138153 del 17 maggio 1993, prevedono, come prime azioni per raggiungere l'uso sostenibile delle risorse di acqua dolce (la richiesta d'acqua deve essere pari alle disponibilità), la raccolta e l'aggiornamento dei dati sulle acque sotterranee e le misure di sorveglianza e controllo delle stesse.

Nello specifico gli obiettivi di progetto si inseriscono sui due seguenti filoni:

- 1) tutela del territorio rurale da impatti ambientali negativi legati ad usi idrogeologicamente non compatibili delle risorse idriche sotterranee (depressurizzazione degli acquiferi, inquinamenti della falda);
- 2) sviluppo del territorio rurale grazie ad un corretto uso delle risorse idriche con particolare riguardo a quelle sotterranee (anche termali).

Conseguentemente le fasi di lavoro svolto hanno privilegiato, intersecandoli continuamente, i due diversi aspetti: quello propriamente agronomico e quello idrogeologico.

L'obiettivo prioritario del progetto consiste nel valu-

tare l'entità delle risorse idriche disponibili e la loro qualità, per programmare l'utilizzo delle risorse stesse nel quadro di uno sviluppo ecocompatibile del territorio rurale.

Per raggiungere tali obiettivi si sono utilizzate professionalità diverse (geologiche-idrogeologiche-agronomiche...) e di Enti con compiti di gestione delle risorse idriche, in primis il Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento (l'area di intervento ricade in un comprensorio di bonifica ed in essa il rapporto acqua-territorio rurale è strettissimo) e la Provincia di Venezia (Ente partecipante al progetto).

Va precisato che, poiché l'indagine era finalizzata ad un'analisi idrogeologica su un territorio piuttosto vasto e idrogeologicamente molto complesso (caratterizzato da ben 10 acquiferi sovrapposti!), non è stato possibile eseguire, come d'altronde già previsto in progetto, l'analisi di dettaglio dell'area termale, al quale dovrebbe essere dedicato uno specifico progetto.

Relativamente ai parametri idrogeologici, in totale assenza di dati pregressi, non si è potuto (come d'altronde previsto in progetto) valutare sperimentalmente alcuni parametri quali la porosità efficace e la velocità effettiva. Un altro limite, su cui ci si soffermerà in dettaglio nei prossimi capitoli, risulta il basso numero e la bassa qualità delle informazioni litostratigrafiche disponibili.

Alcuni obiettivi, che non erano raggiungibili in questo lavoro, erano già stati selezionati in fase di predisposizione del progetto come possibili elementi di continuità successiva del progetto stesso. Tra questi si cita la realizzazione di un modello idrogeologico. Importante risulta anche l'integrazione tra i dati qui presentati e quelli disponibili nell'area di alimentazione posta a monte (pianura pordenonese).



### 3. Il progetto “Indagine idrogeologica” - Schema logico

Il progetto si è svolto seguendo il piano di indagini che viene schematizzato qui di seguito. Esso è suddiviso in 11 fasi di lavoro: per ciascuna fase è stata predisposta specifica documentazione descrittiva e cartografica oltre ad una sintesi organica finale raccolta nel presente volume.

Il progetto è partito dalla base dati realizzata per la precedente “Indagine idrogeologica del territorio provinciale - Portogruarese”, realizzata nel 1998 dalla Provincia di Venezia. Su questo punto di partenza si sono inserite numerose nuove indagini sperimentali ed elaborazioni specifiche.

Nel seguito si elencano le singole fasi con una breve descrizione dell'attività svolta in ciascuna di esse.

#### *Fase 1 - Caratterizzazione geologica*

- Rielaborazione dei dati litostratigrafici esistenti al fine di costruire profili idrogeologici e di razionalizzare l'esecuzione delle fasi successive;
- integrazione dati bibliografici precedentemente raccolti dalla Provincia di Venezia.

#### *Fase 2 - Caratterizzazione e parametrizzazione acquiferi*

- Raccolta prove idrogeologiche in pozzo esistenti;
- Selezione punti di misura;
- Esecuzione di oltre 30 prove idrogeologiche (prove di pompaggio e prove di pozzo), su pozzi scelti sulle diverse unità idrogeologiche, al fine del calcolo dei parametri caratteristici degli acquiferi;
- Realizzazione di cartografie con la distribuzione per ciascuna delle 10 falde individuate dei seguenti parametri chimico-fisici ed idrogeologici:
  - prevalenza
  - piezometria
  - portata spontanea per pozzi da 2-3”
  - trasmissività
  - permeabilità
  - temperatura
  - conducibilità
  - Ferro
  - Ammoniaca

#### *Fase 3 - Taratura dei dati sui prelievi mediante esecuzione di indagini sperimentali*

- Confronto per l'intero territorio oggetto di indagine dei dati risultanti dalla completa informatizzazione delle schede delle autodenuce degli approvvigionamenti idrici autonomi e delle autodenuce dei pozzi previste dall'art. 10 del D. Lgs. 275/93 con i dati rilevati in sito su oltre 1000 pozzi.

#### *Fase 4 - Stima delle esigenze in tema di risorse idriche (sia qualitative che quantitative) delle aziende agricole in rapporto alle disponibilità quali-quantitative*

- Valutazione ed analisi, sulla base dei dati esistenti, della qualità delle acque sotterranee in rapporto alle esigenze delle aziende agricole e confronto con la disponibilità delle risorse;
- Valutazione in termini agronomici e confronto in rapporto all'utilizzo attuale.

#### *Fase 5 - Bilancio idrogeologico*

- Calcolo della riserva idrica;
- Stima delle portate idriche in ingresso nel sistema idrogeologico sotterraneo;
- Stima delle portate idriche in uscita dal sistema idrogeologico sotterraneo;
- Esecuzione di un primo bilancio idrogeologico con valutazione del grado di precisione di ciascuna voce di bilancio;
- Analisi di ciascuna voce di bilancio con calcolo dei volumi entranti ed uscenti, la variabilità temporale di ciascuna voce di bilancio, il calcolo previsionale degli andamenti futuri delle portate entranti ed uscenti dal sistema idrogeologico.

#### *Fase 6 - Verifica di eventuali sovrasfruttamenti degli acquiferi e valutazione degli impatti ambientali correlati in rapporto alle seguenti problematiche*

- Subsidenza e problemi connessi;
- Intrusione salina e salinizzazione dei suoli;
- Perdita di qualità della falda.

*Fase 7 - Proposte di razionalizzazione dei prelievi in rapporto alla quantità ed alla qualità delle acque*

- Stesura di proposte di razionalizzazione dei prelievi.

*Fase 8 - Rete di monitoraggio*

- Realizzazione di una rete di monitoraggio qualitativa integrativa delle reti di monitoraggio esistenti basata su 30 punti fondamentali (su cui è stata eseguita la livellazione topografica) e circa 40 secondari (su cui non è stata eseguita la livellazione topografica);
- Modifica di alcuni pozzi di proprietà del Consorzio e di aziende agricole in modo da renderli adatti all'uso di pozzo di monitoraggio;
- Livellazioni topografiche delle bocche pozzo;
- Esecuzione di misure periodiche (mensili);
- Ottimizzazione della rete di monitoraggio;
- Restituzione cartografica (tramite G.I.S., fogli elettronici e databases).

*Fase 9 - Aspetti normativi e programmatori*

- Formulazione di indicazioni normative per la tutela della qualità del territorio agricolo da usi idrogeologicamente non compatibili della risorsa acqua sotterranea, di proposte per la salvaguardia della qualità delle acque sotterranee e per la razionalizzazione e snellimento delle pratiche concessorie per le piccole derivazioni di acque sotterranee.

Infine è stata realizzata una sintesi del progetto (*Fase 10*), comprensiva di cartografia redatta tramite G.I.S., e la pubblicazione dei risultati sia a carattere divulgativo, che tecnico-scientifico (*Fase 11*).

I risultati del progetto, che verranno illustrati nei successivi capitoli, si possono così elencare:

- Definizione del quadro idrogeologico dell'area;
- Misura dei parametri idrogeologici su 17 punti;
- Analisi della distribuzione dei principali parametri chimico-fisici ed idrogeologici;
- Taratura dei dati sui prelievi da falda;
- Calcolo del bilancio idrico dell'area;
- Definizione della qualità e della quantità delle risorse idriche sotterranee anche in rapporto alle esigenze delle aziende agricole;
- Progettazione e messa in opera di una rete di monitoraggio, con realizzazione delle prime campagne di misure, basata su 30 punti principali e 40 punti secondari;
- Livellazione dei punti di controllo (30 punti);
- Realizzazione di una cartografia G.I.S. relativa alle acque sotterranee dell'area;
- Sviluppo di proposte di razionalizzazione nell'uso della risorsa idrica, con particolare attenzione per l'ambiente agricolo;
- Formulazione di proposte tecniche e normative relative al corretto uso della risorsa idrica.

## 4. Geologia ed idrogeologia del Portogruarese

### 4.1 INQUADRAMENTO: SCHEMA IDROGEOLOGICO DELLA PIANURA VENETO-FRIULANA

A titolo di inquadramento, si riporta, anche se oramai largamente noto, lo schema idrogeologico della pianura veneto-friulana.

L'assetto idrogeologico dell'intera Pianura Veneto-Friulana può essere schematizzato dividendo la pianura in queste tre fasce:

- 1) alta pianura;
- 2) media pianura;
- 3) bassa pianura.

1) La fascia di *alta pianura* è generata da materiali di origine fluviale che costituiscono un accumulo, potente anche alcune centinaia di metri, in cui predomina la componente granulometrica in ghiaia.

Questo corpo geologico contiene una falda freatica, che permea l'intera struttura sedimentaria, con superficie libera del pelo d'acqua posta ad una profondità che decresce andando dal piede dei rilievi verso valle.

L'alimentazione di questa falda deriva soprattutto dalle dispersione dei corsi d'acqua (Adige, Astico, Leogra, Brenta, Piave, Tagliamento...) che, arrivando sulla pianura alla base delle Prealpi, incontrano dei materiali grossolani che permettono la dispersione delle acque nel sottosuolo.

Le quantità d'acqua disperse dai fiumi rappresentano circa il 70% dell'alimentazione del sistema idrogeologico. A titolo di esempio, il Piave disperde nel sottosuolo, in un tratto di 12-13 km, 29 m<sup>3</sup>/s, ovvero 40 volte la portata media che alimenta l'acquedotto del Mirese che serve 200.000 abitanti su 17 comuni della provincia di Venezia.

2) La *media pianura* è caratterizzata da una progressiva diminuzione delle ghiaie e da una loro suddivisione in livelli sub-orizzontali separati da livelli di materiali *fini* limoso-argillosi (quindi a permeabilità bassissima). A tale situazione litostratigrafica corrisponde una conseguente differenziazione della falda presente nell'alta pianura in più falde sovrapposte ed in pres-

sione. La media pianura è caratterizzata dall'esistenza di pozzi artesiani, nei quali l'acqua fuorisce senza l'ausilio di pompe per pressione naturale. La superficie freatica, nel suo progressivo innalzamento verso il piano campagna, viene a giorno in questa zona, creando una fascia di caratteristiche sorgenti di pianura, dette *fontanili* o *risorgive*.

3) I letti ghiaiosi profondi, che come digitazioni si staccano dall'ammasso alluvionale omogeneo, si esauriscono verso valle, a differenti distanze dall'inizio della pianura, chiudendosi come lingue entro i depositi fini impermeabili o poco permeabili.

A quest'ultima struttura litostratigrafica è riferibile la fascia idrogeologica della *bassa pianura* dove il sottosuolo è costituito in prevalenza da limi ed argille, entro cui si intercalano livelli sabbiosi (legati ad esempio a paleoalvei e a dune sepolte). I corpi acquiferi presenti derivano da una struttura litostratigrafica caratterizzata da bassa permeabilità e sono in genere costituiti da falde in sabbia a ridotta potenzialità e non molto estesi nel sottosuolo.

Va notata una particolarità della pianura compresa tra il Livenza ed il Tagliamento: l'ampiezza della fascia di alta pianura è molto più ristretta rispetto alle altre parti della pianura Veneto-Friulana.

Gli spessori della coltre sedimentaria sono variabili in funzione soprattutto dell'assetto geologico profondo. Infatti la presenza di alti strutturali e zone depresse, ereditate da una tettonica alpina - dinarica che ha modellato le attuali strutture geologiche profonde, ha condizionato l'accumulo sedimentario.

L'alimentazione dei corpi idrogeologici sopra descritti è attribuibile principalmente a fattori quali la dispersione dei corsi d'acqua, l'infiltrazione delle piogge e l'infiltrazione a valle delle acque di ruscellamento di versante. Tale fenomeno si può dire che avvenga in linea diretta, nell'acquifero indifferenziato di alta pianura, mentre avviene per trasmissione delle stesse acque ai contigui e collegati acquiferi differenziati, nelle zone di media e bassa pianura. Per quanto

riguarda gli esigui corpi acquiferi liberi superficiali, la loro alimentazione è affidata ad apporti esclusivamente locali, quali gli afflussi meteorici e la dispersione di acqua utilizzata per irrigazioni.

La struttura del sottosuolo nell'alta e nella media pianura sono schematizzate dalla figura 2.

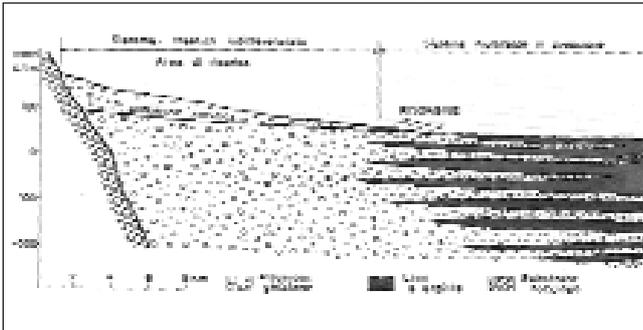


Figura 2 - Modello idrogeologico della Pianura Veneto-Friulana. La figura rappresenta uno spaccato (sezione) con direzione Nord-Sud.

## 4.2 DATI PREESISTENTI

### 4.2.1 Generalità

Le conoscenze pregresse utilizzate nel lavoro sono contenute essenzialmente nella *"Indagine idrogeologica del territorio provinciale - Portogruarese"*, realizzata dalla Provincia di Venezia, che comprendeva una base dati idrogeologica informatizzata consistente. Al fine di migliorare il quadro conoscitivo generale esistente, relativamente alla struttura ed idrogeologica, si è effettuata:

- una rielaborazione dei dati litostratigrafici al fine di costruire profili idrogeologici e di razionalizzare l'esecuzione delle fasi successive;
- una integrazione dei dati bibliografici disponibili.

A tale scopo si è eseguita una dettagliata raccolta di dati esistenti ad integrazione dei dati già raccolti e messi a disposizione dalla Provincia di Venezia.

Vi è da notare che recentemente il Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università degli Studi di Trieste ha eseguito una sintesi dei dati idrogeologici esistenti per l'intera zona montana e di pianura dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento e Livenza (di cui l'area di progetto rappresenta una limitata porzione). A questo studio (Autorità di bacino, 1999) si rimanda per informazioni generali relative ad un'area più vasta di quella di progetto.

Un'ampia rassegna di dati relativi alle caratteristiche

territoriali generali dell'area di progetto è invece disponibile nel *"Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio Rurale (P.G.B.T.T.R.)"* redatto dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento.

Il materiale raccolto risulta piuttosto consistente, vi sono da notare però almeno quattro elementi:

1. per l'area strettamente di progetto gli unici dati idrogeologici preesistenti di un certo approfondimento sono quelli della *"Indagine idrogeologica"* redatta dalla Provincia di Venezia (1998);
2. per l'area a monte, idrogeologicamente interconnessa con quella di progetto (pianura pordenonese), si hanno vari studi esistenti che però non sono mai stati messi in relazione con il Portogruarese. Ciò viene notato dal citato studio redatto dall'Autorità di Bacino (1999), che afferma: *"meno omogenei risultano i dati a disposizione riguardo la potenzialità degli acquiferi in destra Tagliamento, anche per il fatto che purtroppo molto spesso l'assunzione e la correlazione dei dati è complicata dalla presenza delle due regioni che, da trent'anni a questa parte, hanno differenti competenze in campo ambientale"*;
3. in entrambe le aree risultano estremamente limitati i dati relativi al bilancio idrogeologico e alla parametrizzazione degli acquiferi;
4. molto materiale edito è disponibile sull'idrogeologia dell'area termale posta nella bassa pianura del Tagliamento tra il Veneto ed il Friuli-Venezia Giulia, anche se diversi aspetti dell'origine e delle potenzialità di questa risorsa risultano tutt'ora scarsamente noti.

### 4.2.2 Dati litostratigrafici esistenti sull'area di progetto

Le stratigrafie profonde disponibili (oltre i 100 m) sono 43, con una distribuzione relativamente omogenea sull'area d'indagine. Esse raggiungono la massima profondità di circa 600 m, tranne tre stratigrafie dell'Agip che superano i 1000 m. Queste ultime evidenziano uno spessore della coltre sedimentaria terrigena incoerente variabile da 540 m (zona Quarto Bacino) a 720 m (zona Marango).

È quindi possibile constatare come la successione litostratigrafica sia caratterizzata, almeno sino alla profondità di 500 - 540 m, da alternanze discontinue

di litotipi prevalentemente argilloso limosi dotati di una permeabilità scarsa, con litotipi prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi dotati di una permeabilità medio - alta. Questi ultimi sono sede degli acquiferi più importanti, i cui spessori variano da qualche metro ad alcune decine di metri e la cui continuità laterale spesso è incerta o scompare o si biforca in livelli più sottili o passa in eteropia di facies a granulometrie più fini.

La situazione idrogeologica è pertanto caratterizzata da un sistema di falde sovrapposte in pressione alloggiato nei livelli permeabili sabbioso - ghiaiosi, separate da orizzonti impermeabili o semi - impermeabili argilloso - limoso - sabbiosi.

La alimentazione di questo sistema di falde sovrapposte è legato all'acquifero a granulometria prevalentemente ghiaioso a falda libera posto nell'area a monte che a sua volta viene alimentato dalle dispersione degli alvei fluviali nell'area pedemontana (tra le prealpi e le risorgive), secondo uno schema che, come visto, nelle sue linee generali si ripete nella intera pianura veneto-friulana.

Come già citato, il progetto prevedeva l'aggiornamento dei dati già elaborati dalla "Indagine idrogeologica del territorio provinciale" redatta dalla Provincia di Venezia. A livello di stratigrafie i nuovi dati reperiti sono in numero alquanto limitato.

Tra i nuovi dati vanno citati in particolare quelli relativi ad un pozzo perforato su incarico del Consorzio di Bonifica a Valle Vecchia, profondo 610 metri, e un nuovo pozzo profondo 458 m nell'area di pertinenza della Concessione Mineraria della Bibione Terme (quest'ultimo è però limitrofo a stratigrafie preesistenti).

Relativamente ai dati stratigrafici disponibili non si può non ricordare quanto già detto dalla "Indagine idrogeologica del territorio provinciale", ovvero:

*"Va notato come i pozzi per i quali si dispone della stratigrafia siano in numero estremamente limitato. Ciò ha comportato una notevole difficoltà nel ricostruire la struttura idrogeologica del sottosuolo, nonostante il numero elevatissimo di pozzi esistenti faccia presumere una buona facilità nelle ricostruzioni idrogeologiche.*

*La ricostruzione dell'andamento degli acquiferi si è quindi necessariamente appoggiata, oltre che sulle poche stratigrafie esistenti, sulle caratteristiche idro-*

*chimiche ed idrauliche misurate sperimentalmente su un numero notevolissimo di pozzi (oltre 1000).*

*Si ricorda che la Legge 464/841 prevede l'obbligo dell'invio al Servizio Geologico Nazionale della stratigrafia di qualsiasi perforazione eseguita a profondità superiore ai 30 metri; questa norma viene largamente disattesa e, nei pochi casi in cui le stratigrafie vengono compilate, esse sono generalmente imprecise nell'uso dei termini geologici ed idrogeologici e nelle profondità di rinvenimento delle differenti falde, quando non totalmente inventate. Riguardo a dati di importanza primaria, soprattutto per finalità gestionali, come i parametri idrogeologici, va notato che essi non sono noti spesso neppure su pozzi ad uso acquedottistico.*

*Risulta quindi non procrastinabile la necessità di formare e sensibilizzare adeguatamente gli operatori del settore delle perforazioni e della costruzione dei pozzi per acqua.*

*Non si può qui non accennare quali gravi effetti negativi comporti il mancato rispetto della Legge 464/84 (1) e non solo per gli Enti pubblici con compiti di gestione delle risorse idriche sotterranee ma anche per i privati cittadini possessori del pozzo. Infatti la stratigrafia non è solo un dato essenziale per poter ricostruire la geometria degli acquiferi e quindi per ubicare correttamente le opere di captazione idropotabile, per costruire correttamente i pozzi, per determinare il bilancio del bacino idrogeologico e più in generale per una corretta gestione delle risorse idriche sotterranee, ma è anche un dato di utilità per il singolo pozzo.*

*Si immagini, solo per fare un esempio, che una falda in pressione venga interessata dalla propagazione di un inquinamento avvenuto a monte; non sarebbe possibile intervenire con metodologie di bonifica o prevedere l'evoluzione del processo di contaminazione, senza disporre di dati stratigrafici sufficientemente attendibili.*

*Si rileva che acquisire tale conoscenza nel corso della perforazione di un pozzo comporta un costo molto limitato, mentre la sua acquisizione in una fase successiva implica l'adozione di metodologie sperimentali specialistiche (logs geofisici in foro)."*

(1) Legge 4 agosto 1984, n. 464: "Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio Geologico, della Direzione generale delle miniere del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale."

Si nota inoltre che il problema non è nuovo giacché il Feruglio nel 1936 scriveva: “I dati di cui disponiamo sulla costituzione del sottosuolo della bassa pianura friulana sono assai scarsi e per certi riguardi anche dubbi, malgrado il moltiplicarsi delle perforazioni a scopo di rifornimento di acqua potabile. Ciò si deve alla circostanza che nelle trivellazioni generalmente si trascura la raccolta dei campioni dei terreni attraversati, o essi vanno dispersi”.

Le stratigrafie recuperate durante le ricerche sono complessivamente 72 delle quali 43 con profondità superiore ai 100 m e 29 con profondità tra 20 e 100 m. Esse sono archiviate in originale presso l'Ufficio Difesa del Suolo della Provincia di Venezia. Copia di tutte le stratigrafie è presente anche presso il Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento.

L'ubicazione delle colonne stratigrafiche e dei profili geologici è riportata nella cartografia di Figura 3. Si nota come la loro distribuzione sull'area d'indagine sia relativamente omogenea nella zona settentrionale mentre è disomogenea nella zona centro – meridionale.

#### 4.2.3 Alcuni dati di sintesi sull'area di alimentazione (pianura pordenonese)

In questo paragrafo si sintetizzano i principali studi esistenti sull'area di alimentazione. La sintesi risulta volutamente schematica e ha lo scopo di riportare in particolare i principali dati attinenti il tema del bilancio idrogeologico. Per approfondimenti si rimanda alla bibliografia.

Tra i vari studi esistenti si citano innanzitutto quello di Mosetti (1983) che riporta una dettagliata “Sintesi sull'idrologia del Friuli Venezia Giulia” e (in particolare per gli aspetti della qualità delle acque) il recente lavoro di Carniel (1999).

Per quanto riguarda l'aspetto delle portate e dei prelievi, a scala di bacino, risultano di particolare interesse alcuni dati riportati da Mosetti e da Carniel (che a loro volta citano vari studi precedenti).

I dati sono riassunti nella seguente tabella.

Tabella 1 - Principali dati di sintesi sull'area a monte di quella di progetto (pianura pordenonese).

Portata risorgive per chilometro lineare	$1\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ (lo studio redatto dall'Autorità di bacino, 1999 – a pag. 59 riporta valori livemente superiori: pari a 1.3-1,4 $\text{m}^3/\text{s}$ )
Portata complessiva risorgive (da Sacile a Casarsa)	$30\text{ m}^3/\text{s}$
Dispersione del Fiume Tagliamento secondo Dal Piaz et alii, 1965 (in Stefanini e Giorgetti, 1996)	$30\text{ m}^3/\text{s}$ (pari $1.5\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ su un tratto disperdente di 20 km)
Alimentazione delle falde artesiane del Pordenonese	$6\text{ m}^3/\text{s}$
Principali comuni del Pordenonese con presenza di pozzi artesiani	Azzano Decimo, Zoppola, Fiume Veneto, S. Vito al Tagliamento; Casarsa della Delizia, Morsano, Cordovado, ecc...
Prelievo nei comuni di Fiume Veneto, Pordenone e Zoppola da pozzi zampillanti (GEOS, 1994)	1231 l/s (da 2667 pozzi artesiani)
Volume del materiale ghiaioso del conoide del Pordenonese	circa $100\text{ km}^3$ (su un'area di $460\text{ km}^2$ )
Volume d'acqua contenuto nel conoide ghiaioso (area di alimentazione delle falde confinate poste a monte)	2500 milioni di $\text{m}^3$
Velocità media stimata della falda alloggiata nell'acquifero ghiaioso	20 metri/giorno
Permeabilità indicativa dell'acquifero ghiaioso	circa $1 \cdot 10^{-1}\text{ m/s}$
Tempo di residenza indicativo dell'acqua nell'acquifero ghiaioso	3-4 anni

Va inoltre riportato che secondo Novelli (1990) (in Stefanini e Giorgetti, 1996) tra Tagliamento ed Isonzo dalle risorgive riemergono 80 m<sup>3</sup>/s (1.3 m<sup>3</sup>/s/km) con minimi di 35 m<sup>3</sup>/s e massimi di 115 m<sup>3</sup>/s. Per quanto riguarda più specificatamente l'area di progetto si osserva però che:

*“In destra Tagliamento i dati pubblicati sono scarsi ed indicano un valore complessivo delle portate delle risorgive pari a 43 mc/s (1.4 m<sup>3</sup>/s/km; Montaldo P., 1969)”* (Stefanini e Giorgetti, 1996).

Bisogna inoltre ricordare quanto affermato dalla Autorità di Bacino:

*“La portata globale delle risorgive in destra Tagliamento, comprensiva di tutte quelle che alimentano il Livenza e i suoi tributari nel Veneto e il basso Meduna nel Friuli, può essere grossomodo valutata dello stesso ordine di quella in sinistra Tagliamento: un recente studio sulla situazione idrogeologica della pro-*

*vincia di Pordenone individua infatti in poco più di 58 m<sup>3</sup>/s l'afflusso medio annuo nella falda freatica pordenonese dell'alta pianura.*

*Va ricordato che anche nell'alta pianura esistono acquiferi confinati in profondità, le cui modalità di alimentazione non sono ancora ben note ma sicuramente alimentano in gran parte il sistema artesiano indipendentemente dalla ricarica principale dovuta alla falda freatica. Tali acque tuttavia hanno circuiti molto più lenti e quindi è più complesso farle rientrare in un bilancio ideologico annuo complessivo.”*

A livello di dati sul fabbisogno idrico si ricorda inoltre Bellen (1998) che riporta i fabbisogni idrici in provincia di Pordenone che risultano di interesse se non altro per confronto con l'area di progetto.

Relativamente ai prelievi, Carniel (1999) riporta il numero di pozzi esistenti nel 1990 in alcuni comuni del Pordenonese che risultano estremamente consi-

Tabella 2 - Pozzi di attingimento privati in alcuni comuni della provincia di Pordenone. Fonte dell'informazione: Catasto Regionale dei Pozzi per Acqua - Regione F.V.G. - Trieste 1990 (da Carniel 1999).

Comune	Classificazione	Abitanti residenti	N. pozzi freatici	N. pozzi artesiani
Azzano Decimo	1	11858	70	730
Brugnera	1	7911	43	56
Casarsa	3	7690	487	920
Chions	1	4007	32	294
Cordenons	2	15076	4200	80
Cordovado	2	2393	300	280
Fiume Veneto	3	9168		2460
Fontanafredda	2	9177	1024	280
Morsano al Tagliamento	3	2985	27	757
Pasiano di Pordenone	1	6890	33	86
Porcia	2	13044	1353	257
Pordenone	2	50586	7000	1000
Prata di Pordenone	1	6643	50	240
Pravisdomini	1	2358	16	20
Sacile	1	16567	180	220
S. Vito al Tagliamento	3	12275	179	3539
Sesto al Reghena	2	5229	15	1235
Zoppola	3	7470	62	2058
Totale			15071	14512
Totale pozzi				29583

(Classificazione: 1 serviti da acquedotto al 50-100%  
2 serviti da acquedotto al 10-30%  
3 sprovvisti di rete acquedottistica)

stenti. Si hanno infatti su 18 comuni un totale di 14.512 pozzi artesiani! Il dato è riportato in Tabella 2.

Pur esulando dall'area di progetto, interessanti risultano anche i monitoraggi piezometrici eseguiti, da alcune decine di anni, sull'acquifero indifferenziato posto a monte che si ricorda rappresenta l'area di alimentazione delle falde del Portogruarese. Risulta un preoccupante abbassamento della falda freatica, che in tempi più o meno lunghi non potrà non avere ripercussioni sull'area a valle.

Infine si accenna alla classificazione in province idrogeologiche della Pianura Friulana riportata da Cucchi, Massari e Oberti (1999). Si evidenzia che l'area di progetto si trova a valle di un'unica provincia idrogeologica definita come "alta e bassa pianura in destra e sinistra Tagliamento", *"una zona in cui è prevalente l'influenza delle acque disperse dal Tagliamento che rimpinguano direttamente sia la falda freatica sia le falde in pressione. La dispersione si verifica in maniera più accentuata in sinistra Tagliamento (fino alla zona ad ovest di Gonars) che in destra (fino ad est di Fiume Veneto), essenzialmente perché le acque sotterranee del Tagliamento sono bloccate ad ovest dalle acque disperse nel conoide Cellina-Meduna. Si trova riscontro di ciò dallo studio della distribuzione dei solfati che si disperdono con un asse circa NNE-SSO, in depositi a granulometria variabile dal decisamente ghiaioso al limoso-argilloso. In particolare nei terreni delle zone di Azzano X, di Brugnera, di Sacile e di Prata di Pordenone si riconoscono reazioni di ossidoriduzione che modificano il chimismo delle acque delle falde profonde."*

Gli stessi autori notano che le caratteristiche chimiche delle falde artesiane mutano da ovest verso est, anche se in linea di massima gli acquiferi sono abbastanza continui in senso laterale.

#### 4.3 STRUTTURA DEL SOTTOSUOLO

##### 4.3.1 Profili geologici

Sono stati ripresi e rivisti, peraltro senza sostanziali modifiche, i 6 profili stratigrafici (Figura 4 - Figura 9) realizzati per la "Indagine idrogeologica" della Provincia di Venezia. Di questi, quattro utilizzano esclusivamente stratigrafie con profondità superiore ai 100 m e due utilizzano esclusivamente stratigrafie con profondità inferiore ai 100 m, poiché si è voluto caratterizzare una zona dell'area di progetto in cui sono presenti orizzonti ghiaiosi in condizioni sub-superficiali.

Conseguentemente al limitato numero di stratigrafie disponibili per un'area così vasta, considerando l'imprecisione con le quali certune colonne stratigrafiche sono state redatte e prendendo in considerazione la variabilità dei motivi deposizionali dei vari ambienti dei sistemi alluvionale e litorale che hanno creato la coltre sedimentaria sopra citata, l'interpretazione litostratigrafica elaborata è comunque sintetica e volta alla sola individuazione degli acquiferi principali dai quali i pozzi censiti prelevano acqua. I profili pertanto riportano gli orizzonti principali permeabili, la cui frazione granulometrica dominante è sabbioso-ghiaiosa, indipendentemente dalla facies di appartenenza.

I profili riportati nelle pagine seguenti sono:

- **PROFILO N. 1**

Orientazione NNW - SSW.

Da Settimo di Cinto Caomaggiore a Bibione di S. Michele al Tagliamento.

- **Profilo n. 2**

Orientazione WSW - ENE.

Da Marango di Caorle a Lugugnana di Portogruaro.

- **Profilo n. 3**

Orientazione W - E.

Da S. Biagio Scuole di Cinto Caomaggiore a Teglio Veneto.

- **Profilo n. 4**

Orientazione NNE - SSW.

Da Bagnara di Gruaro a Bandoquerelle di Concordia Sagittaria.

- **Profilo n. 5**

Orientazione WNW - ESE.

Località Portogruaro.

- **Profilo n. 6**

Orientazione NNE - SSW.

Località Portogruaro.

#### 4.4 DISTRIBUZIONE DEGLI ACQUIFERI

Sulla base dei profili geologici realizzati e della distribuzione della profondità di captazione dei pozzi (si veda la tavola 1), si sono individuati i principali orizzonti acquiferi presenti nel sottosuolo del Portogruarese.

Da una prima analisi di quanto elaborato si può constatare che l'interpretazione è risultata più precisa

nella zona centro - settentrionale dell'area d'indagine, mentre è risultata più lacunosa nella zona centrale e meridionale a seguito della scarsità dei dati e della discontinuità nella distribuzione degli orizzonti acquiferi.

In generale la distribuzione dei litotipi, in profondità e lateralmente, è discontinua e disomogenea con una dominante componente terrigena argillosa, limosa, sabbiosa fine. Nonostante ciò è possibile individuare degli orizzonti sabbiosi e ghiaiosi che si estendono con una certa continuità sull'area d'indagine ed hanno spessori variabili.

L'individuazione di questi acquiferi principali, che in realtà sono il risultato di raggruppamenti di orizzonti permeabili di grande estensione con orizzonti permeabili di limitata estensione, è sintetizzata dalla seguente tabella.

- **1° Acquifero semi - confinato / confinato** - è presente a partire da 10 m di profondità dal p.c. sino alla profondità di 20 - 25 m. È prevalentemente sabbioso e generalmente continuo soprattutto nella zona centro-settentrionale dell'area; è eteropico con ghiaie nella zona centro-settentrionale.

- **2° Acquifero confinato** - è presente a partire da 30 - 40 m di profondità dal p.c. sino alla profondità di 50 - 55 m. È prevalentemente sabbioso e generalmente discontinuo soprattutto nella zona centro meridionale dell'area; è eteropico con ghiaie nella zona nord - orientale.

- **3° Acquifero confinato** - è presente a partire da 60 - 70 m di profondità sino a 80 - 90 m. È prevalentemente sabbioso e generalmente discontinuo soprattutto in senso E - W.

- **4° Acquifero confinato** - è presente a partire da 110 - 120 m di profondità sino a 130 - 135 m. È prevalentemente sabbioso e generalmente discontinuo, ma talvolta eteropico con ghiaie nella zona settentrionale. Nella zona meridionale il suo riconoscimento risulta difficoltoso.

- **5° Acquifero confinato** - è presente a partire da 150 - 160 m di profondità sino a 220 - 240 m. È prevalentemente sabbioso e generalmente continuo su tutta l'area con marcate eteropie di ghiaie nella zona settentrionale. Lo spessore maggiore dell'acquifero si rileva nella zona centrale.

- **6° Acquifero confinato** - è presente a partire da 240 - 250 m di profondità sino a 290 - 300 m. È prevalentemente sabbioso e generalmente continuo su tutta l'area con marcate eteropie di ghiaie nella zona settentrionale.

- **7° Acquifero confinato** - è presente a partire da 300 - 310 m di profondità sino a 350 - 380 m. È prevalentemente sabbioso e generalmente continuo su tutta l'area.

- **8° Acquifero confinato** - è presente a partire da 400 - 410 m di profondità sino a 460 m. È prevalentemente sabbioso. È difficoltoso determinare la conti-

Tabella 3 - Schema degli acquiferi individuati - Portogruarese.

N° ACQUIFERO	LIMITI	PROF. TETTO (m)	PROF. LETTO (m)
1	Semi confinato – confinato	10	20 – 25
2	Confinato	34 - 40	50 – 55
3	Confinato	60 - 70	80 – 90
4	Confinato	110 – 120	130 – 135
5	Confinato	150 - 160	220 – 240
6	Confinato	240 - 250	290 – 300
7	Confinato	300 - 310	350 – 380
8	Confinato	400 - 410	460
9	Confinato	480 - 490	?
10	Non individuato in dettaglio nelle stratigrafie ma identificato grazie alla presenza di pozzi profondi	?	?

nuità dell'acquifero anche se i dati sulle profondità dei pozzi censiti confermano la sua estensione sull'intera area.

- **9° Acquifero confinato** - è presente a partire da 480 - 490 m di profondità. Il letto dell'acquifero è di difficile determinazione dato l'esiguo numero di stratigrafie che raggiungono tale profondità. È prevalentemente sabbioso e ghiaioso (i dati disponibili si riferiscono alla zona meridionale); è difficoltoso determinare la continuità dell'acquifero anche se i dati delle profondità dei pozzi censiti confermano la sua estensione almeno sull'intera area del Portogruarese.

- **10° Acquifero confinato** - l'esiguo numero di stratigrafie non consente la determinazione del letto e del tetto dell'acquifero e la sua continuità sull'area di interesse. La presenza di vari pozzi anche a queste profondità permette comunque di individuare uno o più acquiferi sui 600 m di profondità, caratterizzati da sabbia e ghiaia.

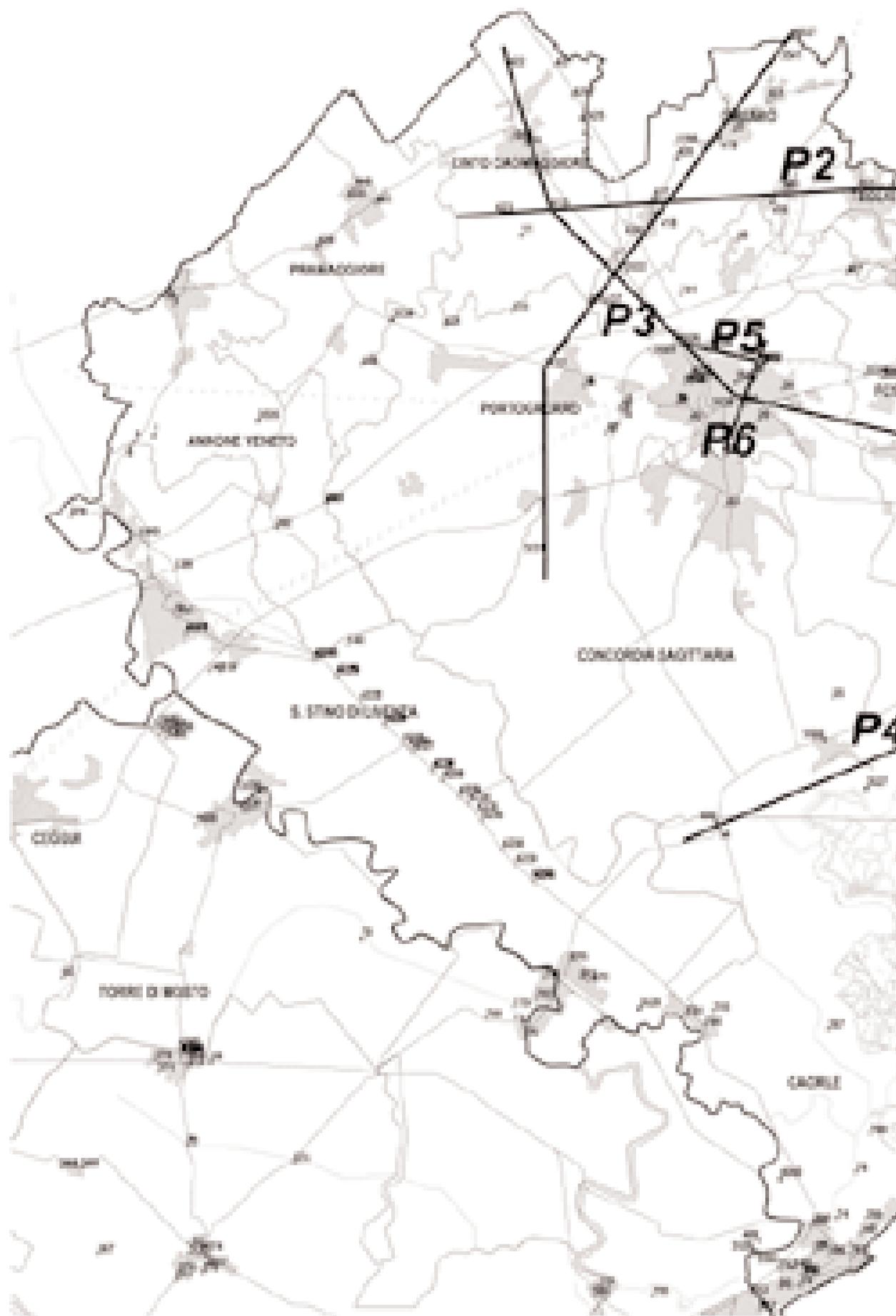
Relativamente alla parametrizzazione degli acquiferi, questa è stata oggetto di indagini, prove ed elaborazioni eseguite ex-novo nell'ambito del presente progetto. Questi dati verranno presentati dettagliatamente al capitolo 5.

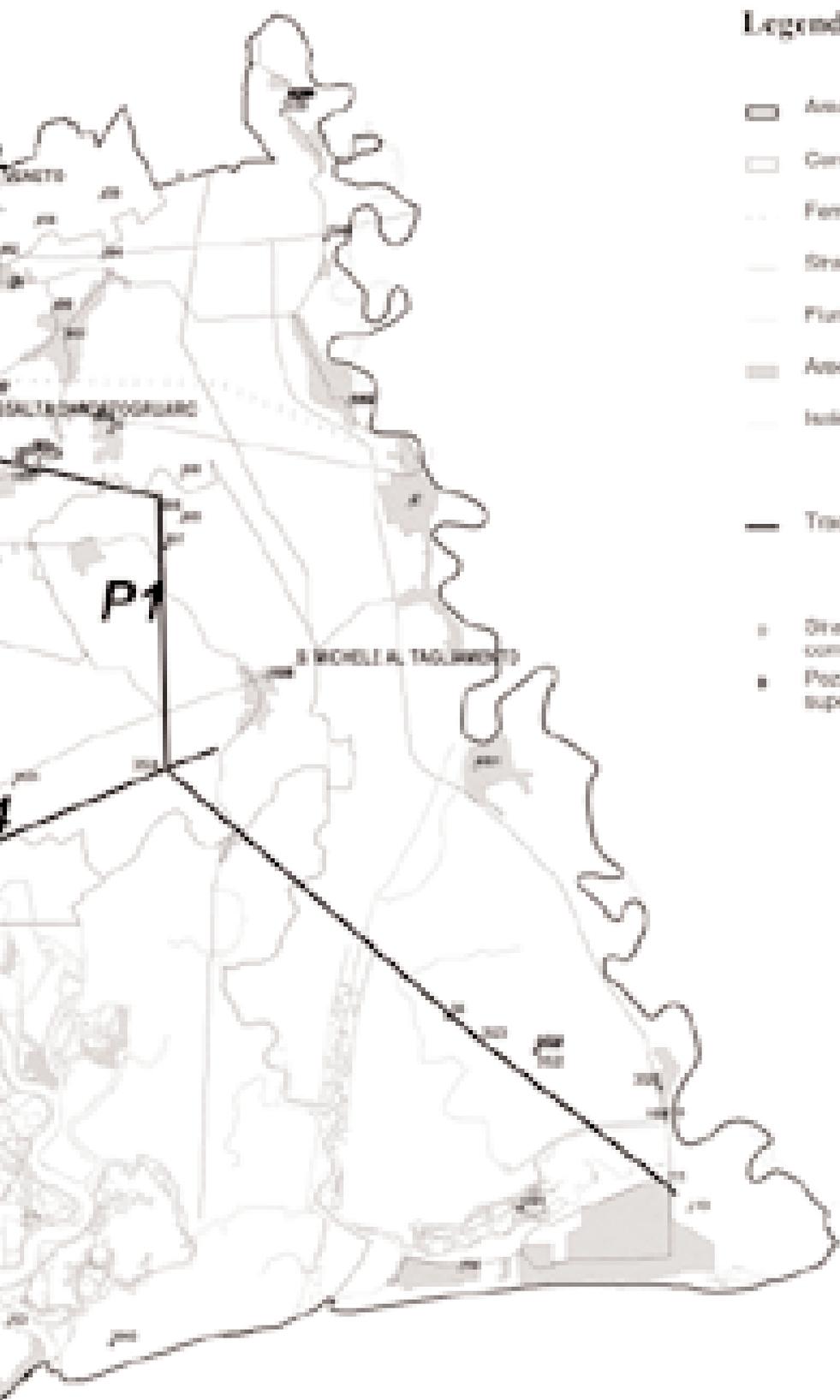
Qui di seguito si riporta uno schema generale della distribuzione dei vari parametri nelle diverse falde:

Falda	n. pozzi censiti	Prof. (m)	T (°C)	Cond. Elet. (µS/cm)	Fe (mg/l)	NH4+ (mg/l)	Prev. su p.c. (m)	Q spont. max (l/s)
I°	102	10 - 20	13,5 - 16,5	820 - 3600	0,7 - 3	0,4 - >3	no	no
II°	78	35 - 55	13,5 - 15,0	425 - 490	0,1 - 0,6	0,2 - 1,55	0,6 - 1,5	0,04 - 0,25
III°	28	60 - 90	14,0 - 15,5	400 - 500	0,1 - 0,6	1,3 - >3	0,6 - 1,5	0,03 - 0,19
IV°	32	100 - 130	14,5 - 18,0	380 - 540	0,07 - 0,35	1 - >3	0 - 1,4	0,03 - 0,1
V°	329	150 - 240	14,5 - 24,0	340 - 650	0,04 - 0,4	0,1 - >3	0 - 4,8	0,01 - 1
VI°	139	250 - 315	16,0 - 23,5	370 - 580	0,07 - 0,25	0,5 - >3	0,5 - 5	0,03 - 0,60
VII°	79	320 - 380	17 - 25	360 - 560	0,06 - 0,3	0,7 - >3	0 - 4,2	0,1 - 0,6
VIII°	32	400 - 460	19 - 40	370 - 630	0,04 - 0,16	0,4 - >3	1,5 - 4	0,3 - 2
IX°	170	480 - 560	23 - 34	320 - 680	0,06 - 0,3	0,1 - 1,7	4 - >20	0,25 - 3,75
X°	53	> 580	24 - 45	330 - 3500	0,05 - 0,15	0,13 - 2	11 - >20	2 - 3,75



Figura 3 - Ubicazione delle stratigrafie raccolte e traccia dei profili litostratigrafici.

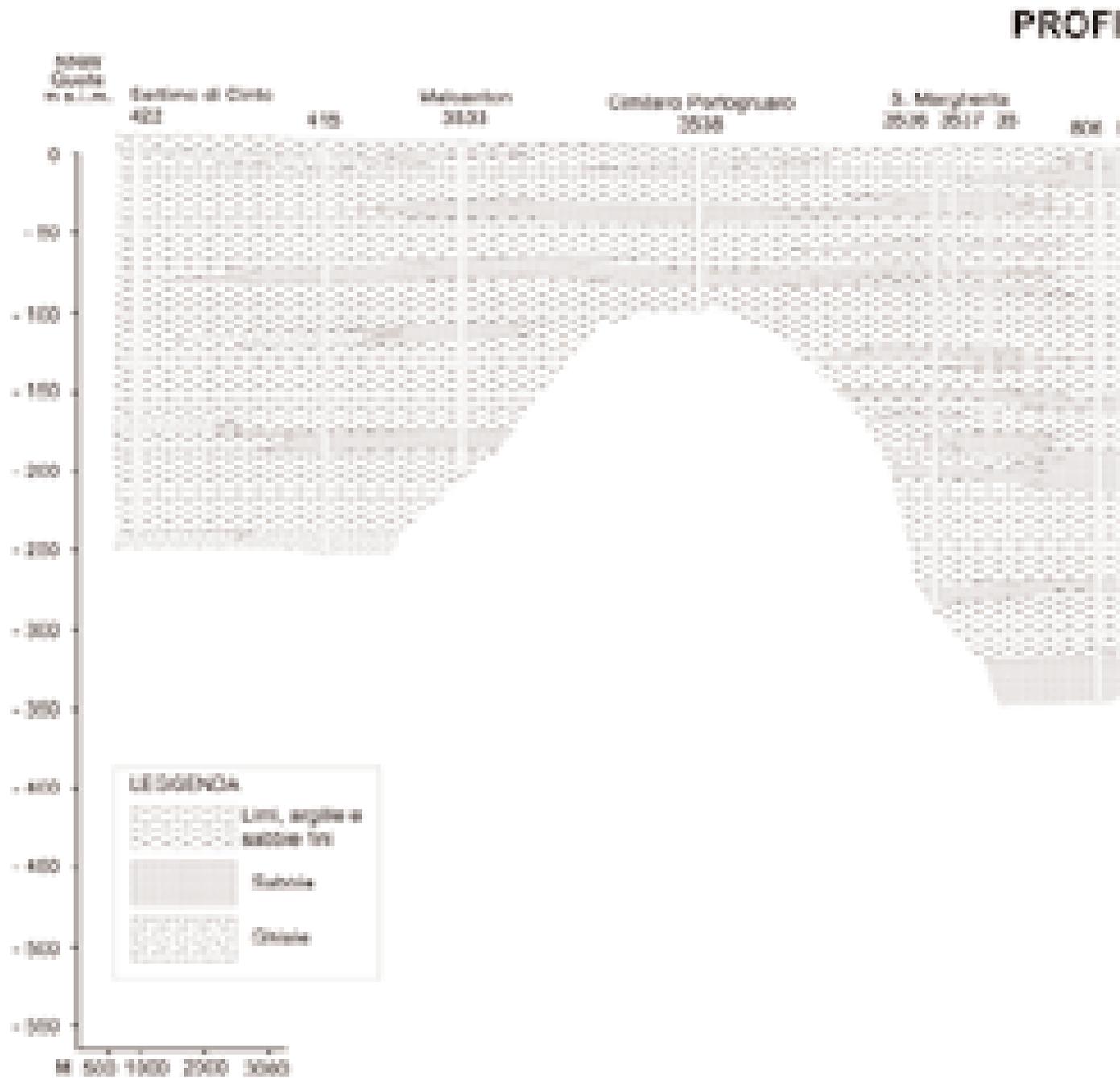




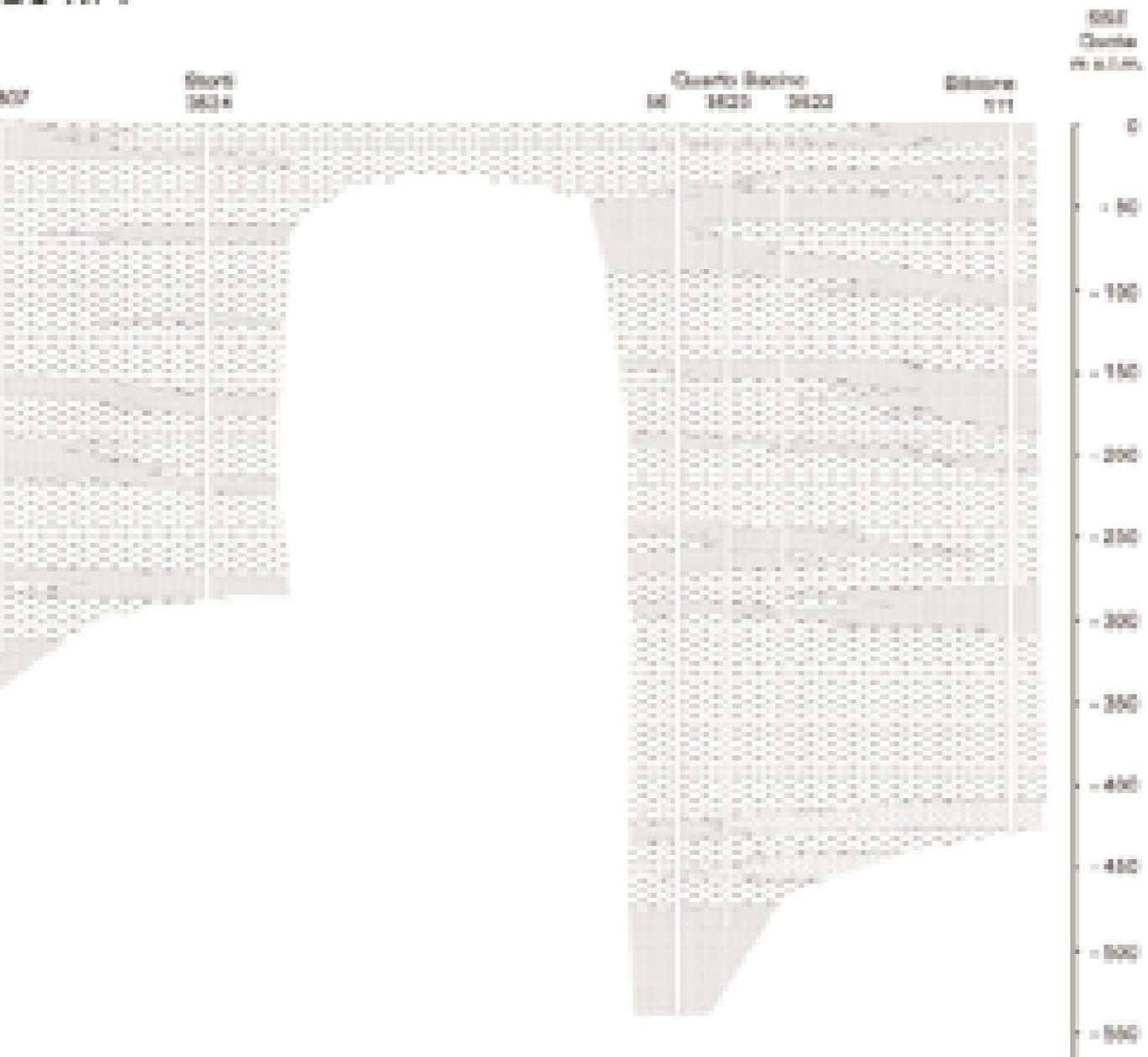
## Legenda

-  Area indagata idrogeologica
-  Contorni comunali
-  Ferrovie
-  Strade
-  Fiumi
-  Area urbana
-  Isola e laguna
-  Traccia profilo
-  Stratigrafia con profondità comprese tra 10 e 100 m
-  Pozzo con profondità superiore a 100 m

Figura 4 - Profilo litostratigrafico N. 1.



# LO N. 1



# PROFILO N. 2

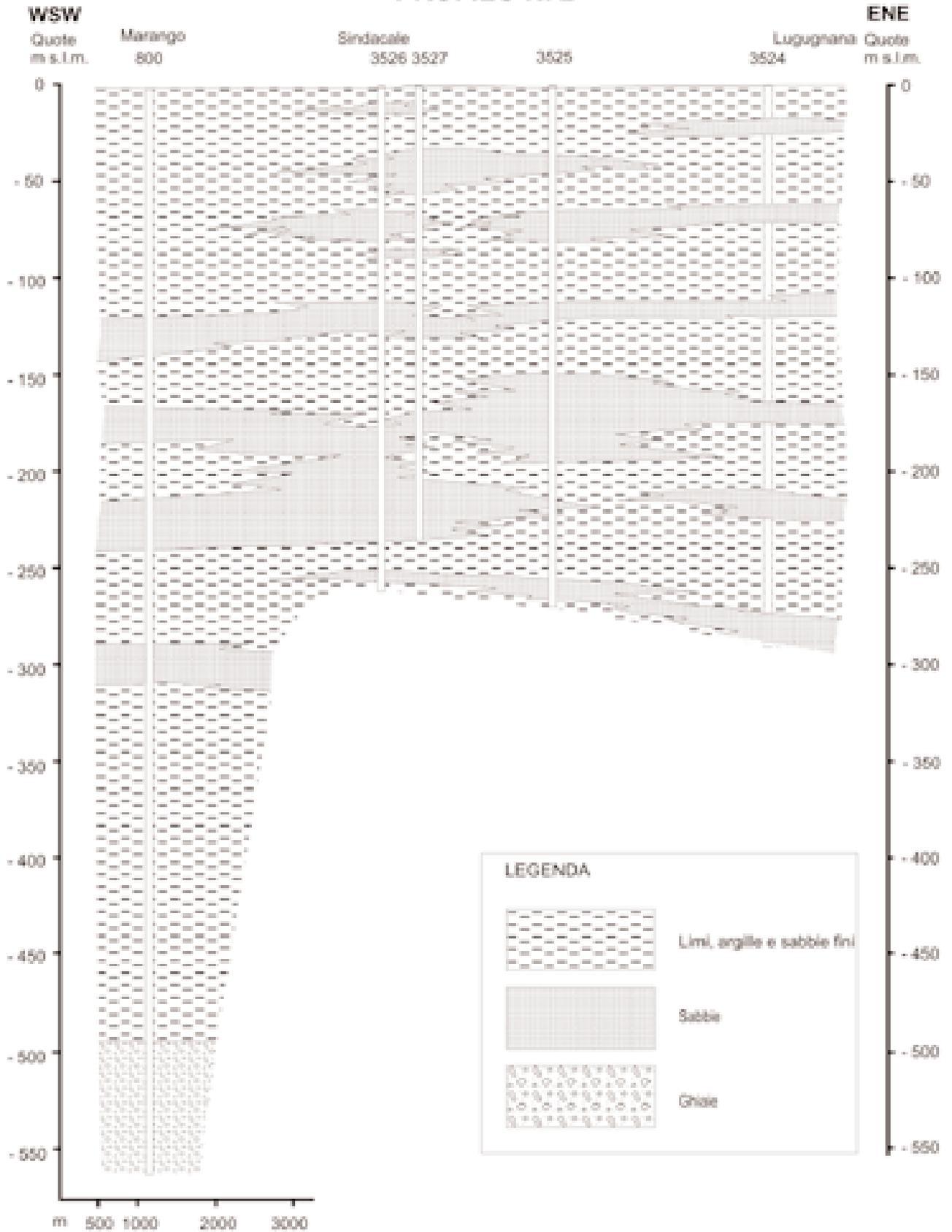


Figura 5 - Profilo litostratigrafico N. 2.

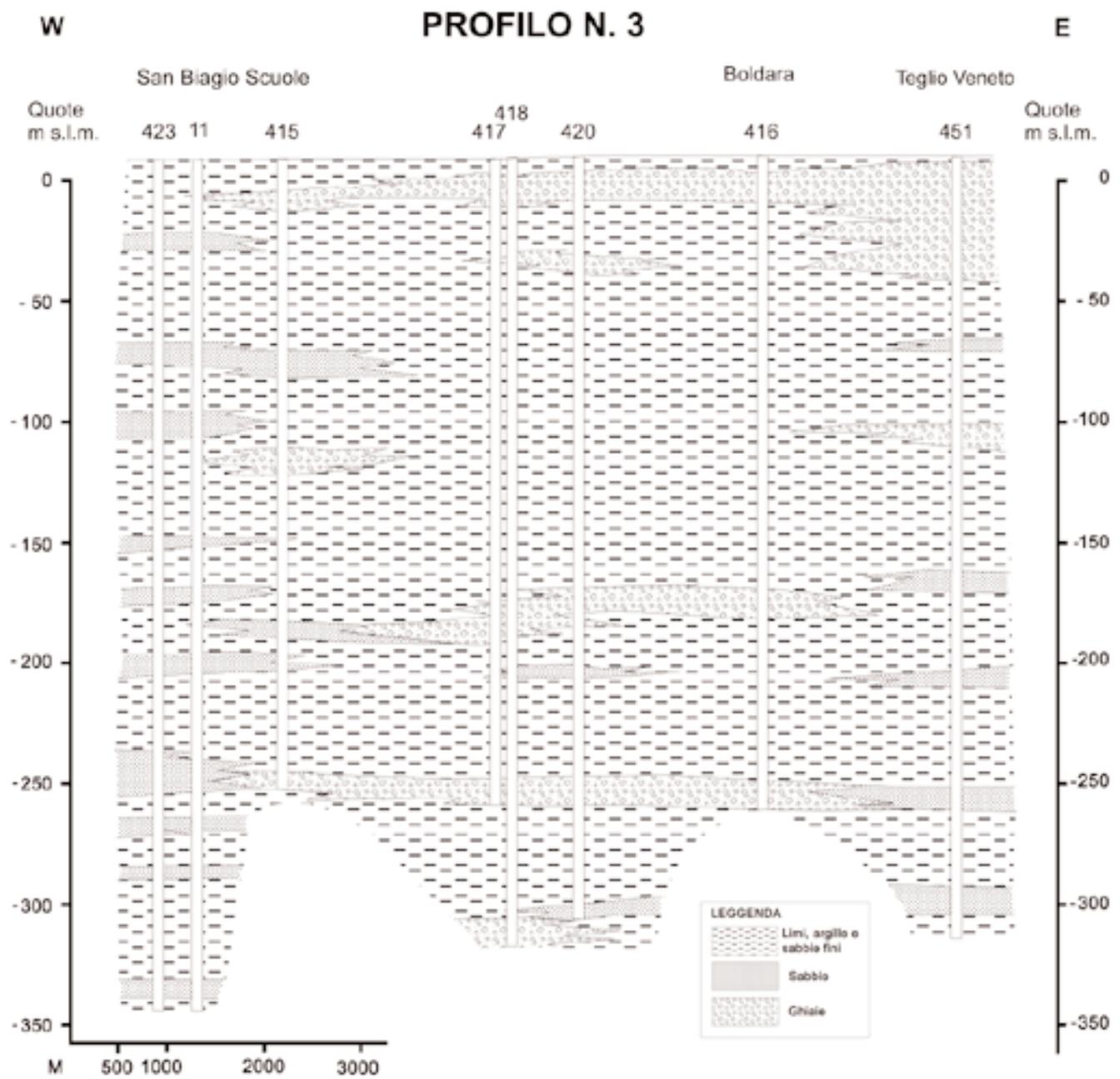
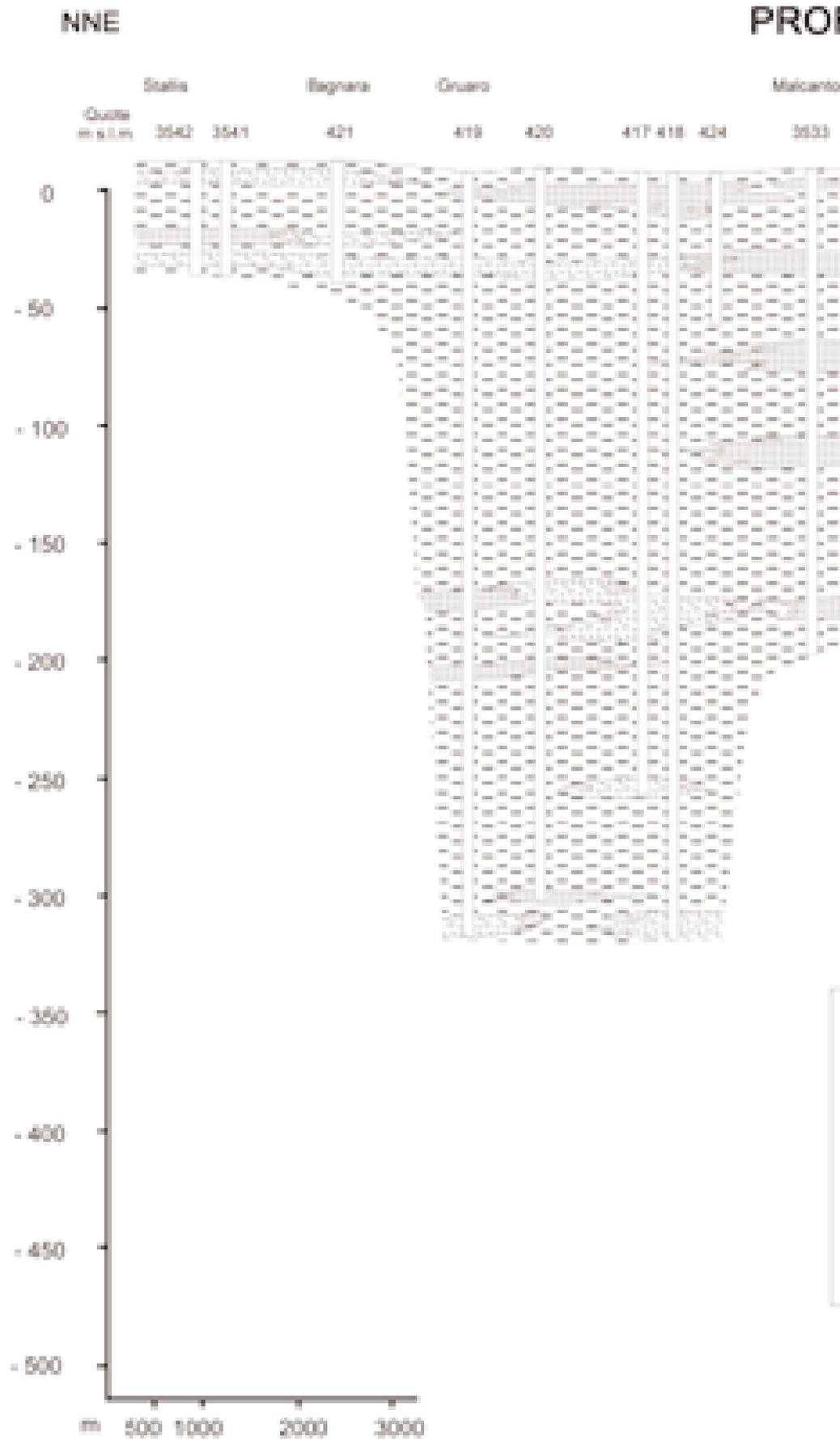


Figura 6 - Profilo litostratigrafico N. 3.

Figura 7 - Profilo litostratigrafico N. 4.



# FILO N. 4

SSW

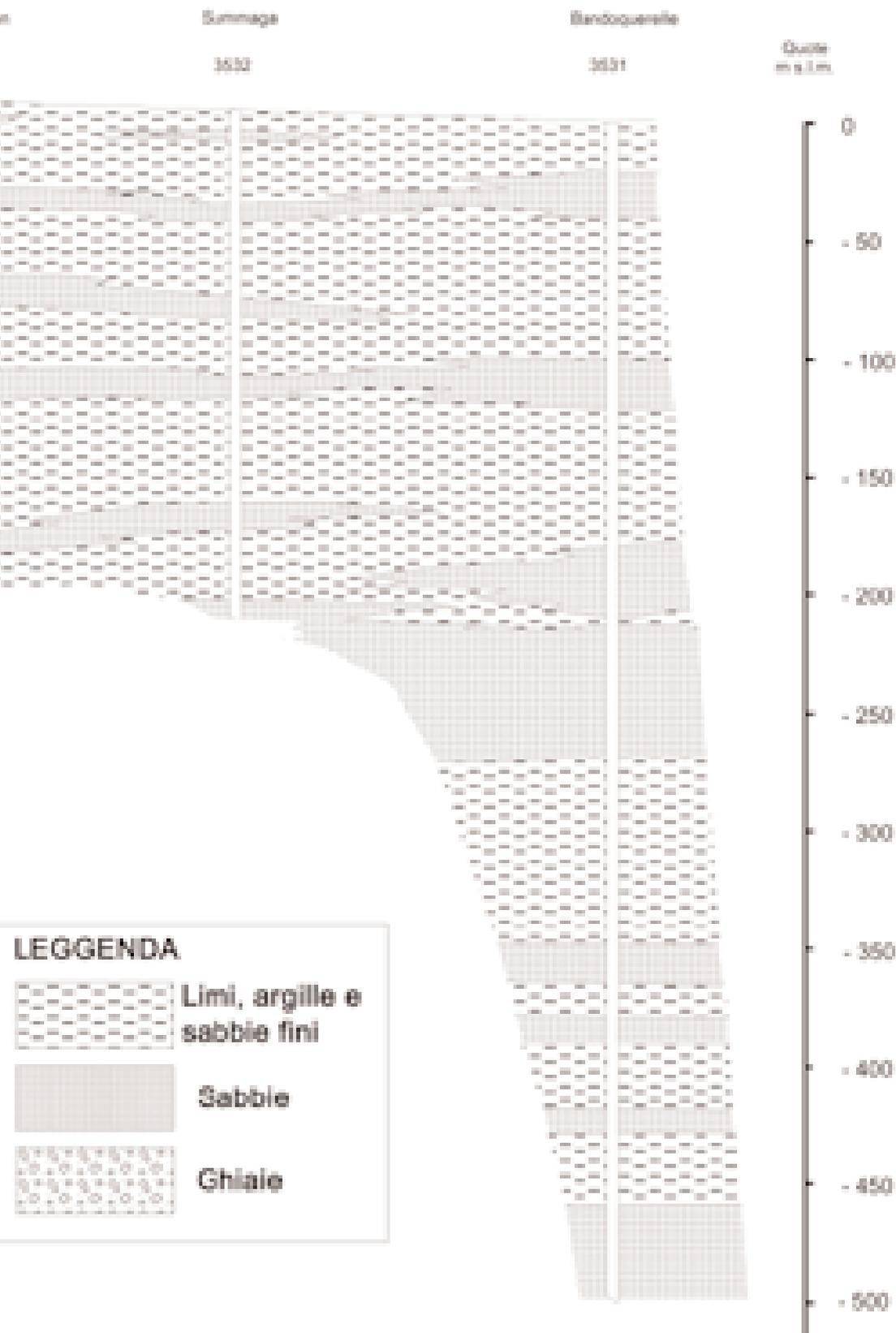
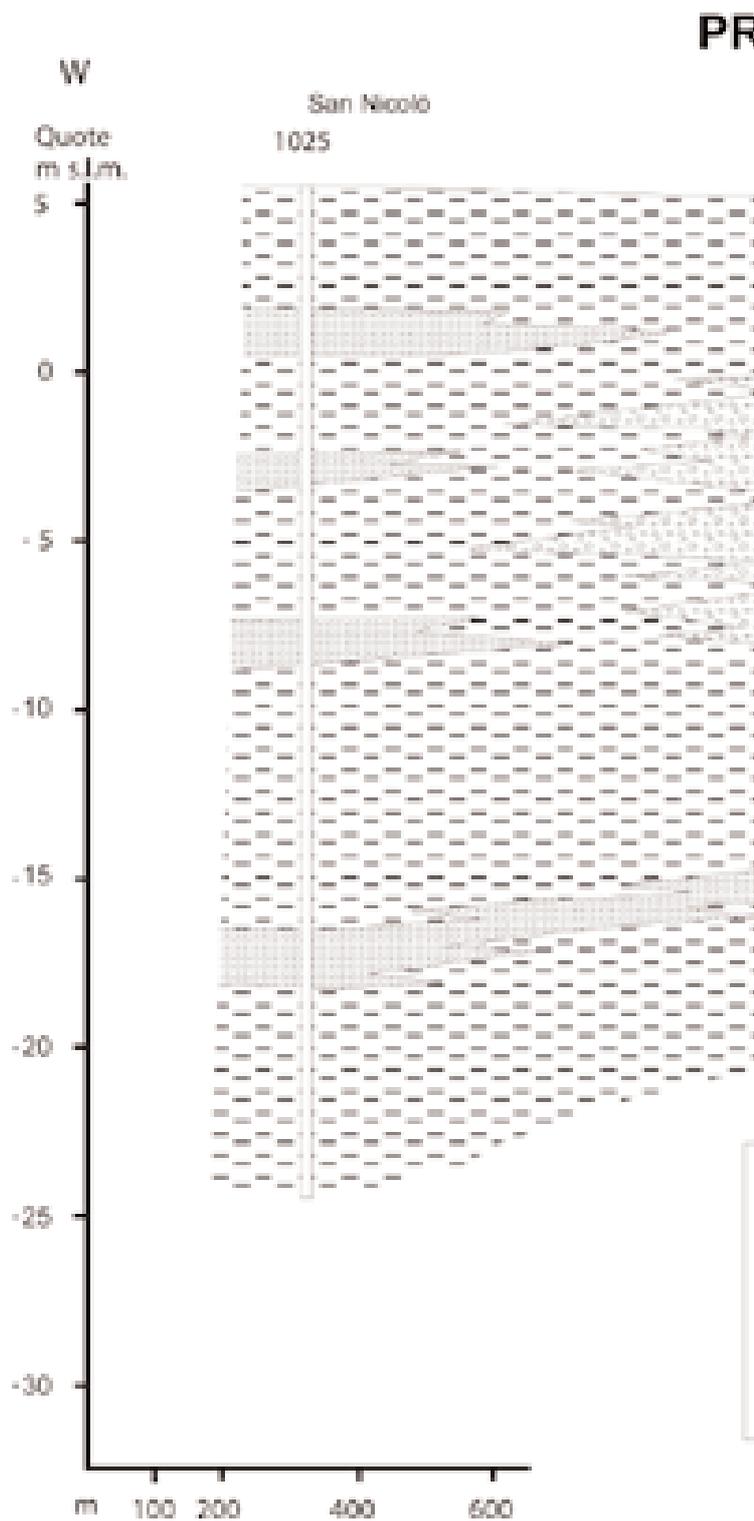


Figura 8 - Profilo litostratigrafico N. 5.



# PROFILO N. 5

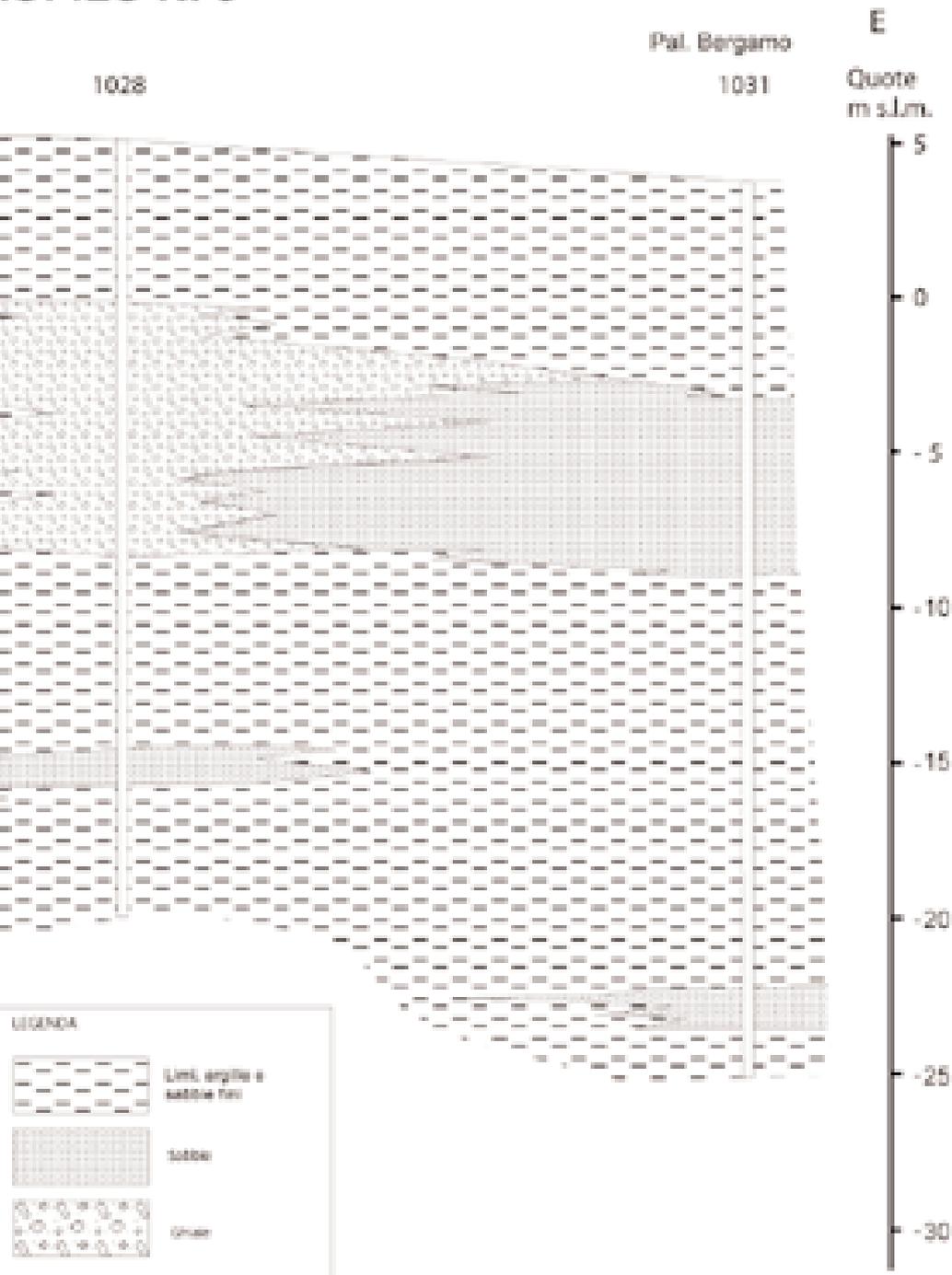
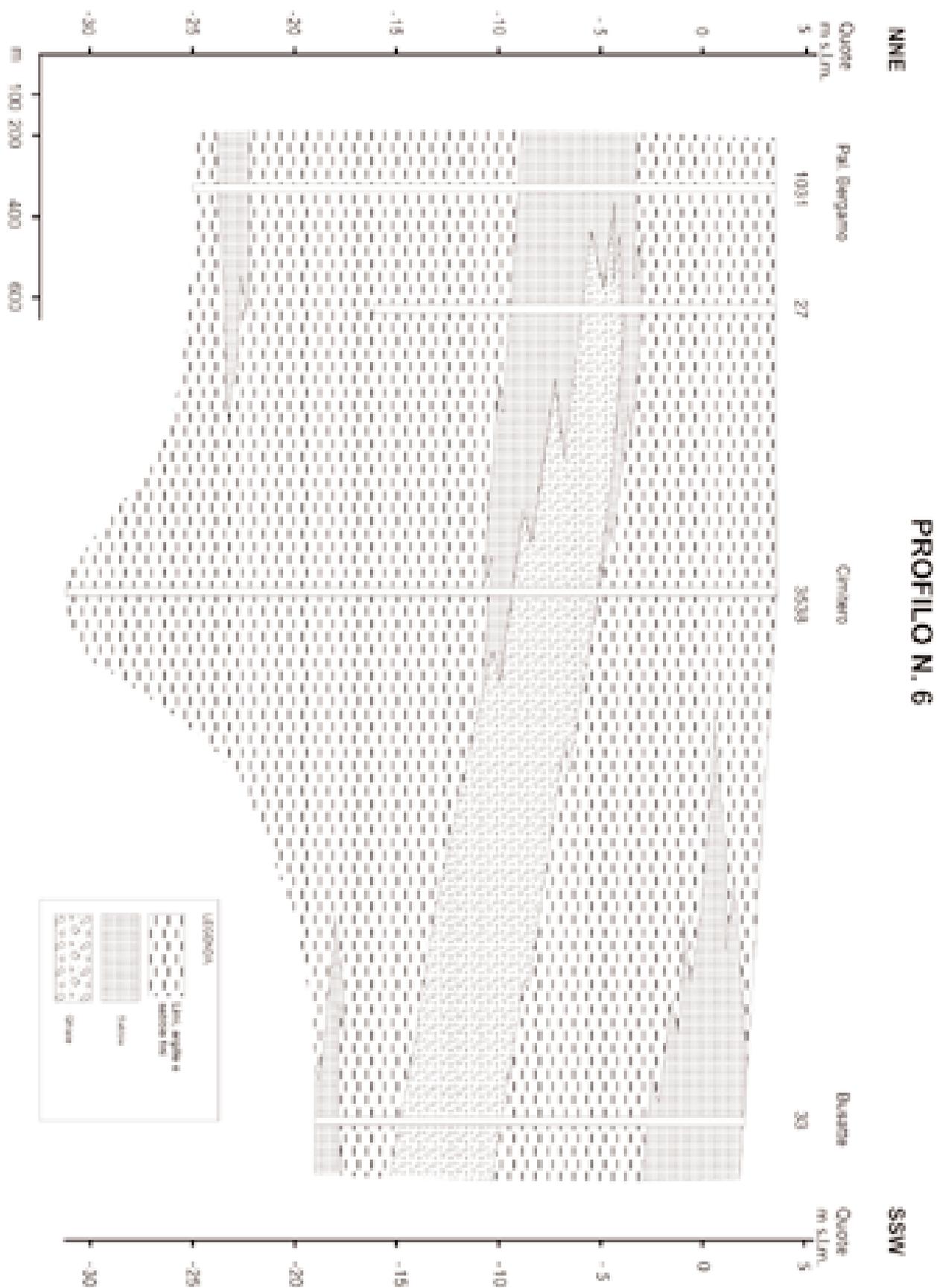


Figura 9 - Profilo litostratigrafico N. 6.



## 5. Le falde del Portogruarese: quantità, qualità e parametrizzazione

### 5.1 PREMESSA

Nel presente capitolo vengono presentati i dati relativi alla parametrizzazione idrogeologica degli acquiferi presenti nel sottosuolo del comprensorio di competenza del Consorzio di Bonifica Pianura tra Livenza e Tagliamento.

La parametrizzazione è stata effettuata per ciascuna delle falde contenute nei 10 acquiferi individuati e ha riguardato:

Parametri fisici	Temperatura Conducibilità
Parametri chimici	Ammoniaca Ferro
Parametri idrogeologici	Prevalenza sul piano campagna Piezometria Portata spontanea massima per pozzi da 2"-3" Portata specifica Trammissività Permeabilità Coefficiente di immagazzinamento Raggio di influenza

Obiettivo specifico di questa fase di lavoro è stato quello di verificare per ciascuna falda:

- le caratteristiche qualitative;
- le caratteristiche idrodinamiche;
- la potenzialità quantitativa.

Nel complesso quindi questa fase vuole definire, nell'intero territorio consortile, quali e quante risorse idriche sotterranee sono presenti.

I parametri scelti sono quelli che sono stati considerati come maggiormente significativi per l'analisi delle caratteristiche e delle potenzialità di questo sistema acquifero.

La parametrizzazione si basa su tre set di dati:

- dati contenuti nella "Indagine idrogeologica del territorio provinciale – Portogruarese" redatta nel 1998 dalla Provincia di Venezia, riportanti i risultati del censimento di oltre 1100 pozzi (si veda la tavola 1) sui quali vennero in genere misurati i valori di: temperatura, conducibilità, ammoniaca, ferro, prevalenza e portata;
- misure integrative sui parametri citati al punto

precedente, realizzate nel quadro delle indagini previste in varie fasi del progetto;

- esecuzione di prove di pozzo e di prove di pompaggio.

Si è inoltre eseguita una ricerca su eventuali prove idrogeologiche preesistenti. Tale ricerca non ha portato alla raccolta di dati di interesse, in quanto, nella regione veneta, persino sui pozzi acquedottistici risultano spesso assenti dati di prove di pompaggio e di prove di portata!

Per la valutazione quali-quantitativa si sono inoltre utilizzati i dati derivanti dal "progetto rete di monitoraggio" della Provincia di Venezia (Zangheri, 2000).

Va peraltro notato che per quest'area è la prima volta che vengono ricavati i parametri idrogeologici mediante prove specifiche in pozzo. Si tratta di un dato di grande importanza per quanto riguarda gli aspetti del bilancio idrogeologico e della gestione della risorsa e, a tale proposito, saranno ripresi in altre parti del presente lavoro.

Per la parametrizzazione si è eseguito un numero superiore di prove di pompaggio alle 10 previste in progetto, in modo da poter disporre di un set di dati maggiormente significativo. Ciò peraltro potrà risultare utile nel caso di futuri approfondimenti e, in particolare, nel caso si voglia procedere ad una modellazione dell'acquifero<sup>(2)</sup>.

Le prove di pompaggio sono state precedute da un discreto numero (13) di prove di pozzo (non previste in progetto), atte a meglio definire le condizioni in cui si sarebbe poi operato con le prove di pompaggio, come d'altronde consigliato dalla bibliografia specifica.

Nel seguito saranno riportate le misure e le elaborazioni eseguite, suddivise per ciascuna delle 10 falde individuate.

<sup>(2)</sup> Il progetto approvato dal GAL prevede, alla voce "continuità del progetto", tra le attività che dovrebbero continuare ad intervento concluso, anche la seguente: "realizzazione di approfondimenti specifici (realizzazione di un modello idrogeologico matematico; realizzazione di interventi specifici in aree singole...)";

## 5.2 PROVE IDROGEOLOGICHE (PROVE DI POZZO E DI POMPAGGIO): METODOLOGIA DI ESECUZIONE E DI INTERPRETAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI

### 5.2.1 Introduzione

La determinazione dei parametri idrodinamici, utili per caratterizzare idrogeologicamente gli acquiferi, è stata eseguita con misure dirette di alcuni parametri idraulici relativi a 20 pozzi che captano sette delle principali falde artesiane del Portogruarese.

Tutti i pozzi utilizzati per l'acquisizione dei dati hanno una portata spontanea con prevalenze sul piano campagna variabili da 1 m ad oltre 30 m, il che non ha reso necessario l'utilizzo di pompe per provocare la depressione piezometrica della falda, poiché è stato sufficiente agire sulla valvola del boccapozzo per aumentare o diminuire la portata d'acqua in uscita. Operativamente le metodologie d'indagine utilizzate sono state di due tipi: prove di pozzo con gradini di portata e prove di pompaggio con un unico gradino di portata. Queste prove si basano sulla creazione di una depressione piezometrica della falda artesiane, la quale assumerà una forma conica (o pseudoconica) la cui geometria sarà funzione del tempo di pompaggio e delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero. Il monitoraggio della superficie piezometrica e la successiva elaborazione dei dati consentirà la determinazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero. I parametri idrodinamici, calcolati con diversi metodi analitici, sono:

- la conducibilità idraulica (K)
- la trasmissività (T)
- il coefficiente di immagazzinamento (S)
- il raggio di influenza (R).

Nelle elaborazioni si sono utilizzati più metodi in base al tipo di parametro ricercato ed alle metodologie di acquisizione dati eseguite; quando possibile sono stati confrontati vari metodi verificando così l'attendibilità dei risultati.

Le condizioni al contorno in cui si è operato non corrispondono fedelmente alle condizioni base imposte per l'applicazione delle espressioni di idrodinamica sotterranea, in quanto la disponibilità di informazioni sulle caratteristiche tecniche dei pozzi o l'equipaggiamento tecnico degli stessi erano limitate<sup>(3)</sup>.

<sup>(3)</sup> Va notato che, nell'ottica di un razionale utilizzo delle risorse idriche sotterranee, la costruzione di una nuova opera di captazione dovrebbe essere accompagnata dalla precisa registrazione delle caratteristiche costruttive del pozzo e delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dei terreni attraversati.

Le condizioni base per l'applicazione dei metodi di calcolo analitico per le acque sotterranee sono:

- validità della legge di Darcy;
- pozzo completo (falda interamente captata);
- pozzo correttamente sviluppato ed equipaggiato;
- superficie piezometrica sub – orizzontale;
- portata di pompaggio costante;
- acquifero a falda imprigionata;
- acquifero illimitato;
- acquifero con substrato a tetto impermeabile;
- la componente verticale della velocità di flusso deve essere considerata nulla.

### 5.3 PROVE DI POZZO

La prova di pozzo con gradini di portata è eseguita in corrispondenza di un unico pozzo e permette di verificare l'efficienza del "sistema acquifero – opera di captazione": in sostanza se l'opera di presa è idonea per il tipo di falda idrica captata.

Questo tipo di prova ha permesso di verificare i seguenti parametri idraulici:

- *portata critica* (portata in cui il deflusso idrico verso l'opera di captazione da tipo laminare diventa in parte turbolento); essa consente di verificare la portata ottimale dell'opera di presa affinché non si verifichino perdite di carico responsabili dell'intasamento dei filtri;
- *portata specifica* (portata erogata rapportata alla depressione piezometrica che essa produce); essa consente di valutare la produttività del pozzo e l'efficienza del complesso "acquifero / opera di captazione";
- *abbassamento specifico* (abbassamento piezometrico rapportato alla portata erogata); tale parametro diagrammato con le portate consente di verificare la natura laminare o turbolenta (responsabile dell'intasamento dei filtri) del moto verso l'opera di captazione.

Operativamente in campagna per l'acquisizione dei dati sono stati misurati diversi valori di portata (gradini) (minimo 3) e della relativa prevalenza. La misura di quest'ultima fa riferimento al valore stabilizzato per ogni gradino di portata impostato.

Essendo il pozzo dotato di prevalenza la depressione piezometrica si stabilizza quasi istantaneamente con la regolazione dell'apertura del boccapozzo.

Nell'acquisizione dei dati si è partiti da un valore minimo di portata (1° gradino di portata), aumentandola poi progressivamente (fino alla Q<sub>max</sub>) e registrando il relativo valore di prevalenza.

In totale sono state eseguite 13 prove di pozzo.

### 5.3.1 Portata critica

La determinazione di tale parametro è grafica. In un grafico lineare si riportano in ascissa i valori dei gradini di portata ed in ordinata le relative depressioni piezometriche. L'interpolazione dei punti consente di individuare un tratto rettilineo cui segue un tratto parabolico; il punto di flesso (punto critico) corrisponde in ascissa alla portata critica ed in ordinata all'abbassamento massimo. Valori di portata superiori alla portata critica determinano un moto dell'acqua verso l'opera di captazione prevalentemente di tipo turbolento, con conseguente aumento delle perdite di carico e possibilità di intasamento dei filtri. La portata massima di sfruttamento e l'abbassamento massimo ammissibile devono essere inferiori alla portata critica ed all'abbassamento massimo.

### 5.3.2 Portata specifica

La determinazione di tale parametro è analitica:

$$q_s = \text{portata specifica} = Q / s$$

Q = portata (m<sup>3</sup>/s)

s = abbassamento piezometrico (m)

La portata specifica, diagrammata con la portata, consente di valutare l'efficienza del complesso "acquifero opera di captazione", poiché un suo alto valore significa un rapporto conveniente tra la portata emunta e la depressione registrata, quindi un lavoro di pompaggio che possa limitare la presenza di un moto turbolento in prossimità dell'opera di captazione. Un maggiore abbassamento della falda senza un incremento della portata è indice di una perdita di carico dovuto al flusso turbolento, oppure che l'alimentazione della falda è minore della portata estratta. Il confronto di diagrammi registrati in pozzi diversi (in ascissa la portata ed in ordinata la Q/s) può dimostrare la produttività dei pozzi, che è maggiore quando ad un aumento di portata corrisponde una minore diminuzione della portata specifica.

(<sup>4</sup>) A titolo di confronto dei valori di permeabilità che verranno presentati come risultato delle prove in situ, si riporta la seguente tabella:

K (m/s)	10 <sup>1</sup> 10 <sup>2</sup> 10 <sup>3</sup> 10 <sup>4</sup> 10 <sup>5</sup> 10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup> 10 <sup>8</sup> 10 <sup>9</sup> 10 <sup>10</sup>						
	ORODENSA	Questa	Subina	Intero medio fine	Argilla		
GRANULOMETRIA	Varia	Grain grosso e medio	Grain e sabbia	Sabbia e argilla - fine			
GRADI DI PERMEABILITÀ		ELEVATA		BASSA			NULLA
TIP. DI FORMAZIONE		PERMEABILI		NON-PERMEABILI			IMPERI.

(sotto "NON-PERMEABILI" e "IMPERI."): livelli consolidati

(da Castany, 1988).

### 5.3.3 Abbassamento specifico

La determinazione di tale parametro avviene analiticamente:

$$\text{abbassamento specifico} = s / Q$$

Q = portata (m<sup>3</sup>/s)

s = abbassamento piezometrico (m)

L'abbassamento specifico è poi diagrammato con la portata, e consente di valutare qualitativamente e quantitativamente il tipo di moto che caratterizza l'opera di captazione. Nel diagramma lineare in ascissa si inseriscono i valori della portata, mentre in ordinata i valori s/Q. Se l'interpolazione dei punti dà origine ad una retta passante per l'origine significa che il moto è di tipo turbolento; se la retta intercetta l'asse delle ordinate il moto è sia laminare che turbolento; se si ottiene una curva concava verso l'alto il moto è laminare, ma prevalentemente turbolento; se la retta è parallela all'asse delle ascisse il moto è esclusivamente laminare; se la retta ha una pendenza inversa la prova non è valida o il pozzo necessita di uno sviluppo (è intasato!).

### 5.4 PROVE DI POMPAGGIO

La prova di pompaggio con un unico gradino di portata di lunga durata consiste nel misurare i livelli dinamici della superficie piezometrica a determinati intervalli di tempo contemporaneamente o successivamente al pompaggio della falda.

Ciò permette di determinare i parametri idrodinamici dell'acquifero (K, T, S, R), di valutare le sue caratteristiche idrogeologiche come le condizioni ai limiti (limiti idrodinamici a potenziale imposto, limite nullo, limite idrodinamico entrante / uscente), di valutare la risorsa idrica sotterranea sfruttabile.

- K, *conducibilità idraulica o permeabilità*; è l'attitudine dell'acquifero a lasciarsi attraversare dall'acqua (<sup>4</sup>).
- T, *trasmissività*; è indice della capacità di condurre

(<sup>5</sup>) Rimandando alla bibliografia specifica per approfondimenti, qui si ricorda che poiché la produttività delle opere di captazione delle acque sotterranee è funzione sia della permeabilità (k) che dello spessore della falda (H), nei calcoli idrogeologici si tiene spesso conto di un altro parametro chiamato trasmissività (Theis, 1938) che scaturisce dal prodotto dei due precedenti fattori:

$$T = K H$$

Questo parametro è molto utilizzato in idrogeologia soprattutto perché, contrariamente a quanto si verifica con la permeabilità, consente di calcolare la portata della falda anche senza conoscere lo spessore dell'acquifero saturo.

Includendo lo spessore dell'acquifero, la trasmissività permette di rappresentare su carta le zone di produttività. Essa è alla base della discretizzazione del calcolo per maglie dei modelli matematici.

In pratica più è elevato il valore della trasmissività e più è elevata la portata della falda e, conseguenzialmente, il valore quantitativo della falda stessa.

acqua nell'acquifero <sup>(5)</sup>).

- *S*, *coefficiente di immagazzinamento*; è indice della capacità di liberare acqua.
- *R*, *raggio di influenza*; limite oltre il quale non è più apprezzabile la depressione piezometrica conseguente al pompaggio della falda.

La determinazione completa di tutti questi parametri necessita che le misure siano eseguite sia sul pozzo in emungimento che su un pozzo di osservazione (piezometro) posto alla distanza massima di 150 – 200 m (sistema pozzo – piezometro).

Data la difficoltà nel trovare pozzi così vicini tra loro captanti la stessa falda e dotati degli accorgimenti tecnici necessari per eseguire le misure, la maggior parte delle acquisizioni dati sono state eseguite su singoli pozzi:

- n° 3 prove su “sistemi pozzi – piezometri”
- n° 15 prove su pozzi in emungimento <sup>(6)</sup>.

I parametri idrodinamici che sono stati calcolati con maggiore regolarità sono la *T* e la *K* (misurati su tutte le prove), poiché erano sufficienti le misure eseguite nel solo pozzo in emungimento.

Le misure dei livelli dinamici della superficie piezometrica e dei tempi sono state acquisite in due fasi distinte:

- fase di discesa per il solo piezometro (se presente);
- fase di risalita per il piezometro (se presente) ed il pozzo in emungimento.

Avendo la disponibilità di pozzi dotati di portata spontanea, per deprimere la superficie piezometrica della falda (si è partiti da condizioni di equilibrio e livello piezometrico statico) si è aperta completamente la valvola del boccapozzo del pozzo di pompaggio (tempo 0 di inizio prova) e ad intervalli inizialmente di 5 secondi, poi 10 secondi, poi 30 secondi ecc. (le misure sono durate sino al termine del pompaggio) sono stati misurati i livelli dinamici nel piezometro del “sistema pozzo – piezometro” (nel pozzo di pompaggio l'abbassamento è istantaneo). La fuoriuscita di acqua è durata per tempi di circa 2 ore, dopodiché chiuso il boccapozzo sono stati misurati i livelli dinamici in risalita sino al ritorno alle condizioni statiche di pre – pompaggio. Queste ultime misure sono state eseguite sia all'interno del piezometro, che nel pozzo in emungimento (l'intervallo di misura nell'acquisizione dei dati è sostanzialmente identico alla fase di

discesa).

In fase di elaborazione i dati acquisiti sono stati opportunamente filtrati al fine di attenuare le oscillazioni iniziali del livello piezometrico dinamico dovute all'effetto capacità del pozzo (nella fase di discesa) od al repentino innalzamento (nella fase di risalita).

L'elaborazione dei dati acquisiti fa riferimento alle espressioni di idrodinamica in regime transitorio stabilite da C.V. Theis – C.E. Jacob. La difficoltà nell'applicare le formule matematiche più idonee alla tipologia di pozzi utilizzati sta nel fatto che la teoria prende sempre come riferimento pozzi non dotati di portate spontanee, per cui la depressione piezometrica è provocata da un pompaggio meccanico che deprime la falda gradualmente nel tempo. Nei pozzi dotati di portata spontanea invece la depressione piezometrica al pozzo di prelievo è praticamente istantanea all'apertura del boccapozzo.

In base alle suindicate considerazioni i metodi di elaborazione utilizzati sono stati:

- metodo di Jacob (1950);
- metodo di Jacob – Lohman (1952);
- metodo di Hantush (1964).

Nei seguenti paragrafi si richiama la teoria su cui si fondano tali metodi. Per approfondimenti si rimanda alla bibliografia specifica.

#### 5.4.1 Metodo di Jacob

Rappresenta il metodo classico per l'elaborazione dei parametri idrodinamici in regime transitorio da prove di pompaggio. Le soluzioni di calcolo e di visualizzazione grafica dei dati acquisiti sono in funzione della metodologia di rilevamento dei dati; nel presente lavoro sono stati utilizzati:

- metodo curva degli abbassamenti;
- metodo curva della risalita.

##### *Metodo curva degli abbassamenti*

Tale metodo è applicabile quando il “sistema pozzo – piezometro” è completo e le misure della depressione piezometrica sono effettuate durante il pompaggio della falda, sia nel pozzo in emungimento sia sul piezometro.

Questo tipo di acquisizione è stata possibile in 3 “sistemi pozzi – piezometri” (pozzi n° 238-239; 283-284; 1089-1090).

In un grafico semilogaritmico (Cooper – Jacob) sono state riportate in ascissa logaritmica i tempi di acquisizione ed in ordinata lineare i livelli piezometrici

<sup>(6)</sup> Risultano in totale 18 e non 17 prove, perché sul pozzo 1089 è stata eseguita la prova sia su pozzo singolo, sia su configurazione “pozzo-piezometro”.

dinamici. La curva che si è ottenuta è stata interpolata e su tale interpolazione sono state eseguite le misure per il calcolo dei parametri idrodinamici.

#### Metodo curva della risalita

Tale metodo è applicabile al “sistema pozzo - piezometro” ed al solo pozzo di pompaggio. L’acquisizione dei dati nel primo caso è stata eseguita unicamente in 3 sistemi (pozzi n° 238-239; 283-284; 1089-1090), mentre nel secondo caso in 14 pozzi (pozzi n° 138, 220, 239, 252, 288, 478, 576, 682, 738, 777, 830, 912, 1090, 1114).

Il metodo consiste nel misurare nel tempo i livelli dinamici piezometrici durante la loro fase di risalita conseguente al cessato pompaggio. Le misure sono state eseguite sino al riequilibrio del livello statico pre-pompaggio.

In un grafico semilogaritmico (Cooper – Jacob) sono state riportate in ascissa logaritmica i tempi  $(t+t')/t'$  ( $t$  è la durata del pompaggio e  $t'$  è il tempo dall’inizio della risalita) ed in ordinata lineare i livelli piezometrici dinamici. La curva che si è ottenuta è stata interpolata tra i punti, e su tale interpolazione sono state eseguite le misure per il calcolo dei parametri idrodinamici.

#### Calcolo dei parametri idrodinamici

$$T = \text{trasmissività} = (0.183 Q) / C$$

Q = portata del pompaggio

C = pendenza della curva in un ciclo logaritmico

$$S = \text{coefficiente di immagazzinamento} = (2.25 T t_0) / x^2$$

T = trasmissività

$t_0$  = tempo fittizio

$x^2$  = distanza del piezometro dal pozzo di pompaggio

$$R = \text{raggio di influenza} = 1.5 ((Tt) / S)^{1/2} \quad (7)$$

T = trasmissività

t = durata del pompaggio

(7) Come verrà più ampiamente descritto in seguito, alcuni autori (Chiesa, 1997) ritengono sostanzialmente inutile l’applicazione di questa formula per il calcolo del raggio di influenza, anche se essa appare largamente utilizzata. Questo in quanto presuppone che la falda sia priva di gradiente; in una situazione quale quella qui analizzata, tale assunto appare effettivamente non realistico.

S = coefficiente di immagazzinamento

$$K = \text{permeabilità} = T / b$$

T = trasmissività

b = spessore dell’acquifero

#### 5.4.2 Metodo di Jacob – Lobman

Questo metodo si applica quando l’abbassamento della superficie piezometrica è stazionario nel tempo indipendentemente dalla durata del pompaggio.

Questa situazione si presenta quando la superficie piezometrica è sopra il piano campagna, cioè quando il pozzo è dotato di prevalenza e portata spontanea. In questo caso l’apertura del boccapozzo deprime molto rapidamente la superficie piezometrica che si stabilizza alla quota del boccapozzo stesso.

Questa è la situazione sempre presente nel Portogruarese.

Se la stabilizzazione della superficie piezometrica è molto rapida non altrettanto è per la portata massima che ne fuoriesce; pertanto tale metodo prevede la misura nel tempo delle portate sino al raggiungimento di un valore stabile.

Operativamente all’inizio della prova si misura il livello statico piezometrico della falda, poi aperta la boccapozzo (rappresenta il tempo 0 di inizio prova) si misurano le portate spontanee fino a che il valore non rimane costante nel tempo.

In un grafico semilogaritmico sono state riportate in ascissa logaritmica i tempi di acquisizione, mentre in ordinata lineare gli abbassamenti specifici così calcolati:

$$\text{abbassamento specifico} = s / Q$$

s = abbassamento piezometrico (è una costante) (differenza tra livello statico a pozzo chiuso e livello durante la fase di flusso)

Q = portata

La curva che si è ottenuta è stata interpolata tra i punti, e su tale interpolazione sono state eseguite le misure per il calcolo dei parametri idrodinamici.

#### Calcolo dei parametri idrodinamici

$$T = \text{trasmissività} = 0.183 / (\Delta (s / Q))$$

Q = portata del pompaggio

$\Delta (s / Q) =$  pendenza della retta in un ciclo logaritmico  
 5.4.3 *Metodo di Hantush*

Questo metodo è stato utilizzato per il calcolo della permeabilità (K) in pozzi incompleti.

Infatti, tutti i pozzi utilizzati per il calcolo dei parametri idrodinamici sono in realtà incompleti e non soddisfano una delle condizioni di calcolo delle espressioni idrodinamiche, quale l'acquifero completamente captato. Inoltre il calcolo della K, nota la T, prevede la conoscenza dello spessore (b) dell'acquifero, il quale, dalle fonti acquisite, a volte appare incerto ed impreciso.

Hantush ha previsto diversi metodi di elaborazione da dati acquisiti con o senza piezometro di riferimento. I calcoli eseguiti sono riferiti a pozzi singoli con livelli dinamici piezometrici misurati durante la fase di risalita successivamente al pompaggio della falda.

La raccolta dati è la stessa del metodo di Jacob per la curva in risalita.

L'elaborazione grafica prevede un grafico semilogaritmico in cui sono state riportate in ascissa logaritmica i tempi  $(t+t')/t'$  ( $t$  è la durata del pompaggio e  $t'$  è il tempo dall'inizio della risalita), mentre in ordinata lineare i livelli dinamici piezometrici. La curva che si è ottenuta è stata interpolata tra i punti, e su tale interpolazione sono state eseguite le misure per il calcolo dei parametri idrodinamici.

*Calcolo della permeabilità K*

$$K = [(C Q) / (L \Delta s)] \alpha$$

C = 0.183 solo pozzo in pompaggio, 0.092 piezometro

Q = portata del pompaggio

L = lunghezza parte filtrata dell'acquifero

$\Delta s$  = pendenza della retta interpolata

$\alpha$  = rappresenta un'equazione i cui parametri sono in funzione del tempo di pompaggio, del tempo di risalita, della lunghezza della parte filtrata, del raggio del pozzo o distanza del piezometro, della profondità del piezometro, dell'incastro della parte non filtrata nell'acquifero.

I calcoli eseguiti su 17 pozzi hanno richiesto l'adozione di alcuni parametri in parte non noti; in questo caso i valori utilizzati sono stati:

L = 6 m

incastro della parte non filtrata nell'acquifero (immorsamento) = 3 m

raggio del pozzo = 5 cm

## 5.5 PROVE IDROGEOLOGICHE IN POZZO: RISULTATI DELLE PROVE

### 5.5.1 Selezione dei punti di misura

Nella seguente tabella si riporta schematicamente il numero di prove di portata e di pompaggio eseguite per ciascuna delle 10 falde individuate.

Tabella 4 – *Prospetto riassuntivo del numero di prove eseguite su ciascuna falda.*

Falda	Prof. (m)	Prove di pompaggio	Prove di pozzo
Prima	10-20		
Seconda	35-55	1	
Terza	60-90		
Quarta	100-130	1	
Quinta	150-240	3	2
Sesta	250-315	4	4
Settima	320-380	3	3
Ottava	400-460		
Nona	480-540	3	3
Decima	580	2	2

Le indagini non sono state distribuite uniformemente su tutto il territorio, ma si sono privilegiate le falde di maggiore interesse. Conseguenzialmente non si sono eseguite prove sulla prima, la terza e la ottava falda, dal momento che risultano le meno significative da un punto di vista della risorsa idrogeologica.

In Figura 10 si riporta la distribuzione dei pozzi su cui si sono eseguite le prove di pozzo, mentre in Figura 11 si riporta la distribuzione dei pozzi su cui sono state eseguite le prove di pompaggio.

## 5.6 PROVE DI POZZO

Come notato al paragrafo 5.3, le prove di pozzo determinano le caratteristiche del complesso acquifero / opera di captazione e permettono di calcolare il valore della portata critica del pozzo.

Nel caso specifico le prove di pozzo sono state anche finalizzate alla definizione delle condizioni operative ottimali in cui operare nella successiva fase di esecuzione delle prove di pompaggio.

Sono state eseguite 13 prove di pozzo a gradini di portata.

I dati relativi alle prove di pozzo sono stati diagrammati nei seguenti grafici:

1. Portate – abbassamenti (“curva caratteristica”<sup>(8)</sup>)
2. Portate – abbassamenti specifici
3. Portate specifiche - abbassamenti

I diagrammi relativi a queste prove sono riportati nel lavoro completo. Qui di seguito si riportano alcuni dati generali risultanti dall’analisi dei diagrammi sperimentali:

1. i diagrammi portate-abbassamenti evidenziano quasi sempre rapporti di proporzionalità diretta. Solo in alcuni casi la parte finale della curva si presenta convessa. Ciò indica che nei pozzi analizzati, tutti a portata spontanea, raramente si raggiunge la portata critica ( $Q_c$ ) e quindi il flusso si mantiene di tipo laminare (tale ultimo elemento è di particolare importanza per l’interpretazione delle successive prove di pompaggio);
2. le curve portate – abbassamenti specifici mostrano frequentemente andamenti paralleli all’asse delle x; ciò indica che le perdite di carico, sia lineari (legate al flusso laminare), sia quadratiche

(legate al flusso turbolento), sono molto modeste confermando che il flusso si mantiene quasi sempre di tipo laminare;

3. infine il diagramma portate specifiche – abbassamenti, dà utili informazioni preliminari relativamente alla stima dei valori di trasmissività, in quanto all’aumentare dei valori di portata specifica si ha un aumento dei valori di trasmissività.

La seguente tabella riporta uno schema riassuntivo delle prove di pozzo eseguite.

Per ciascun punto di misura viene indicato il valore della portata specifica valutato sul gradino precedente il raggiungimento della portata critica o, nel caso questa non sia stata raggiunta, per la massima portata emungibile.

La relazione tra portata specifica e trasmissività verrà approfondita dopo aver esposto i risultati delle prove di pompaggio.

Tabella 5 - Prospetto riassuntivo delle prove di pozzo.

Pozzo n°	Prof. (m)	Prev. (m)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Qs (l/s/m)
830	213	1,57	0,00018	0,15
220	230	4,53	0,000083	0,02
727	250	0,82	0,00038	0,57
138	270	10,34	0,00187	0,24
576	296	2,33	0,000365	0,23
777	307	2,09	0,00071	0,44
825	331	0,64	0,00014	0,29
738	340	1,37	0,00023	0,20
912	340	1,74	0,00157	0,51
1115	487	7,3	0,0074	0,99
101	530	30	0,005	0,33
478	580	16,84	0,00733	0,87
1114	610	7,03	0,011	1,33

<sup>(8)</sup> A proposito delle prove di pozzo, Castany (1984), nel suo notissimo testo “Idrogeologia – principi e metodi”, ricorda che: “la curva caratteristica è un documento fondamentale. Eseguita al tempo del collaudo del pozzo, è una vera scheda di identificazione che deve figurare obbligatoriamente nel dossier dell’opera. Essa sarà utilizzata, ulteriormente, per rilevare i miglioramenti (sviluppi) o i peggioramenti (intasamenti), seguiti allo sfruttamento dell’opera (invecchiamento). Essa determina la portata massima di sfruttamento, funzione di un abbassamento massimo ammissibile.”

Figura 10 - Ubicazione dei punti su cui si sono realizzate le prove di pozzo, con indicata la falda di appartenenza.





## PROVE DI POZZO

### Legenda

- Localizzazione prova di pozzo con natura pozzo (in abito) o fidejussoria (in bianco)

Figura 11 - Ubicazione dei punti su cui si sono realizzate le prove di pompaggio, con indicata la falda di appartenenza.



## PROVE DI POMPAGGIO

### Legenda

- ▼ *Ubicazione prova di pompaggio con numero prova (in alto) e fidele di appartenenza (in basso)*



5.7 PROVE DI POMPAGGIO - SCHEMI RIASSUNTIVI DELLE PROVE IDROGEOLOGICHE ESEGUITE E ANALISI DEI RISULTATI

Nella seguente tabella si riportano i valori ricavati sperimentalmente dalle prove di pompaggio. Per una più facile lettura i dati di Trasmittività e di permeabilità vengono diagrammati nella figura 12.

Rimandando alla successiva analisi dei parametri falda per falda, da questi dati si può evidenziare che:

- i valori di trasmissività misurati da prove in risalita sono compresi tra 3.6E-05 e 6.1E-03 m<sup>2</sup>/s. Non si hanno differenze accentuate nei valori di trasmissività tra le varie falde. Fanno eccezione la seconda e la decima falda (dove si hanno anche maggiori valori di permeabilità) che risultano più trasmissive;
- i valori di permeabilità misurati da prove in risalita sono compresi tra 3.0E-06 e 7.7E-04 m<sup>2</sup>/s. Si tratta di valori di permeabilità che utilizzando le consuete tabelle di confronto possono essere classificati come da mediamente a molto permeabili. Va notato che nonostante il territorio sia particolarmente ricco di risorse idriche sotterranee i valori di permeabilità

non raggiungono mai valori particolarmente elevati. Si ricorda peraltro che tra permeabilità e velocità vi è un rapporto di proporzionalità diretta (?);

- le differenze di permeabilità tra le varie falde oggetto di prova non sono particolarmente accentuate. Si evidenzia invece una tendenza alla diminuzione della permeabilità spostandosi da Nord a Sud, anche se non particolarmente accentuata. La seconda e la decima falda si distinguono per valori di permeabilità superiori a quelli delle altre falde;
- il valore del Coefficiente di immagazzinamento (S) è stato ricavato solo su tre punti di misura, in quanto per la sua determinazione è necessaria una configurazione della prova con "pozzo e piezometro". Il valore misurato sulla seconda falda (35-55 m) si presenta nettamente superiore rispetto a quello misurato sulle falde profonde, ma data l'esiguità dei punti di misura non è possibile approfondire il tema;
- va notata la coincidenza sostanzialmente buona tra i risultati della misura della trasmissività ottenuta da diverse metodologie di prova (risalita, discesa, metodo di Lohman).

Tabella 6 - Prospetto riassuntivo delle prove di pompaggio.

Pozzo n°	Prof. (m)	Prev. (m)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	T (m <sup>2</sup> /s) (Lohman)	T (m <sup>2</sup> /s) (risalita)	T (m <sup>2</sup> /s) (discesa)	S	K (m/s) (Hantush)
284	50	0,88			5,8E-03	4,3E-03	1,3E-04	1,2E-04
288	130	2,92	0,000068	9,2E-05	3,6E-05			3,0E-06
682	170	2,02	0,000188	9,2E-04	3,4E-04			5,8E-05
830	213	1,57	0,000180		2,4E-04			4,0E-05
220	230	4,53	0,000083	1,4E-04	1,7E-04			2,8E-05
138	270	10,34	0,001870		5,7E-04			9,6E-05
576	296	2,33	0,000365	1,2E-04	5,9E-04			1,0E-04
252	300	4,03	0,000454	1,1E-03	1,2E-03			2,0E-04
777	307	2,09	0,000710		9,9E-04			8,5E-05
239	330	4,56	0,000178		1,0E-03	1,6E-03	1,0E-05	2,1E-05
738	340	1,37	0,000230		5,4E-05			4,8E-06
912	340	1,74	0,001570		1,1E-03			1,2E-04
1089	500	2,51	0,001250	7,6E-04	4,6E-04	3,8E-04	6,5E-06	
1090	500	3,16			3,5E-04			5,9E-05
1115	530	7,3	0,007400		4,5E-03	5,6E-03		
478	580	16,84	0,007330		6,1E-03			7,7E-04
1114	610	7,03	0,011000	2,3E-03	1,3E-03			3,4E-05
Massimo	610	16,84	0,011000	2,3E-03	6,1E-03	5,6E-03	1,3E-04	7,7E-04
Minimo	50	0,88	0,000068	9,2E-05	3,6E-05	3,8E-04	6,5E-06	3,0E-06
Media	335	4,42	0,002191733	7,8E-04	1,5E-03	3,0E-03	4,9E-05	1,2E-04

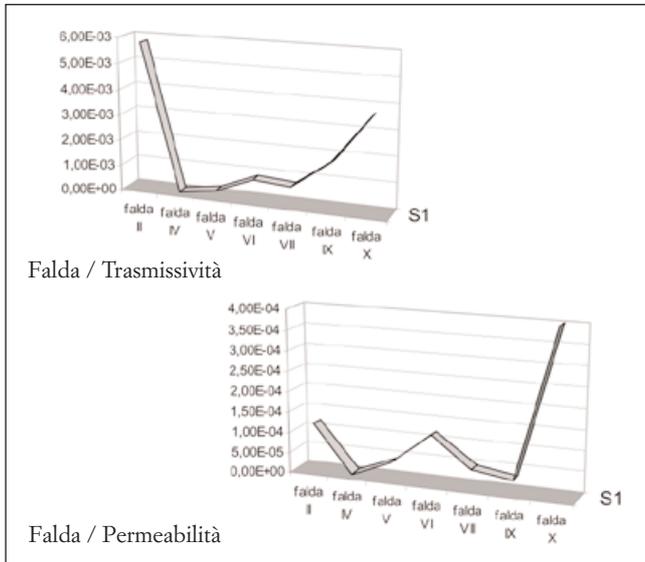


Figura 12 - Valore medio misurato di trasmissività e permeabilità per ciascuna falda.

## 5.8 RAGGIO DI INFLUENZA

### 5.8.1 Aspetti metodologici

Come esposto in precedenza, per definizione il raggio di influenza (R) corrisponde alla distanza dal pozzo di pompaggio oltre la quale gli abbassamenti del livello dinamico della falda idrica non sono più apprezzabili o sono nulli.

La determinazione di questo parametro idrodinamico diventa importante per poter valutare qualitativamente e/o quantitativamente l'interferenza che la depressione piezometrica provoca su vicine opere di captazione oltre all'impatto ambientale che si ha sul territorio e nel sottosuolo stesso.

Il calcolo analitico del raggio di influenza nel presente lavoro è stato eseguito sui pozzi utilizzati per le prove di pozzo e di pompaggio. I metodi di calcolo sono diversi in quanto si è voluto reciprocamente verificare l'attendibilità dei risultati in conseguenza della tipologia dei pozzi e delle caratteristiche idrogeologiche delle falde captate, anche perché nella letteratura idrogeologica vari autori hanno evidenziato la difficoltà di determinare correttamente questo parametro e che metodologie di calcolo differenti possono portare a risultati anche notevolmente diversi tra loro.

(\*) Va peraltro notato che relativamente al parametro velocità, su quest'area non sono ad oggi disponibili determinazioni sperimentali; il presente progetto, per ovvii motivi di priorità nell'acquisizione delle informazioni, non comprendeva la misura di questo parametro. Alcune stime di larga massima verranno svolte, sulla base dei valori di permeabilità e di gradiente idraulico, nei paragrafi successivi.

A questo proposito si ricorda che le trattazioni teoriche del comportamento idrodinamico degli acquiferi fanno riferimento a situazioni idrauliche non sempre soddisfatte nei pozzi utilizzati dall'indagine: bassi valori di portata di emungimento, ridotti diametri dei pozzi, prevalenza piezometrica anche notevole rispetto al piano campagna, tempi di emungimento ridotti. I metodi analitici di calcolo utilizzati sono i seguenti:

1. metodo di Jacob
2. metodo di Sichard
3. metodo di Bear
4. metodo di interpolazione

### 5.8.2 Metodo di Jacob

Tale metodo è utilizzato quando sono disponibili i parametri idrodinamici ricavati da una prova di pompaggio completa (misure eseguite sia nel pozzo di pompaggio che sul piezometro). La formula utilizzata è la seguente:

$$R = \text{raggio di influenza} = 1.5 ((Tt) / S)^{1/2}$$

T = trasmissività

t = durata del pompaggio

S = coefficiente di immagazzinamento

### 5.8.3 Metodo di Sichard

Questo metodo è utilizzato per quantificare indicativamente il raggio di influenza in assenza di misure dirette eseguite sul piezometro durante una prova di pompaggio (prova di pompaggio incompleta). La formula è la seguente:

$$R = \text{raggio di influenza} = 3000 s_o (K)^{1/2} = 575 s_o (T)^{1/2}$$

$s_o$  = abbassamento piezometrico

K = permeabilità

T = trasmissività

### 5.8.4 Metodo di Bear

Il metodo è utilizzabile quando è noto il gradiente idraulico della falda idrica (può essere misurato dalle carte piezometriche), e le misure della prova di pompaggio sono eseguite nel solo pozzo in emungimento. La formula è la seguente:

$$R = \text{raggio di influenza} = Q / (6.28 T i)$$

Q = portata di emungimento  
 T = trasmissività  
 i = gradiente idraulico della falda

### 5.8.5 Metodo di interpolazione

Questo “metodo”<sup>(10)</sup> elabora graficamente i dati disponibili degli abbassamenti piezometrici del pozzo in emungimento e del correlato piezometro, in una prova di pompaggio completa.

Nota la distanza tra pozzo e piezometro, e l’abbassamento relativo tra i due, si calcola la pendenza del raggio di influenza, estrapolando così la distanza in cui l’abbassamento relativo si azzera. Questo metodo è da un punto di vista dell’idraulica sotterranea improprio, poiché l’approssimazione di una retta di pendenza costante non trova riscontro reale. La teoria prevede una geometria parabolica del raggio d’influenza, con pendenze maggiori in prossimità del pozzo in emungimento, che diminuiscono allontanandosi dallo stesso. Il valore che si ricava dall’applicazione di questo metodo è quindi sottostimato, ma per la tipologia dei pozzi utilizzati nell’indagine le approssimazioni sono qualitativamente attendibili e comunque individuano le distanze in cui l’abbassamento piezometrico ha i valori più significativi.

### 5.8.6 Analisi dei dati

Di seguito è riportata la tabella in cui sono applicati i metodi sopra descritti.

La tabella dimostra come non vi sia una buona corrispondenza tra i metodi utilizzati, e ciò a dimostrazione che la verifica del raggio di influenza con metodi tradizionali andrebbe maggiormente approfondita su più punti misura, per meglio individuare le metodologie operative di acquisizione ed elaborazione dati più opportune.

Per le situazioni operative in cui si è lavorato, per le caratteristiche idrogeologiche delle falde idriche e per le finalità del presente lavoro, la verifica più logica ed attendibile (anche se indicativa) è rappresentata dal metodo d’interpolazione grafica, il quale si basa esclusivamente su dati misurati in campagna e che pur non fornendo il valore del raggio di influenza individua un valore minimo dello stesso (ovvero il raggio di influenza è maggiore del valore calcolato, anche se non è possibile dettagliare di quanto).

Va notato che nonostante le portate di prelievo ai

Tabella 7 - Calcolo del Raggio di influenza con quattro diverse metodologie.

Pozzo n°	Prof. (m)	R (m) (Sichard)	R (m) (Jacob)	R (m) (Bear)	R (m) (interp.)
284	50	25	878	8	51
288	130	9		153	
682	170	20		98	
830	213	11		457	
220	230	32		39	
138	270	133		261	
576	296	29		109	
252	300	73		68	
777	307	33		127	
239	330	73	1668	51	65
738	340	5		618	
912	340	28		214	
1089	500	26	1161	597	102
1090	500				
478	580	578		1742	
1114	610	136		12638	

pozzi di prova siano nel complesso modeste il valore del raggio di influenza è notevole. Ciò significa che pozzi che prelevano acqua in continuo dagli acquiferi (pozzi ad erogazione continua) possono causare depressurizzazioni della falda anche a distanze considerevoli dal punto di prelievo stesso. Si nota come questo sia un dato di estremo interesse per la gestione sia tecnica che amministrativa della risorsa.

## 5.9 RELAZIONE TRA PORTATA SPECIFICA E TRASMISSIVITÀ

### 5.9.1 Aspetti metodologici

La relazione intercorrente tra portata specifica ( $q_s$ ) e trasmissività (T) è un dato idrogeologico di particolare interesse pratico.

Infatti il valore della trasmissività è un dato fondamentale per la valutazione quantitativa delle risorse idriche sotterranee, nonché per la modellazione sia di flusso che di trasporto. Purtroppo la misura della trasmissività richiede l’esecuzione di prove in condizione operative che, nell’area indagata, non sempre si verificano<sup>(11)</sup>.

<sup>(10)</sup> Esso, concettualmente molto semplice, è stato appositamente pensato per stimare, in questa situazione idrogeologica, il raggio di influenza, data la difficoltà pratica di ottenere dei valori attendibili dalla applicazione delle consuete formule utilizzate in idrogeologia.

<sup>(11)</sup> Va peraltro notato che si tratta di un caso non limitato al Portogruarese, dove anzi è stato possibile applicare metodologie

Al contrario, la portata specifica è un dato che nelle falde confinate del Portogruarese è facilmente misurabile ogniqualvolta i pozzi dispongano di una portata spontanea anche limitata (indicativamente 1 l/s).

Una prima possibilità di stimare T da  $q_s$  deriva dal fatto che nel caso in cui siano valide le ipotesi di Dupuit, per una falda confinata, si ha:

$$T = 0,37 \log(R/r) q_s$$

dove:

R = raggio di influenza

r = raggio del pozzo

L'utilizzo di questa relazione è però resa complessa dal fatto che la determinazione del raggio di influenza presenta delle imprecisioni, in quanto le varie formulazioni esistenti, come evidenziato dalla letteratura idrogeologica, danno valori spesso molto diversi tra loro e spesso non è agevole ricavare il valore corretto (si veda a tale proposito: Chiesa, 1997).

Per il suo interesse applicativo, vari autori hanno affrontato il problema di stimare il valore di T dal valore di  $q_s$  in assenza di un numero sufficiente di misure del raggio di influenza (si veda ad es. Celico, 1988).

Nel seguito si valuterà la relazione tra T e  $q_s$  utilizzando tre diverse metodologie.

### 5.9.2 Metodologia 1

Il problema può essere affrontato partendo dal presupposto che, per aree idrogeologicamente omogenee, il termine  $0,37 \cdot \log(R/r)$  può essere considerato costante (C) e quindi:

$$T = C q_s$$

Il problema diviene quindi quello di stimare con margini di errore accettabili il valore della costante C.

quali quelle di Jacob-Lohman su pozzo singolo, spesso non applicabili in molte situazioni idrogeologiche.

Osserva infatti Di Molfetta (1992): "È indubbio che le prove di pompaggio pozzo-piezometro costituiscono la metodologia più affidabile e completa per la caratterizzazione di un acquifero: la loro interpretazione consente, infatti, di determinare la tipologia idraulica e i parametri idrodinamici della falda idrica oggetto del test. Sfortunatamente quando ci si pone l'obiettivo di caratterizzare un acquifero per simularne il comportamento idrodinamico mediante un modello matematico, ci si rende conto che il numero di prove di pompaggio realizzabili è sempre estremamente limitato ed insufficiente a consentire una caratterizzazione spaziale dei parametri idrodinamici e, in particolare, della trasmissività. In questi casi, un valido contributo può derivare dall'impiego delle correlazioni tra trasmissività e portata specifica dei pozzi esistenti, completati nell'acquifero oggetto di studio."

(<sup>12</sup>) Secondo Di Molfetta (1992), negli acquiferi confinati, R varia tra 200 e 10000 m, con valori più frequenti di 400 m. Quindi  $\ln R$  varia tra 5.3 e 9.2 con valori più frequenti di 6.0.

Logan (1964), nelle condizioni medie, considera che:

$$\log(R/r) = \sim 3,33$$

per cui:

$$T = \sim 1.22 q_s$$

Considerando un valore del Raggio di influenza, pari a 200 m si ottiene, per i pozzi sui quali si sono effettuate le prove:

$$T = 1.22 - 1.44 q_s \text{ (con valore medio pari a 1.37)}$$

Quest'ultima formulazione risulta però indicativa per le difficoltà, precedentemente evidenziate, insite nella determinazione del raggio di influenza.

### 5.9.3 Metodologia 2 (Di Molfetta, 1992)

Un'altra metodologia di notevole interesse risulta quella dell'utilizzo delle formulazioni basate sulla valutazione di quelli che sono i valori più comuni del Raggio di influenza(<sup>12</sup>) (Di Molfetta, 1992).

Considerando le consuete ipotesi di:

- a) validità della legge di Darcy;
- b) pozzo completo;
- c) conducibilità costante in tutta la formazione.

Per gli acquiferi confinati si ha che:

$$T = (0.95 - \ln r / 2\pi) \cdot q_s$$

da cui noti il raggio del pozzo (r) e la portata specifica ( $q_s$ ) è possibile stimare il valore della Trasmissività.

### 5.9.4 Metodologia 3

In presenza di un numero sufficiente di misure si può verificare la relazione che lega T a  $q_s$  diagrammando i valori di T e  $q_s$  su un grafico bi-logaritmico.

In Figura 13 si riportano i dati sperimentali di T e  $q_s$  per tutti i pozzi in cui sono state eseguite sia prove di pompaggio che prove di pozzo.

Eseguendo, come indicato da Celico (1988), una interpolazione lineare si ottiene la seguente relazione:

$$\log T = a \log q_s + b$$

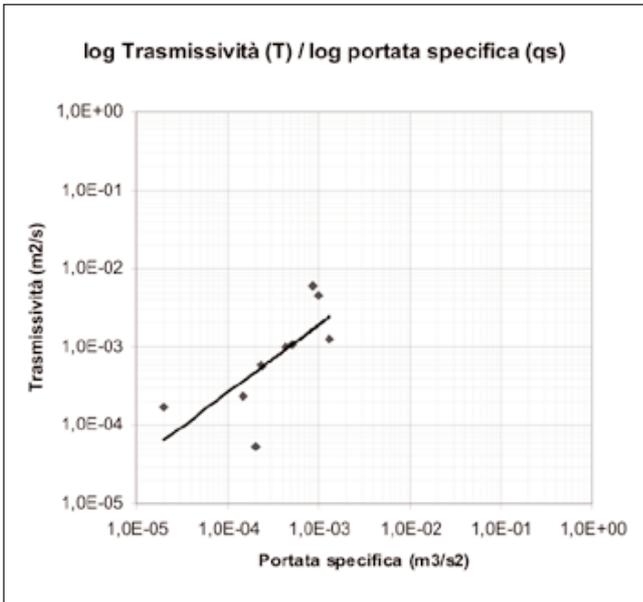
che nel caso specifico diviene:

$$\log T = 0.91 \log q_s + 4.0E-04$$

per cui conoscendo il valore di  $q_s$  si può empiricamente ricavare T.

Va notato che alcuni punti si trovano piuttosto discosti dalla retta di interpolazione. Quindi questa rela-

Figura 13 - Diagramma logaritmico per la determinazione della relazione tra trasmissività e portata specifica.



zione è approssimativa, in quanto andrebbe calcolata per singola falda e per aree di cui sia stata accertata sulla base di un congruo numero di stratigrafie una sufficiente omogeneità idrogeologica. Tuttavia essa può permettere una prima stima dei valori di trasmissività a partire da quelli della portata specifica. Future indagini potranno permettere un affinamento del metodo.

### 5.9.5 Analisi dei dati

A titolo di confronto si riportano i valori di trasmissività misurati sperimentalmente in parallelo a quelli ricavati con le formule discusse al paragrafo precedente.

Inoltre si riporta la stima del valore di trasmissività per quei pozzi in cui erano disponibili il valore di qs da prove di pozzo, ma non il valore di T da prove di pompaggio.

I dati sono riportati nella sottostante tabella.

L'analisi della tabella evidenzia come il valore della Trasmissività ottenuto dal valore della portata specifica (e quindi dalla prova di pozzo anziché dalla prova di pompaggio) risulti approssimativo, anche se spesso permette di ricavare abbastanza correttamente l'ordine di grandezza del valore della trasmissività stessa. Esso comunque è indubbiamente utile per una analisi preliminare delle potenzialità degli acquiferi, ma per un dato di maggior dettaglio è necessario ricavare il valore della trasmissività da apposite prove di pompaggio, come d'altronde fatto nel quadro del presente lavoro.

### 5.10 CARATTERIZZAZIONE PER SINGOLA FALDA

La distribuzione dei parametri considerati viene riportata nelle tavole 2, 3 e 4, poste fuori testo. Vengono riportate le cartografie realizzate per 6 dei 10 acquiferi individuati. Per i rimanenti acquiferi si

Tabella 8 - Prospetto di raffronto dei valori di trasmissività

Pozzo n°	Prof	Prev.	Qmax	T	T	Qs	r	T	T	T	T
(m)	(m)	(m³/s)	(Lobman)	(risalita)	(l/s/m)	(m)	(T= 1,22qs)	$T=0,37 \log(R/r) qs$	$T=(0,95lnr/2\pi) qs$	$\log T = 0,91 \log qs$	+4.0E-04
830	213	1,57	0,000180		2,4E-04	0,15	0,030	1,8E-04	2,6E-04	2,3E-04	3,3E-04
220	230	4,53	0,000083	1,4E-04	1,7E-04	0,02	0,025	2,4E-05	3,5E-05	3,1E-05	5,3E-05
727	250	0,82	0,000380			0,57	0,038	7,0E-04	9,9E-04	8,4E-04	1,1E-03
138	270	10,34	0,001870		5,7E-04	0,24	0,025	2,9E-04	4,2E-04	3,7E-04	5,1E-04
576	296	2,33	0,000365	1,2E-04	5,9E-04	0,23	0,029	2,8E-04	4,0E-04	3,5E-04	4,9E-04
777	307	2,09	0,000710		9,9E-04	0,44	0,029	5,4E-04	7,6E-04	6,7E-04	8,8E-04
825	331	0,64	0,000140			0,29	0,029	3,5E-04	5,0E-04	4,4E-04	6,0E-04
738	340	1,37	0,000230		5,4E-05	0,20	0,058	2,4E-04	3,5E-04	2,8E-04	4,3E-04
912	340	1,74	0,001570		1,1E-03	0,51	0,058	6,2E-04	8,8E-04	7,2E-04	1,0E-03
1115	487	7,3	0,007400		4,5E-03	0,99	0,100			1,3E-03	1,8E-03
101	530	30	0,005000			0,33	0,040	4,0E-04	5,7E-04	4,8E-04	6,8E-04
478	580	16,84	0,007330		6,1E-03	0,87	0,025	1,1E-03	1,5E-03	1,3E-03	1,6E-03
1114	610	7,03	0,011000	2,3E-03	1,3E-03	1,33	0,100	1,6E-03	2,3E-03	1,8E-03	2,4E-03

rimanda al lavoro completo disponibile presso il Consorzio di Bonifica e la Provincia di Venezia.

Il confronto dei dati contenuti in ciascuna cartografia permette di definire la disponibilità di acqua sotterranea sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo.

I parametri considerati in ciascuna tavola sono:

- prevalenza
- piezometria
- portata spontanea per pozzi da 2-3”
- trasmissività
- permeabilità
- temperatura
- conducibilità
- Ferro
- Ammoniaca

Per ciascun parametro, quando realizzabile, si è effettuata l'interpolazione dei dati attraverso un apposito

software. L'interpolazione utilizza come metodo il kriging. Va peraltro notato che, laddove localmente la densità dei dati è bassa (ciò avviene in particolare nella falde 3 e 4), l'interpolazione può presentare alcuni elementi poco compatibili con il sistema idrogeologico. Si è evitato di correggere queste “anomalie” e si è invece riportato su ciascuna interpolazione la localizzazione dei punti utilizzati, in modo che fossero subito evidenti le eventuali aree con limitata disponibilità di dati di partenza.

Relativamente ai dati di permeabilità e di trasmissività, ricavati dalle prove di pompaggio non si è, ovviamente, eseguita alcuna interpolazione e si riportano esclusivamente i dati puntuali.

Per ciascuna falda viene inoltre presentato uno schema di commento dei dati. Lo schema di commento riporta anche il parametro “portata specifica” che non viene riportato in cartografia, in quanto il numero di dati disponibili per questo parametro non era sufficiente a permetterne una corretta interpolazione.

### 5.10.1 Falda I (10-20 m)

#### Distribuzione della falda

Questo acquifero è presente a partire da 10 m di profondità dal p.c. sino alla profondità di 20 - 25 m. È prevalentemente sabbioso e generalmente continuo soprattutto nella zona centro-settentrionale dell'area; è eteropico con ghiaie nella zona centro-settentrionale (zona di Portogruaro).

Come evidenziato dalla Tavola 1 in vaste aree esso è

assente, oppure la sua eventuale presenza non è nota in quanto non sfruttato da pozzi.

La limitata estensione dell'acquifero, unitamente all'assenza di artesianità dei pozzi comporta che il numero di parametri di cui risulta cartografabile la distribuzione è nettamente ridotto rispetto alle altre falde.

#### Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.

(Riferimento: tavola non allegata)

Temperatura	A causa della modesta profondità, questa falda presenta valori di temperatura prossimi a quelli della temperatura media dell'aria. I valori misurati si mantengono sempre al di sotto dei 20°C.
Conducibilità elettrica	I valori di conducibilità si mantengono nel complesso elevati con valori costantemente al di sopra dei 700 µS/cm. Si ha un graduale aumento dei valori di conducibilità spostandosi da Nord a Sud. Nel complesso i valori di conducibilità evidenziano come questa falda (come si definirà più precisamente a proposito di altri parametri) abbia caratteristiche naturali che la fanno ricadere nella classe “0” del D.Lgs. 152/99 (“stato naturale particolare”).
Ammoniaca	Questo parametro evidenzia una distribuzione con valori che aumentano man mano che ci si sposta dal Tagliamento al Livenza. In una gran parte del territorio viene superato il “valore di parametro” (0.5 mg/l), previsto dal D.Lgs 31/2001. Nella parte più meridionale si registrano frequentemente valori superiori a 5 mg/l (ovvero superiori a quelli ammessi in alcuni scarichi!).
Ferro	Il ferro risulta presente in tenori normalmente ampiamente superiori al “valore di parametro” (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001, con l'eccezione di alcune aree ai

	marginati nord-orientali del territorio consortile.
Prevalenza sul piano campagna	Questa falda non presenta prevalenza rispetto al piano campagna.
Piezometria	I pozzi intercettanti questa falda sui quali è possibile effettuare misure piezometriche risultano in numero esiguo. Non è quindi stato possibile ricostruire l'andamento del campo di moto della falda.
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3"	i pozzi appartenenti a questa falda non risultano a portata spontanea; essi sono normalmente dotati di pompa aspirante.
Portata specifica	Per questa falda non è stato possibile valutare il valore della portata specifica.
Parametri idrogeologici	Su questa falda, dato il limitato interesse idrogeologico e data la limitata presenza di pozzi adatti alla realizzazione di prove di pompaggio, non si sono ricavati i parametri idrogeologici su alcun punto.
<i>Caratterizzazione complessiva</i>	<i>Si tratta di una falda di limitato interesse idrogeologico. Infatti è diffusa solo su parte del territorio indagato ed è in grado di fornire portate modeste. Le caratteristiche qualitative non sono buone, eccezion fatta per il margine nord-orientale del territorio. Ciononostante la falda risulta intercettata da un centinaio di pozzi, poiché data la modesta profondità è facilmente sfruttabile. Questi pozzi però sono quasi esclusivamente ad uso domestico e prelevano, con erogazione discontinua, quantità d'acqua modeste.</i>

### 5.10.2 Falda II (35-55 m)

#### *Distribuzione della falda*

È presente a partire da 30 - 40 m di profondità dal p.c. sino alla profondità di 50 - 55 m. È prevalentemente sabbiosa e presente praticamente quasi esclusivamente nella parte settentrionale del territorio indagato; infatti poco a valle del confine con la pro-

vincia di Pordenone l'acquifero si assottiglia fino a chiudersi. Si tratta di un acquifero che nell'area a monte, in provincia di Pordenone, acquista notevolissima importanza; è eteropico con ghiaie nella zona nord - orientale.

#### *Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.*

(Riferimento: tavola 2)

Temperatura	A causa della modesta profondità, questa falda presenta valori di temperatura prossimi a quelli della temperatura media dell'aria. I valori misurati si mantengono sempre al di sotto dei 20°C.
Conducibilità	I valori di conducibilità si mantengono nella maggior parte dell'area su valori attorno ai 400 elettrica $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Valore che risulta ottimale per molti utilizzi dell'acqua.
Ammoniaca	Questo parametro evidenzia una distribuzione con valori che aumentano man mano che ci si allontana dal Tagliamento. In varie parti del territorio viene superato il "valore di parametro" (0.5 mg/l), previsto dal D.Lgs. 31/2001.
Ferro	Il ferro risulta presente in tenori spesso superiori al "valore di parametro" (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001.
Prevalenza sul piano campagna	Questa falda presenta prevalenza rispetto al piano campagna piuttosto limitata. Essa si mantiene inferiore ai 2 metri in tutto il territorio in cui è presente questo acquifero. Va notato che questa modesta prevalenza è anche il risultato di un consistente sfruttamento che si protrae da diverse decine di anni sia in quest'area che nella limitrofa provincia di Pordenone.
Piezometria	L'analisi della piezometria evidenzia un campo di moto con direzioni di deflusso orientate da Nord verso Sud. Il gradiente idraulico risulta difficilmente valutabile in assenza di misure nella limitrofa provincia di Pordenone. Le misure disponibili indicano valori compresi tra 1 e 2 per mille.

	<p>Considerando una porosità efficace (<math>n_e</math>) del 20% ed il valore di permeabilità misurato al pozzo 284 si può ricavare una stima della velocità applicando la nota legge di Darcy: <math>v=Ki/n_e</math>.</p> <p>Risulta una valore di velocità di 28.4 m/giorno, che appare molto alto, in particolare considerando il carattere di confinamento della falda, e che per essere ritenuto valido andrebbe verificato con indagini specifiche.</p>
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3"	Senza l'ausilio di pompe, questa falda, con pozzi di piccolo diametro (2-3"), è in grado di erogare portate molto modeste (inferiori a 0.25 l/s). Ciò a causa della notevole depressurizzazione subita dalla falda stessa.
Portata specifica	Il valore della portata specifica (misurato speditivamente su 19 punti) è mediamente pari a 0.5 (l/s)/m. Non si è realizzata una cartografia della distribuzione di questo parametro in quanto i dati disponibili non erano sufficienti.
Parametri idrogeologici	<p>Per questa falda si sono ricavati i parametri idrogeologici su un unico punto: il pozzo 284, ubicato in comune di Teglio Veneto.</p> <p>Dalle elaborazioni delle prove svolte si sono ottenuti i seguenti valori:</p> <p><i>Trammissività</i> = <math>5.8 \cdot 10^{-3}</math> m<sup>2</sup>/s (prova in risalita)</p> <p><i>Trammissività</i> = <math>3.6 \cdot 10^{-3}</math> m<sup>2</sup>/s (prova in discesa)</p> <p><i>Permeabilità</i> = <math>3.0 \cdot 10^{-4}</math> m/s (metodo di Hantush)</p> <p><i>Spessore acquifero sul punto di prova</i>: stimato in circa 11 m</p> <p><i>Coefficiente di immagazzinamento</i>: <math>1.3 \cdot 10^{-4}</math></p>
Caratterizzazione complessiva	<p><i>Si tratta di una delle falde maggiormente interessate da pozzi (un centinaio nella limitata area in cui è presente) e sfruttata ormai da diverse decine di anni.</i></p> <p><i>Le caratteristiche qualitative sono ottime in alcune zone ai confini con la provincia di Pordenone. La qualità tende a peggiorare spostandosi da Nord verso Sud.</i></p> <p><i>Da un punto di vista quantitativo le portate spontanee erogabili sono piuttosto modeste (inferiori normalmente a 0.2 l/s con pozzi da 2-3"), ma comunque più che adeguate sia per gli usi domestici che per molti altri usi e la trammissività, misurata su un unico punto, è tra le più elevate tra quelle misurate in quest'area.</i></p>

### 5.10.3 Falda III (60-90 m)

#### Distribuzione della falda

È presente a partire da 60 - 70 m di profondità sino a 80 - 90 m. L'acquifero è prevalentemente sabbioso e generalmente discontinuo, soprattutto in senso E - W. Il numero di pozzi che intercettano questa falda è piuttosto limitato.

Nell'area occidentale dove il numero di pozzi è veramente esiguo si è considerato l'acquifero assente. Va però notato che l'assenza di pozzi in queste aree può essere legato più che alla assenza di un acquifero alla mancanza di artesianità delle falde e alla scarsa qualità della falda.

#### Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.

(Riferimento: tavola non allegata)

Temperatura	A causa della modesta profondità, questa falda presenta valori di temperatura di poco superiori a quelli della temperatura media dell'aria. I valori misurati si mantengono sempre al di sotto dei 20°C
Conducibilità elettrica	I valori di conducibilità presentano un progressivo aumento dei valori spostandosi da Nord verso Sud. I valori sono compresi tra i 300-400 $\mu$ S/cm e i 1500 $\mu$ S/cm
Ammoniaca	Questo parametro evidenzia una distribuzione con valori che aumentano man mano che ci si sposta dal Tagliamento al Livenza. In una gran parte del territorio viene superato il "valore di parametro" (0.5 mg/l), previsto dal D.Lgs 31/2001 e avvicinandosi al Livenza anche in modo notevole. Ai margini occidentali infatti si registrano frequentemente valori superiori a 5 mg/l (ovvero superiori a quelli ammessi in alcuni scarichi!)

Ferro	Il ferro risulta presente in tenori spesso inferiori al “valore di parametro” (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001. Nel complesso la distribuzione di questo parametro non evidenzia particolari trend, per cui le anomalie nelle concentrazioni determinate in alcune limitate zone sono presumibilmente da ascrivere a situazioni geologiche locali.
Prevalenza sul piano campagna	Questa falda presenta prevalenza rispetto al piano campagna piuttosto limitata. Essa si mantiene compresa tra 0 e 1 metri in molta parte del territorio.
Piezometria	L'analisi della piezometria evidenzia un campo di moto della falda con direzioni di deflusso orientate da Nord verso Sud. A causa del limitato numero di punti di misura non è possibile dettagliare l'andamento della piezometria e neppure valutare il gradiente idraulico.
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3”	Senza l'ausilio di pompe, questa falda, con pozzi di piccolo diametro (2-3”), è in grado di erogare portate modeste (in genere inferiori a 0.1 l/s). Il numero limitato di punti di misura disponibili non ha permesso di cartografare questo parametro.
Portata specifica	Il valore della portata specifica (misurato speditivamente su 8 punti) è mediamente pari a 0.1 (l/s)/m.
Parametri idrogeologici	Su questa falda, di modesto interesse idrogeologico, non si sono svolte prove su pozzo
<i>Caratterizzazione complessiva</i>	<i>Si tratta di una delle falde di minore interesse idrogeologico dell'area. Ciò si ripercuote sul basso numero di pozzi che interessano la falda stessa. La falda presenta caratteristiche qualitative non buone. La qualità tende nettamente a peggiorare spostandosi da Nord verso Sud e da Est verso Ovest; tanto che nei pressi del Livenza le caratteristiche qualitative risultano non idonee non solo al consumo umano ma anche ad altri usi. Da un punto di vista quantitativo la falda presenta portate spontanee erogabili piuttosto modeste (inferiori normalmente a 0.1 l/s con pozzi da 2-3”).</i>

#### 5.10.4 Falda IV (100-130 m)

##### *Distribuzione della falda*

È presente a partire da 110 - 120 m di profondità sino a 130 - 135 m. Questo acquifero è prevalentemente sabbioso e generalmente discontinuo, ma talvolta eteropico con ghiaie nella zona settentrionale. Nella zona meridionale il suo riconoscimento risulta difficoltoso. Nella parte occidentale è probabilmente assente (in quest'ultima parte di territorio non si è effettuata la mappatura dei parametri).

##### *Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.*

(Riferimento: tavola non allegata)

Temperatura	Questa falda presenta valori di temperatura di poco superiori a quelli della temperatura media dell'aria. I valori misurati si mantengono sempre al di sotto dei 20°C
Conducibilità elettrica	I valori di conducibilità variano indicativamente tra i 300 e i 700 µS/cm, con un graduale aumento dei valori di conducibilità spostandosi da Nord verso Sud
Ammoniaca	Questo parametro evidenzia una distribuzione con valori che aumentano man mano che ci si sposta da Nord a Sud. In una gran parte del territorio viene superato il “valore di parametro” (0.5 mg/l), previsto dal D.Lgs 31/2001 e avvicinandosi al Livenza anche in modo notevole
Ferro	Il ferro risulta presente in tenori normalmente inferiori al “valore di parametro” (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001, con l'eccezione della parte centrale Nel complesso la distribuzione di questo parametro non evidenzia particolari trend
Prevalenza sul piano campagna	Questa falda presenta prevalenza rispetto al piano campagna che diminuisce via via che ci si allontana dal Tagliamento; ai margini nord-orientali dell'area la prevalenza aumenta superando, normalmente, il valore di 2 metri

Piezometria	L'analisi della piezometria evidenzia un campo di moto della falda con direzioni di deflusso orientate da Nord-Est verso Sud-Ovest. Nei pressi del Fiume Tagliamento si ha una leggera inflessione delle isopieze verso valle. Non è possibile definire in dettaglio l'andamento della piezometria a causa del numero di punti di misura disponibili piuttosto limitato e neppure valutare il gradiente idraulico
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3"	Senza l'ausilio di pompe, questa falda, con pozzi di piccolo diametro (2-3"), è in grado di erogare portate modeste (in genere inferiori a 0.2 l/s).
Portata specifica	Il valore della portata specifica (misurato speditivamente su 10 punti) raggiunge al massimo 0.5 (l/s)/m. I dati disponibili mostrano una tendenza all'incremento della portata specifica spostandosi da Nord a Sud. Tale dato però andrebbe meglio verificato con un cospicuo numero di prove di pozzo
Parametri idrogeologici	su questa falda si sono ricavati i parametri idrogeologici su un unico punto: il pozzo 288, ubicato in comune di Teglio Veneto. Dalle elaborazioni delle prove svolte si sono ottenuti i seguenti valori: Trammissività = $3.6 \cdot 10^{-5}$ m <sup>2</sup> /s (prova in risalita) Trammissività = $9.2 \cdot 10^{-5}$ m <sup>2</sup> /s (metodo di Lohman) Permeabilità = $3.0 \cdot 10^{-6}$ m/s (metodo di Hantush) Spessore acquifero sul punto di prova: stimato in circa 9 m L'unica prova eseguita peraltro conferma le caratteristiche quantitative (bassa permeabilità) piuttosto modeste di questa falda
Caratterizzazione complessiva	<i>Si tratta di una falda interessata da un numero di pozzi modesto (circa 30). La falda presenta caratteristiche qualitative nel complesso scarse. La qualità tende nettamente a peggiorare spostandosi da Nord verso Sud e da Est verso Ovest. Da un punto di vista quantitativo la falda presenta valori di trammissività e di permeabilità che risultano tra i più bassi tra quelli misurati in tutte le prove eseguite (va precisato però che su questa falda è disponibile un'unica prova). Le portate spontanee erogabili sono modeste (inferiori normalmente a 0.2 l/s con pozzi da 2-3") ma comunque adeguate per usi domestici</i>

#### 5.10.5 Falda V (150-240 m)

##### Distribuzione della falda

È presente a partire da 150 - 160 m di profondità sino a 220 - 240 m. Questo acquifero è prevalentemente sabbioso e generalmente continuo su tutta l'area con marcate eteropie di ghiaie nella zona settentrionale. Lo spessore maggiore dell'acquifero si rileva nella zona centrale.

##### Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.

(Riferimento: tavola 2)

Temperatura	Questa falda risente dell'effetto dell'anomalia termica localizzata al confine tra Veneto e Friuli Venezia Giulia. Di conseguenza le temperature si mantengono tra i 15 e i 20 °C in gran parte del territorio, per salire, in coincidenza con l'area termale, a valori anche superiori ai 25 °C
Conducibilità elettrica	I valori di conducibilità si mantengono nella maggior parte dell'area attorno ai 400 µS/cm. Valore che risulta ottimale per molti utilizzi dell'acqua. Si ha un graduale aumento dei valori di conducibilità spostandosi da Nord-Est verso Sud-Ovest. Ai limiti dell'area in coincidenza con il fiume Livenza si ha un netto incremento dei valori di conducibilità. Come già visto per altre falde, anche la V falda, per motivi geologico-strutturali, è caratterizzata da un netto cambio/chiusura all'altezza del Livenza, che si manifesta con un netto peggioramento delle caratteristiche qualitative naturali.

	Da sottolineare poi la presenza di un'area, nella parte centro meridionale del territorio, caratterizzata da acque con conducibilità elevata (oltre 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Anche se, con i dati geologico-stratigrafici attualmente disponibili, risulta difficile dettagliare i motivi di tale anomalia, essa appare in evidente relazione con la presenza dell'anomalia termica
Ammoniaca	Questo parametro evidenzia una distribuzione con valori che aumentano man mano che ci si sposta dal Tagliamento al Livenza. In una gran parte del territorio viene superato il "valore di parametro" (0.5 mg/l), previsto dal D.Lgs 31/2001 e avvicinandosi al Livenza anche in modo notevole. Ai margini occidentali infatti si registrano frequentemente valori superiori a 5 mg/l (ovvero superiori a quelli ammessi in alcuni scarichi!)
Ferro	Il ferro risulta presente in tenori normalmente inferiori al "valore di parametro" (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001, con l'eccezione di alcune aree concentrate nei comuni di Gruaro, Teglio Veneto, Fossalta di Portogruaro e Concordia Sagittaria. Nel complesso la distribuzione di questo parametro non evidenzia particolari trend, per cui le anomalie nelle concentrazioni, determinate in alcune limitate zone, sono presumibilmente da ascrivere a situazioni geologiche locali
Prevalenza sul piano campagna	Questa falda presenta prevalenza rispetto al piano campagna piuttosto modesta. Essa si mantiene compresa tra 0 e 1 metri in molta parte del territorio. Ai margini nord-orientali dell'area la prevalenza aumenta, superando, al confine con la provincia di Pordenone, i 7 metri
Piezometria	L'analisi della piezometria evidenzia chiaramente un campo di moto della falda con direzioni di deflusso orientate da Nord verso Sud. Solo verso il Fiume Tagliamento si ha una leggera inflessione delle isopieze verso valle. Non si evidenziano depressioni piezometriche localizzate. Il gradiente idraulico è nettamente più elevato nella parte più settentrionale dove raggiunge i valori massimi del 4 per mille (al margine Nord-Est) e via via decresce attestandosi su valori medi intorno allo 0.6 per mille.
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3"	Senza l'ausilio di pompe, questa falda, con pozzi di piccolo diametro (2-3"), è in grado di erogare portate modeste (in genere inferiori a 0.25 l/s). Solo in alcune zone poste ai confini con la provincia di Pordenone le portate spontanee si incrementano superando anche il valore di un litro/secondo.
Portata specifica	Il valore della portata specifica (misurato speditivamente su 84 punti) raggiunge al massimo 0.6 (l/s)/m. I dati disponibili mostrano una tendenza all'incremento della portata specifica spostandosi da Nord-Est a Sud-Ovest. Tale dato non è chiaramente interpretabile con i dati a disposizione e andrebbe meglio verificato con un cospicuo numero di prove di pozzo e di pompaggio.
Parametri idrogeologici	Su questa falda si sono ricavati i parametri idrogeologici su tre punti: i pozzi 682 – 830 – 220. Sono state inoltre eseguite 2 prove di pozzo. Dalle elaborazioni delle prove svolte si sono ottenuti i seguenti valori: <i>Trammissività</i> = $1.7 \cdot 10^{-4}$ – $3.4 \cdot 10^{-4}$ $\text{m}^2/\text{s}$ ( <i>prove in risalita</i> ) <i>Trammissività</i> = $1.4 \cdot 10^{-4}$ – $9.2 \cdot 10^{-4}$ $\text{m}^2/\text{s}$ ( <i>metodo di Lohman</i> ) <i>Permeabilità</i> = $2.8 \cdot 10^{-5}$ – $5.8 \cdot 10^{-5}$ $\text{m}/\text{s}$ ( <i>metodo di Hantush</i> ) <i>Spessore acquifero sui punti di prova: stimato tra i 5 e i 7 m</i> Considerando una porosità efficace ( $n_e$ ) del 20% ed il valore di permeabilità medio ricavato dalle prove di pompaggio, si può ricavare una stima della velocità applicando la nota legge di Darcy $v = Ki/n_e$ Risulta una velocità, che considerando un gradiente variabile tra 0.6 e 4.0 per mille, varia tra 4.0 e 26.5 m/giorno, che per essere ritenuto valido andrebbe verificato con indagini specifiche. Non si sono, al momento, ricavati valori del coefficiente di immagazzinamento Le prove di pozzo eseguite sui pozzi 220 e 830 evidenziano in entrambi casi flussi completamente laminari.

<i>Caratterizzazione complessiva</i>	<p><i>Si tratta di una delle falde maggiormente interessate da pozzi (330) e sfruttata ormai da numerosi anni.</i></p> <p><i>La falda presenta caratteristiche qualitative localmente anche ottime, in alcune zone ai confini con la provincia di Pordenone. La qualità tende nettamente a peggiorare spostandosi da Nord verso Sud ma soprattutto da Est verso Ovest, tanto che nei pressi del Livenza le caratteristiche qualitative risultano non idonee non solo al consumo umano ma anche ad altri usi.</i></p> <p><i>Da un punto di vista quantitativo la falda presenta portate spontanee erogabili piuttosto modeste (inferiori normalmente a 0.25 l/s con pozzi da 2-3”), ma comunque più che adeguate sia per gli usi domestici che per molti altri usi.</i></p>
--------------------------------------	--

#### 5.10.6 Falda VI (250-315 m)

##### *Distribuzione della falda*

È presente a partire da 150 - 160 m di profondità sino a 220 - 240 m. Questo acquifero è prevalentemente sabbioso e generalmente continuo su tutta l'area con marcate eteropie di ghiaie nella zona settentrionale. Lo spessore maggiore dell'acquifero si rileva nella zona centrale.

##### *Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.*

(Riferimento: tavola 3)

Temperatura	Questa falda risente dell'effetto dell'anomalia termica localizzata al confine tra Veneto e Friuli Venezia Giulia. Di conseguenza le temperature si mantengono tra i 15 e i 20 °C in gran parte del territorio, per salire, in coincidenza con l'area termale, a valori anche superiori ai 25 °C.
Conducibilità elettrica	<p>I valori di conducibilità si mantengono nella maggior parte dell'area attorno ai 400 µS/cm. Valore che risulta ottimale per molti utilizzi dell'acqua.</p> <p>Si ha un graduale aumento dei valori di conducibilità spostandosi da Nord-Est verso Sud-Ovest. Ai limiti dell'area in coincidenza con il fiume Livenza si ha un netto incremento dei valori di conducibilità.</p> <p>Come già visto per altre falde anche per la VI falda, per motivi geologici strutturali, è caratterizzata da un netto cambio/chiusura all'altezza del Livenza che si manifesta con un netto peggioramento delle caratteristiche qualitative naturali.</p> <p>Da sottolineare poi la presenza di un'area (vista anche per la falda V), nella parte centro meridionale del territorio, caratterizzata da acque con conducibilità elevata (oltre 1000 µS/cm). Anche se con i dati geologico-stratigrafici attualmente disponibili risulta difficile dettagliare i motivi di tale anomalia, essa appare in evidente relazione con la presenza dell'anomalia termica.</p>
Ammoniaca	Questo parametro evidenzia una distribuzione con valori che aumentano man mano che ci si sposta dal Tagliamento al Livenza. In una gran parte del territorio viene superato il "valore di parametro" (0.5 mg/l), previsto dal D.Lgs 31/2001 e avvicinandosi al Livenza anche in modo notevole. Ai margini occidentali infatti si registrano frequentemente valori superiori a 5 mg/l (ovvero superiori a quelli ammessi in alcuni scarichi!)
Ferro	Il ferro risulta presente in tenori normalmente inferiori al "valore di parametro" (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001, con l'eccezione di alcune aree di limitata estensione. Nel complesso la distribuzione di questo parametro non evidenzia particolari trend, per cui le anomalie nelle concentrazioni determinate in alcune limitate zone sono presumibilmente da ascrivere a situazioni geologiche locali.
Prevalenza sul piano campagna	Questa falda presenta prevalenza elevata ai margini nord-orientale, che poi progressivamente si riduce fino ad annullarsi.
Piezometria	L'analisi della piezometria evidenzia chiaramente un campo di moto della falda con direzioni di deflusso orientate da Nord verso Sud. Verso il Fiume Tagliamento si ha

	<p>una leggera inflessione delle isopieze verso valle. Si evidenziano inoltre due assi di drenaggio con direzione circa Nord-Sud.</p> <p>Il gradiente idraulico è più elevato ai margini Nord-Est dell'area indagata e presenta valori medi pari allo 0.12 per mille. Nella zona centro meridionale i gradienti tendono ad annullarsi.</p>
Portata specifica	<p>La portata specifica (misurata speditivamente su 19 punti) raggiunge massimi valori di 0.9 (l/s)/m. I dati disponibili mostrano una variabilità piuttosto irregolare del dato che però andrebbe meglio verificato con un cospicuo numero di prove di pozzo<sup>(13)</sup>.</p>
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3"	<p>Senza l'ausilio di pompe, questa falda, con pozzi di piccolo diametro (2-3"), è in grado di erogare portate pari a circa 0.25 l/s.</p>
Parametri idrogeologici	<p>Su questa falda si sono ricavati i parametri idrogeologici su quattro punti: i pozzi 138 – 252 – 576 – 777. Sono state inoltre eseguite 4 prove di pozzo.</p> <p>Dalle elaborazioni delle prove svolte si sono ottenuti i seguenti valori:</p> <p><i>Trasmittività</i> = <math>1.2 \cdot 10^{-3}</math> – <math>9.9 \cdot 10^{-4}</math> m<sup>2</sup>/s (prove in risalita)</p> <p><i>Trasmittività</i> = <math>1.1 \cdot 10^{-3}</math> – <math>1.2 \cdot 10^{-4}</math> m<sup>2</sup>/s (metodo di Lohman)</p> <p><i>Permeabilità</i> = <math>1.0 \cdot 10^{-4}</math> – <math>9.6 \cdot 10^{-5}</math> m/s (metodo di Hantush)</p> <p><i>Spessore acquifero sui punti di prova</i>: estremamente variabile</p> <p>Considerando una porosità efficace (<math>n_e</math>) del 20% ed il valore di permeabilità medio ricavato dalle prove di pompaggio si può ricavare una stima della velocità applicando la nota legge di Darcy</p> $v = Ki/n_e$ <p>Risulta una velocità, che considerando un gradiente variabile tra 0.6 e 4.0 per mille varia tra 16.7 e 37.8 m/giorno, che per essere ritenuta valida andrebbe verificata con indagini specifiche <sup>(14)</sup>.</p> <p>Non si sono, al momento, ricavati valori del coefficiente di immagazzinamento.</p> <p>Le prove di pozzo evidenziano al pozzo 138 (in comune di Gruaro) il raggiungimento della portata critica con una portata di circa 1.2 l/s, mentre per gli altri pozzi testati non viene raggiunta la portata critica.</p> <p>La portata specifica, misurata con prove in pozzo, varia tra 0.23 e 0.57 (l/s)/m.</p>
Caratterizzazione complessiva	<p><i>Si tratta di una falda interessata da un numero consistente di pozzi (130) e sfruttata ormai da numerosi anni.</i></p> <p><i>La falda presenta caratteristiche qualitative localmente anche ottime, in alcune zone ai confini con la provincia di Pordenone. La qualità tende nettamente a peggiorare spostandosi da Nord verso Sud ma soprattutto da Est verso Ovest; tanto che nei pressi del Livenza le caratteristiche qualitative risultano non idonee non solo al consumo umano ma anche ad altri usi.</i></p> <p><i>Da un punto di vista quantitativo la falda presenta portate spontanee erogabili piuttosto modeste (inferiori normalmente a 0.25 l/s con pozzi da 2-3"), ma comunque più che adeguate sia per gli usi domestici che per molti altri usi. I valori di trasmissività si mantengono su valori medi rispetto a quelli misurati su tutte le falde. Di conseguenza le limitate portate spontanee sono legate più ai bassi di valori prevalenza che alla bassa trasmissività.</i></p>

<sup>(13)</sup> Va notato che la stima della portata specifica potrebbe essere falsata dal fatto che essa è stata misurata su pozzi a portata spontanea ma con prevalenza alquanto limitata (1-2 m), in particolare nella parte centro-meridionale.

<sup>(14)</sup> Il valore appare piuttosto elevato, in particolare considerato il carattere di confinamento della falda.

### 5.10.7 Falda VII (320-380 m)

#### Distribuzione della falda

È presente a partire da 300 - 310 m di profondità sino a 350 - 380 m. Questo acquifero è prevalentemente sabbioso e generalmente continuo su tutta l'area, anche se nella parte più meridionale del territorio indagato, il numero di pozzi esistenti è piuttosto esiguo.

*Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.*

(Riferimento: tavola 3)

Temperatura	Questa falda risente dell'effetto dell'anomalia termica localizzata al confine tra Veneto e Friuli Venezia Giulia. Le temperature tendono ad incrementarsi spostandosi verso Sud, superando i 25°C nell'area termale.
Conducibilità elettrica	La conducibilità si mantiene nella maggior parte dell'area su valori attorno ai 400 µS/cm. Valore che risulta ottimale per molti utilizzi dell'acqua. Si ha un graduale aumento dei valori di conducibilità spostandosi da Nord-Est verso Sud-Ovest. Ai limiti dell'area in coincidenza con il fiume Livenza si ha un incremento dei valori di conducibilità. Come già visto per altre falde anche per la VII falda, per motivi geologici strutturali, si ha un netto cambio/chiusura all'altezza del Livenza che si manifesta con un netto peggioramento delle caratteristiche qualitative naturali.
Ammoniaca	Questo parametro evidenzia una distribuzione con valori che aumentano man mano che ci si sposta dal Tagliamento al Livenza. In tutto il territorio viene superato il "valore di parametro" (0.5 mg/l), previsto dal D.Lgs 31/2001 e, avvicinandosi al Livenza, anche in modo notevole. Ai margini occidentali infatti si registrano frequentemente valori superiori a 5 mg/l (ovvero superiori a quelli ammessi in alcuni scarichi!).
Ferro	Il ferro risulta presente in tenori normalmente inferiori al "valore di parametro" (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001, con l'eccezione di alcune aree di limitata estensione. Nel complesso la distribuzione di questo parametro non evidenzia particolari trend, per cui le anomalie nelle concentrazioni determinate in alcune limitate zone sono presumibilmente da ascrivere a situazioni geologiche locali.
Prevalenza sul piano campagna	Questa falda presenta prevalenza elevata ai margini nord-orientale e meridionali dell'area, mentre l'intera area centrale appare con una prevalenza nulla.
Piezometria	L'analisi del campo di moto evidenzia un'ampia depressione piezometrica nell'intera area centrale. Le cause con i dati geologici attualmente disponibili non sono determinabili. I gradienti risultano mediamente pari allo 0.15 per mille e sono maggiori ai margini settentrionali dell'area. Considerando una porosità efficace ( $n_e$ ) del 20% ed i valori di permeabilità massimi e minimi ricavati dalle prove di pompaggio, si può ricavare una stima della velocità applicando la nota legge di Darcy: $v = Ki/n_e$ Risulta una velocità, che considerando il gradiente medio di 1.5 per mille e i valori massimi e minimi di permeabilità misurati, varia tra 1.1 e 28.4 m/giorno; ovviamente una più significativa misura delle velocità necessiterebbe di indagini specifiche
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3" Portata specifica	Senza l'ausilio di pompe, questa falda, con pozzi di piccolo diametro (2-3"), è in grado di erogare portate pari a circa 0.25 l/s. Il valore della portata specifica è stato valutato speditivamente su 19 punti (su questa falda sono disponibili inoltre 3 prove di pozzo) e raggiunge massimi valori di 0.9 (l/s)/m. I dati disponibili mostrano una tendenza all'incremento della portata specifica spostandosi da Nord a Sud. Tale dato, che potrebbe essere influenzato dalla bassa prevalenza che si ha in alcune parti del territorio, però andrebbe meglio verificato con un numero più cospicuo di prove di pozzo.

Parametri idrogeologici	<p>Su questa falda si sono ricavati i parametri idrogeologici su tre punti: i pozzi 239-738-777, la prova sul pozzo 239 è stata eseguita con configurazione “pozzo e piezometro”. Sugli stessi pozzi sono inoltre state eseguite 3 prove di pozzo.</p> <p>Dalle elaborazioni delle prove svolte si sono ottenuti i seguenti valori:  <i>Trasmittività</i> = <math>1.0 \cdot 10^{-3} - 5.5 \cdot 10^{-5}</math> m<sup>2</sup>/s (prove in risalita)  <i>Trasmittività</i> = <math>1.6 \cdot 10^{-3}</math> m<sup>2</sup>/s (prova in discesa Lohman)  <i>Permeabilità</i> = <math>1.2 \cdot 10^{-4} - 4.8 \cdot 10^{-6}</math> m/s (metodo di Hantush)  <i>Spessore acquifero sui punti di prova</i>: 10-15 m  <i>Coefficiente di immagazzinamento</i>: <math>6.0 \cdot 10^{-6}</math></p> <p>Le prove di pozzo danno valori di portate specifiche comprese tra 0.20 e 0.51 (l/s)/m</p>
Caratterizzazione complessiva	<p><i>Si tratta di una falda interessata da un centinaio di pozzi e sfruttata ormai da numerosi anni.</i></p> <p><i>La falda presenta caratteristiche qualitative caratterizzate da un generale eccesso di presenza di ammoniaca. La qualità tende nettamente a peggiorare spostandosi da Nord verso Sud ma soprattutto da Est verso Ovest; tanto che nei pressi del Livenza le caratteristiche qualitative risultano non idonee non solo al consumo umano ma anche ad altri usi. Nei pressi del Livenza una prova di pompaggio segnala un netto decremento dei valori di trasmittività.</i></p> <p><i>Da un punto di vista quantitativo la falda presenta portate spontanee erogabili di circa 0.25 l/s con pozzi da 2-3”, comunque più che adeguate sia per gli usi domestici che per molti altri usi. Le interessanti potenzialità di questa falda sono evidenziate dalle misure della trasmittività. Su questa falda infatti si sono registrati valori che per il Portogruarese risultano piuttosto elevati (<math>1.0E-0.3</math> m<sup>2</sup>/s)</i></p>

#### 5.10.8 Falda VIII (400-460 m)

##### Distribuzione della falda

È presente a partire da 400 - 410 m di profondità sino a 460 m. Questo acquifero è prevalentemente sabbioso. È difficile determinare la continuità dell'acquifero, a causa del limitato numero di stratigrafie disponibili, anche se i dati sulle profondità dei pozzi censiti confermano la sua estensione sull'intera area. Va peraltro notato che i pozzi intercettanti questa falda sono piuttosto pochi (una trentina) e quindi le zonazioni effettuate sono considerevolmente migliorabili nel momento in cui saranno disponibili un maggior numero di punti di misura.

##### Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.

(Riferimento: tavola non allegata)

Temperatura	<p>Questa falda risente dell'effetto dell'anomalia termica localizzata al confine tra Veneto e Friuli Venezia Giulia.</p> <p>Nell'area termale le temperature superano anche i 45 °C</p>
Conducibilità elettrica	<p>I valori di conducibilità si mantengono nella maggior parte dell'area su valori attorno ai 400-500 µS/cm. Valore che risulta ottimale per molti utilizzi dell'acqua.</p> <p>Si ha un netto aumento dei valori di conducibilità in coincidenza dell'area termale.</p>
Ammoniaca	<p>Questo parametro evidenzia una distribuzione con valori che aumentano man mano che ci si sposta da Nord a Sud e da Est a Ovest. In una gran parte del territorio viene superato il “valore di parametro” (0.5 mg/l), previsto dal D.Lgs 31/2001 e, avvicinandosi al Livenza, anche in modo notevole.</p>
Ferro	<p>Il ferro risulta presente in tenori normalmente inferiori al “valore di parametro” (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001.</p> <p>Nel complesso la distribuzione di questo parametro non evidenzia particolari trend.</p>
Prevalenza sul piano campagna	<p>La prevalenza rispetto al piano campagna è superiore ai 10 metri ai margini nord orientali dell'area indagata, poi via via decresce, fino ad annullarsi nei pressi del fiume Livenza.</p>

Piezometria	L'analisi della piezometria evidenzia chiaramente un campo di moto della falda con direzioni di deflusso orientate da Nord verso Sud o da Nord-Est verso Sud-Ovest. Verso il Fiume Tagliamento si ha una leggera inflessione delle isopieze verso valle. Non si evidenziano depressioni piezometriche localizzate. I gradienti sono elevati nei pressi del Tagliamento e poi tendono a decrescere, ma dato il basso numero di punti disponibili non è possibile darne un valore numerico preciso.
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3"	Senza l'ausilio di pompe, questa falda, con pozzi di piccolo diametro (2-3"), è in grado di erogare portate consistenti (anche superiori ai 3 l/s) nella parte orientale. Le portate spontanee poi diminuiscono considerevolmente man mano che ci si avvicina al Fiume Livenza.
Portata specifica	Il valore della portata specifica è stato valutato speditivamente su 8 punti (su questa falda non sono disponibili prove di pozzo). Raggiunge massimi valori di 1.3 (l/s)/m. I dati disponibili mostrano una tendenza all'incremento della portata specifica spostandosi da Nord a Sud. Tale dato, che potrebbe essere influenzato dalla bassa prevalenza che si ha in alcune parti del territorio, però andrebbe meglio verificato con un cospicuo numero di prove di pozzo.
Parametri idrogeologici	Su questa falda, sulla quale è disponibile un numero limitato di punti di misura, non si sono, al momento, ricavati i parametri idrogeologici.
<i>Caratterizzazione complessiva</i>	<i>Si tratta di una falda interessata da un numero limitato di pozzi (circa 30). La falda presenta caratteristiche qualitative localmente anche ottime, in alcune zone ai confini con la provincia di Pordenone. La qualità tende nettamente a peggiorare spostandosi da Nord verso Sud ma soprattutto da Est verso Ovest. Da un punto di vista quantitativo la falda presenta portate spontanee erogabili elevate superiori a 3 l/s con pozzi da 2-3" nella parte orientale che diminuiscono man mano che ci si avvicina al Livenza.</i>

#### 5.10.9 Falda IX (480-540 m)

##### Distribuzione della falda

È presente a partire da 480 - 490 m di profondità. Il letto dell'acquifero è di difficile determinazione dato l'esiguo numero di stratigrafie che raggiungono tale profondità. È prevalentemente sabbioso e ghiaioso (i

dati disponibili si riferiscono alla zona meridionale); è difficile determinare la continuità dell'acquifero anche se i dati delle profondità dei pozzi censiti confermano la sua estensione sull'intera area.

*Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.*

(Riferimento: tavola 4)

Temperatura	Questa falda risente dell'effetto dell'anomalia termica localizzata al confine tra Veneto e Friuli Venezia Giulia. A causa del gradiente geotermico naturale le temperature si mantengono superiori ai 20 °C in tutto il territorio, salendo, in coincidenza con l'area termale, fino a valori prossimi a 50°C.
Conducibilità elettrica	I valori di conducibilità si mantengono nella maggior parte dell'area su valori attorno ai 400-500 µS/cm, crescendo repentinamente in coincidenza dell'area termale, dove le conducibilità superano frequentemente i 1500 µS/cm.
Ammoniaca	Questo parametro evidenzia una distribuzione con valori che aumentano, seppure in modo irregolare, procedendo da Nord a Sud. Nel complesso i valori di ammoniaca si mantengono su concentrazioni in genere più basse rispetto a quelle delle falde meno profonde.
Ferro	Il ferro risulta presente in tenori normalmente inferiori al "valore di parametro" (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001. Nel complesso la distribuzione di questo parametro non evidenzia particolari trend.

Prevalenza sul piano campagna	<p>Questa falda presenta prevalenza rispetto al piano campagna notevole. Essa si mantiene in vaste aree superiore ai 20 metri. Si evidenzia una vasta area, grossomodo coincidente con l'area termale, dove la falda si presenta con prevalenza limitata. Si tratta dell'effetto del pompaggio, legato allo sfruttamento da parte di numerosi pozzi della risorsa termale. Questo sfruttamento ha causato un progressivo calo della pressione della falda.</p> <p>In altre aree si notano locali depressioni della falda. Anche queste depressioni sono da mettere in relazione allo sfruttamento delle acque sotterranee.</p>
Piezometria	<p>L'analisi della piezometria evidenzia un campo di moto della falda con direzioni di deflusso generale orientato da Nord verso Sud. Si notano però accentuate irregolarità nella superficie piezometrica che dai dati disponibili sembrano derivare dagli effetti del pompaggio sulla falda.</p> <p>Data questa estrema variabilità non si ritiene significativo riportare dei valori di gradiente medio.</p>
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3"	<p>Senza l'ausilio di pompe, questa falda, con pozzi di piccolo diametro (2-3"), è in grado di erogare portate consistenti, generalmente superiori ai 2-3 l/s nella parte orientale. Le portate spontanee diminuiscono considerevolmente nelle aree che nelle precedenti cartografie si è visto essere depressurizzate per effetto dello sfruttamento.</p>
Portata specifica	<p>il valore della portata specifica è stato valutato speditivamente su 59 punti. Raggiunge massimi valori di 1.1 (l/s)/m. I dati disponibili mostrano una tendenza all'incremento della portata specifica spostandosi da Nord-Ovest a Sud-Est.</p>
Parametri idrogeologici	<p>Su questa falda si sono ricavati i parametri idrogeologici su tre punti: i pozzi 1089, 1090 e 1115<sup>(15)</sup> localizzati nella parte Sud del territorio (Terzo Bacino – Quarto Bacino).</p> <p>Dalle elaborazioni delle prove svolte si sono ottenuti i seguenti valori:</p> <p><i>Trasmittività</i> = <math>3.5 \cdot 10^{-4} - 4.5 \cdot 10^{-3}</math> m<sup>2</sup>/s (prove in risalita)</p> <p><i>Trasmittività</i> = <math>3.8 \cdot 10^{-4}</math> m<sup>2</sup>/s (prove in discesa)</p> <p><i>Trasmittività</i> = <math>7.6 \cdot 10^{-4} - 9.2 \cdot 10^{-4}</math> m<sup>2</sup>/s (metodo di Lohman)</p> <p><i>Permeabilità</i> = <math>5.9 \cdot 10^{-5} - 7.0 \cdot 10^{-6}</math> m/s (metodo di Hantush)</p> <p><i>Spessore acquifero sui punti di prova</i>: circa 23 m</p> <p>Coefficiente di immagazzinamento: <math>6.5 \cdot 10^{-6}</math></p> <p>Su questa falda si sono inoltre eseguite due prove di pozzo (pozzo n. 101 e n. 1115).</p>
Caratterizzazione complessiva	<p><i>Si tratta di una falda, il cui sfruttamento è iniziato da una ventina di anni e che ad oggi è intercettata da oltre 150 pozzi.</i></p> <p><i>Caratteristica importante di questa falda risulta il carattere termale di una vasta area, posta nella parte meridionale ai confini con il Friuli Venezia Giulia.</i></p> <p><i>La falda presenta caratteristiche qualitative localmente anche ottime, in alcune zone ai confini con la provincia di Pordenone. Laddove la falda acquisisce caratteri di spiccata termalità aumenta notevolmente la conducibilità elettrica dell'acqua e quindi il contenuto in sali disciolti dell'acqua stessa.</i></p> <p><i>Da un punto di vista quantitativo la falda presenta portate spontanee erogabili considerevoli (normalmente superiori ai 2-3 l/s anche con pozzi da 2-3") e prevalenza rispetto al piano campagna, laddove la falda non è depressurizzata, superiori ai 20 m.</i></p>

<sup>(15)</sup> Va precisato che questo pozzo parzialmente va ad interessare la sovrastante ottava falda.

### 5.10.10 Falda X (> 580 m)

#### Distribuzione della falda

L'esiguo numero di stratigrafie non consente la determinazione del letto e del tetto dell'acquifero e la sua continuità sull'area di interesse. La presenza di vari pozzi anche a queste profondità permette comunque di individuare uno o più acquiferi sui 600 m di profondità, caratterizzati da sabbia e ghiaia. Dalle informazioni disponibili solo uno dei circa 50 pozzi

centrati, profondo 624 m, risulta intercettare il substrato roccioso sottostante i terreni sciolti <sup>(16)</sup>.

Va evidenziata la presenza di una vasta area nella parte nord-orientale in cui non compaiono pozzi in questa classe di profondità. Per questa area ovviamente, le interpolazioni realizzate hanno valore indicativo.

#### Prospetto riassuntivo della distribuzione dei parametri considerati.

(Riferimento: tavola 4)

Temperatura	Questa falda presenta evidenti caratteri termali legati alla anomalia termica localizzata al confine tra Veneto e Friuli Venezia Giulia. L'area termale, ben delimitata dalla isoterma 30°C, raggiunge valori di temperatura superiori ai 45°C.
Conducibilità elettrica	I valori di conducibilità si mantengono nella maggior parte dell'area su valori attorno ai 400-500 µS/cm per poi crescere repentinamente in coincidenza dell'area termale dove le conducibilità superano frequentemente i 2000 µS/cm.
Ammoniaca	Questo parametro, per questa falda contrariamente a quanto avveniva per le falde soprastanti, non evidenzia particolari trend. In vaste parti del territorio viene superato il "valore di parametro" (0.5 mg/l), previsto dal D.Lgs 31/2001.
Ferro	Il ferro in questa falda risulta generalmente assente o in tenori inferiori al "valore di parametro" (0.2 mg/l) previsto dal D.Lgs. 31/2001.
Prevalenza sul piano campagna	Questa falda presenta prevalenza rispetto al piano campagna notevole che si mantiene superiore ai 15 metri in quasi tutto il territorio. Solo nella parte sud-orientale i valori della prevalenza diminuiscono nettamente, probabilmente per il numero elevato di pozzi presenti.
Piezometria	L'analisi della piezometria evidenzia chiaramente un campo di moto della falda con direzioni di deflusso orientate da Nord verso Sud. Nella parte sud-orientale le linee isopieze hanno un andamento più irregolare, probabilmente in relazione alla presenza di una maggiore diffusione di punti di prelievo. Il gradiente è quantificabile solo nelle aree dove vi è la massima concentrazione di pozzi (area nord-occidentale) dove risulta indicativamente pari allo 1.8 per mille.
Portata spontanea massima per pozzi da 2-3"	Senza l'ausilio di pompe, questa falda, con pozzi di piccolo diametro (2-3"), è in grado di erogare portate considerevoli (superiori a 3 l/s) che però tendono a diminuire spostandosi man mano che ci si avvicina al Livenza.
Portata specifica	Il valore della portata specifica è stato valutato speditivamente su 10 punti (su questa falda sono inoltre disponibili 2 prove di pozzo). Raggiunge massimi valori di 1.3 (l/s)/m e medi di 0.5 (l/s)/m. I dati disponibili, peraltro in numero limitato, mostrano una tendenza all'incremento della portata specifica spostandosi da Nord a Sud.
Parametri idrogeologici	Su questa falda si sono ricavati i parametri idrogeologici su due punti: i pozzi 478 e 1114 <sup>(17)</sup> . Si sono inoltre eseguite 2 prove di pozzo. Dalle elaborazioni delle prove svolte si sono ottenuti i seguenti valori: <i>Trasmittività</i> = $1.3 \cdot 10^{-3} - 6.1 \cdot 10^{-3}$ m <sup>2</sup> /s (prove in risalita) <i>Trasmittività</i> = $2.3 \cdot 10^{-3}$ m <sup>2</sup> /s (metodo di Lohman) <i>Permeabilità</i> = $7.7 \cdot 10^{-4} - 3.4 \cdot 10^{-5}$ m/s (metodo di Hantush)

<sup>(16)</sup> Date le caratteristiche chimiche nettamente diverse rispetto alle acque dei pozzi che prelevano dai sovrastanti materiali sciolti, i dati di quest'unico pozzo (n. 1020) sono stati esclusi dalle elaborazioni.

<sup>(17)</sup> Va precisato che questo pozzo filtra non solo questa falda, ma seppure in maniera ridotta altri due livelli. In dettaglio i tratti filtrati sono: 504-506 m; 516-518 m e 578-610 m.

	Non si sono (al momento) ricavati valori del coefficiente di immagazzinamento Sugli stessi due pozzi si sono eseguite due prove di pozzo che hanno dato valori di portata specifica rispettivamente di 0.87 e 1.33 (l/s)/m.
<i>Caratterizzazione complessiva</i>	<i>Si tratta di una falda (o di un insieme di falde) il cui utilizzo, a causa della notevole profondità, è iniziato da pochi anni. L'utilizzo è legato ai caratteri di spiccata termalità che contraddistinguono la falda stessa. Nonostante la notevole profondità, la falda presenta caratteristiche qualitative anche ottime, in particolare nell'area più settentrionale. In coincidenza dell'area termale il contenuto salino aumenta nettamente, tanto che le acque presentano valori di conducibilità elettrica abbondantemente superiori ai 2000 µS/cm. Da un punto di vista quantitativo la falda presenta portate spontanee notevoli, normalmente superiori ai 3 l/s anche con pozzi da 2-3"; le portate spontanee tendono a diminuire spostandosi dal Tagliamento al Livenza. I valori di trasmissività raggiungono i massimi valori di tutto il Portogruarese dando indicazione di interessanti potenzialità quantitative.</i>

#### 5.10.11 Tutte le falde: caratteri chimico-fisici

Su tutti i pozzi - esclusi quelli relativi alla prima falda (10-20 m) – si è verificato nell'insieme l'andamento di alcuni caratteri chimico-fisici.

A tale scopo si sono elaborati i dati di Ferro, Ammoniaca e Conducibilità elettrica (Figura 14, Figura 15 e Figura 16). Per questo sono state utilizzate le misurazioni contenute nella "Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia" dove, su ciascun pozzo censito, era stata effettuata la determinazione di Fe e Ammoniaca e di Conducibilità elettrica<sup>(18)</sup>, integrate con i nuovi dati raccolti nel quadro del presente progetto.

Analizzando separatamente il Ferro si è rilevato che il 73% delle misure eseguite, pari a 551 pozzi, ha un valore inferiore a 0,2 mg/l (questo è il limite di potabilità delle acque per il contenuto in Fe in riferimento al D.Lgs 31/2001). La figura evidenzia una distribuzione uniforme, su tutto il territorio, dei pozzi con un basso valore del contenuto in Fe.

Prendendo in considerazione l'Ammoniaca si è rilevato che solo il 24% delle misure fatte, pari a 185 pozzi, ha un valore inferiore a 0,5 mg/l (limite di potabilità delle acque per il contenuto in Ammoniaca, in riferimento al D.Lgs 31/2001). La tavola presenta una distribuzione

Tabella 9 - Range di Conducibilità e di Salinità (calcolata) per ciascuna falda.

Falda	Profondità (m)	Conducibilità (µµ/cm)	NaCl (g/l)
I°	10 – 20	820 – 3600	0.031 – 0.134
II°	35 – 55	425 – 490	0.016 – 0.018
III°	60 – 90	400 – 500	0.015 – 0.018
IV°	100 – 130	380 – 540	0.014 – 0.020
V°	150 – 240	340 – 650	0.013 – 0.024
VI°	250 – 315	370 – 580	0.014 – 0.022
VII°	320 – 380	360 – 560	0.013 – 0.021
VIII°	400 – 460	370 – 630	0.014 – 0.024
IX°	480 – 560	320 – 680	0.012 – 0.025
X°	> 580	330 – 3500	0.012 – 0.131

disomogenea dei pozzi con Ammoniaca sotto il limite di potabilità e tali zone sono soprattutto concentrate nella fascia centro – settentrionale, ed in particolare nel settore nord-orientale tra gli abitati di Villanova e S. Mauro. Si riconosce comunque un trend con concentrazioni in crescita spostandosi da Nord-Est a Sud-Ovest.

Analizzando congiuntamente i valori di Fe e Ammoniaca, si può così delimitare una fascia idropotabile<sup>(19)</sup> nella zona centro – settentrionale, sopra l'allineamento Loncon, Concordia Sagittaria e San Michele al Tagliamento. In particolare la maggiore concentrazione di pozzi con contenuti in Fe e Ammoniaca sotto il limite di potabilità è stata rilevata nella zona nord – orientale tra le località Malafesta e S. Mauro (Figura 17). In figura si riporta la delimitazione dell'area di risorsa idropotabile così come riportata nella "Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia" e nel PTP della Provincia di Venezia.

I pozzi con "risorsa idropotabile" sono 158, pari al 20% dei pozzi in cui sono state eseguite le misure dirette. Prendendo in considerazione la concentrazione sali-

<sup>(18)</sup> Va precisato che nel corso della indagine idrogeologica del territorio provinciale le misure di Ferro e Ammoniaca non sono state condotte sui pozzi che avevano una temperatura inferiore ai 30°C (con qualche eccezione per verificare le analisi chimiche recuperate). In totale sono state fatte 746 misure per il Ferro e 761 per l'Ammoniaca.

<sup>(19)</sup> Va precisato che la potabilità dell'acqua va valutata ovviamente da una serie di parametri ben superiore ai due qui considerati. I dati esistenti permettono però di affermare che nella stragrande maggioranza dei casi la non potabilità dell'acqua in queste aree è legata ad eccesso di Ferro ed Ammoniaca. Di conseguenza si sono utilizzati questi due parametri per delimitare le aree di risorsa idropotabile.

na, calcolata dal valore di conducibilità elettrica misurata in campagna, si è potuto constatare come in generale le acque siano dolci, con un contenuto in sale (NaCl) inferiore a 1 g/l.

Nella tabella seguente sono riportate le concentrazioni di salinità per ogni classe di profondità.

Considerando le singole classi di profondità si è rilevata una generale buona qualità delle acque della IIa, IXa e Xa falda della fascia settentrionale, mentre per le altre classi i valori sono variabili, ma generalmente le acque non sono potabili per l'alto contenuto in Ammoniaca (la fascia meridionale ha pozzi con valori quasi regolarmente superiori a 3 mg/l).

L'origine del Fe e dell'Ammoniaca è da attribuire, secondo diversi autori, a processi idrochimici naturali, in ambiente riducente.

### 5.11 ALTRI PARAMETRI IDROCHIMICI

Dati relativi a parametri idrochimici, non considerati nei paragrafi precedenti, sono disponibili sui pozzi ricadenti nella rete di monitoraggio qualitativa delle acque sotterranee (Zangheri, 2000), anch'essa realizzata nel quadro della "Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia".

L'ubicazione dei pozzi su cui sono disponibili analisi chimiche sistematiche (rete di monitoraggio qualitativa) sono riportate in Figura 18. Su questa rete di pozzi sono disponibili i dati relativi a 3 campagne di campionamento (ottobre 1998, maggio 1999 e novembre 1999).

Tali dati verranno utilizzati per completare la caratterizzazione delle falde presentata ai paragrafi precedenti.

In Tabella 10 si riportano i dati *medi relativi* alle tre campagne disponibili. Si è ritenuto utile riportare il dato medio in ragione dell'evidenza della bassa variabilità stagionale dei parametri idrochimici monitorati. Infatti i valori medi misurati presentano scostamenti molto limitati (< 5-10%) rispetto ai valori misurati in fase di piena e in fase di magra<sup>(20)</sup>.

Utilizzando i dati della Tabella 10 si sono eseguite alcune elaborazioni con alcune metodologie normalmente utilizzate in studi idrogeologici.

<sup>(20)</sup> Va precisato che non tutti i pozzi sono stati misurati su tutte e tre le campagne; per questi pozzi, in numero limitato complessivamente, ci si è basati sulle campagne disponibili. Per i parametri nitrati e conducibilità, nel calcolo del valore medio, non si è considerata la seconda campagna eseguita.

In Figura 19 si riportano le elaborazioni eseguite con il classico diagramma di Piper, che rappresenta il contenuto relativo dei principali anioni e cationi. A titolo di confronto si riportano i dati relativi alle altre aree della provincia di Venezia.

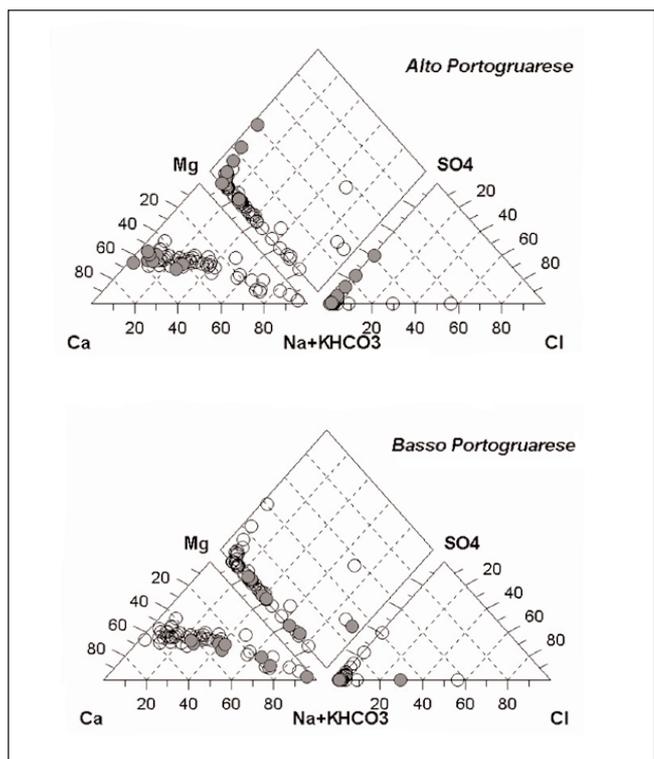
Ciascun diagramma riporta tutti i campioni disponibili e, evidenziati in grigio, i dati di una parte del territorio indagato.

Appare evidente come le acque del Portogruarese abbiano caratteristiche idrochimiche ben differenziate rispetto alle altre aree della provincia di Venezia. Ciò è in rapporto con distinte situazioni geologico-strutturali e di alimentazione delle falde.

Va notato che, nel triangolo degli anioni (a sinistra), i campioni ricadono sempre nell'angolo in basso a sinistra (ovvero HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> sempre nettamente prevalente rispetto agli ioni SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> e Cl<sup>-</sup>); fanno eccezione solo alcuni pozzi dell'alto Portogruarese con valori relativamente alti di SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> e di alcuni pozzi del basso Portogruarese, con alti valori di cloruri.

Relativamente al triangolo di sinistra si hanno rapporti rCa<sup>++</sup>/rMg<sup>++</sup> praticamente costanti (Figura 20) (ovvero i punti tendono ad allinearsi su una semiretta con origine sul vertice Na<sup>++</sup>K<sup>+</sup>). Le varie acque si differenziano da Magnesiache-calciche, nell'area più a monte, a Sodiche, in quelle più a valle. Va notato che tale differenziazione è funzione anche della profondità.

Figura 19 - Diagrammi di Piper (da Zangheri, 2000)



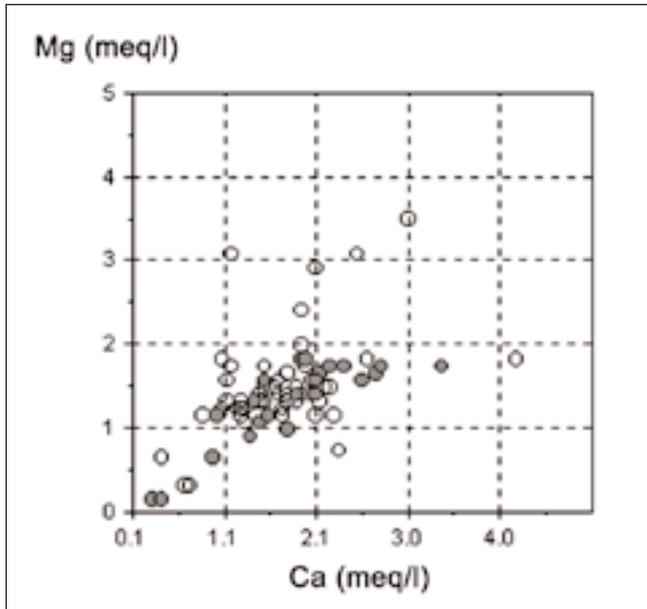


Figura 20 - Diagramma Calcio-Magnesio per l'intera provincia di Venezia; i pallini pieni corrispondono ai pozzi del Portogruarese.

Osservando i 5 diagrammi che compongono la Figura 19 si evidenzia:

- Nell'*alto Portogruarese*, le acque sotterranee sono classificabili come Bicarbonatiche-magnesico-calciche e si hanno presenze di solfati nettamente superiori che nelle altre aree provinciali;
- i dati relativi al *basso Portogruarese* appaiono ben distinti da quelli dell'area a monte per un relativo arricchimento in Sodio rispetto al Calcio e al Magnesio. Le acque quindi da Bicarbonatiche-magnesico-calciche passano a Bicarbonatiche-magnesico-calciche-sodiche. In quest'area i dati sono piuttosto dispersi sul diagramma di Piper. Ciò è legato anche alla presenza di campioni prelevati su pozzi profondi oltre 500 metri e/o termali.

In Figura 21 si riportano i dati relativi ai cationi e agli anioni, già rappresentati nel diagramma di Piper, mediante l'utilizzo del diagramma di Schoeller. Questo diagramma, contrariamente al precedente, permette di rappresentare le concentrazioni misurate anche in termini assoluti.

Sulla base di questi dati si possono riassumere alcune caratteristiche qualitative delle falde del Portogruarese.

- Innanzitutto vi è la conferma che in vaste aree del sottosuolo sono presenti acque in cui sono molto elevate le concentrazioni di ammoniaca; i valori spesso vanno ben oltre al limite di potabilità, come

avviene in altri acquiferi dell'area padana aventi caratteristiche analoghe.

- Ad elevate concentrazioni di Ammoniaca (area sud occidentale) corrisponde spesso la presenza di Arsenico anche al di sopra del "valore di parametro" (10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) previsto dal D.Lgs 31/2001. Molti autori (Zavatti et alii, 1995) attribuiscono la presenza di Arsenico (analogamente a quella di ferro ed ammoniaca) alla presenza di livelli argillosi a forte componente organica. Questo aspetto, anche per i risvolti sanitari, meriterebbe specifici approfondimenti ed in particolare maggiori conoscenze sulle caratteristiche mineralogiche dei sedimenti costituenti sia gli acquiferi che gli acquicludi.
- Nell'alto Portogruarese vanno rilevati valori di solfati, cloruri e potassio superiori a quelli delle altre parti del territorio della provincia di Venezia.
- Va rilevata la presenza di boro in diversi dei campioni analizzati.
- Si conferma e si specifica la presenza, all'interno dell'area di risorsa idropotabile, di falde aventi caratteristiche qualitative ottime.

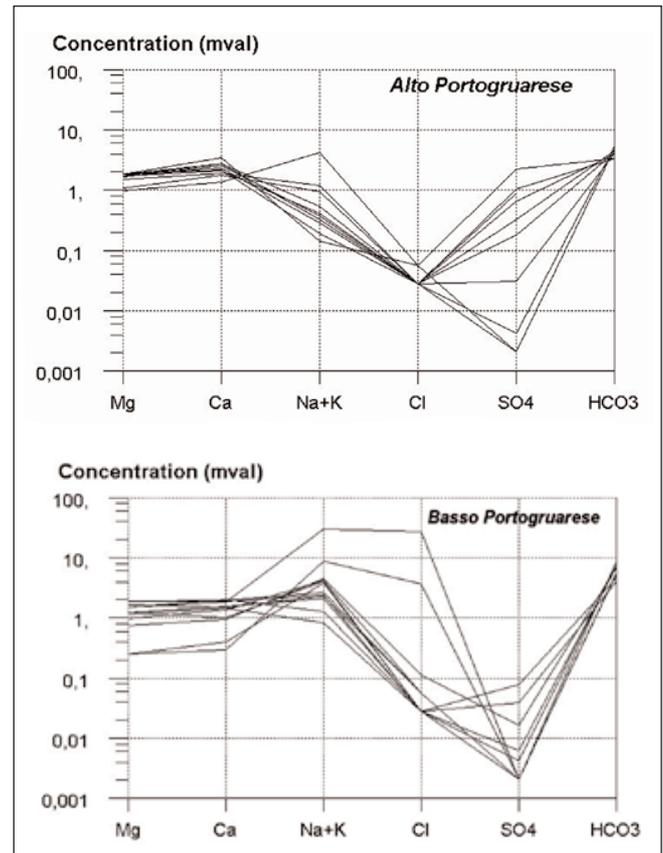


Figura 21 - Diagrammi di Schoeller (da Zangheri, 2000).

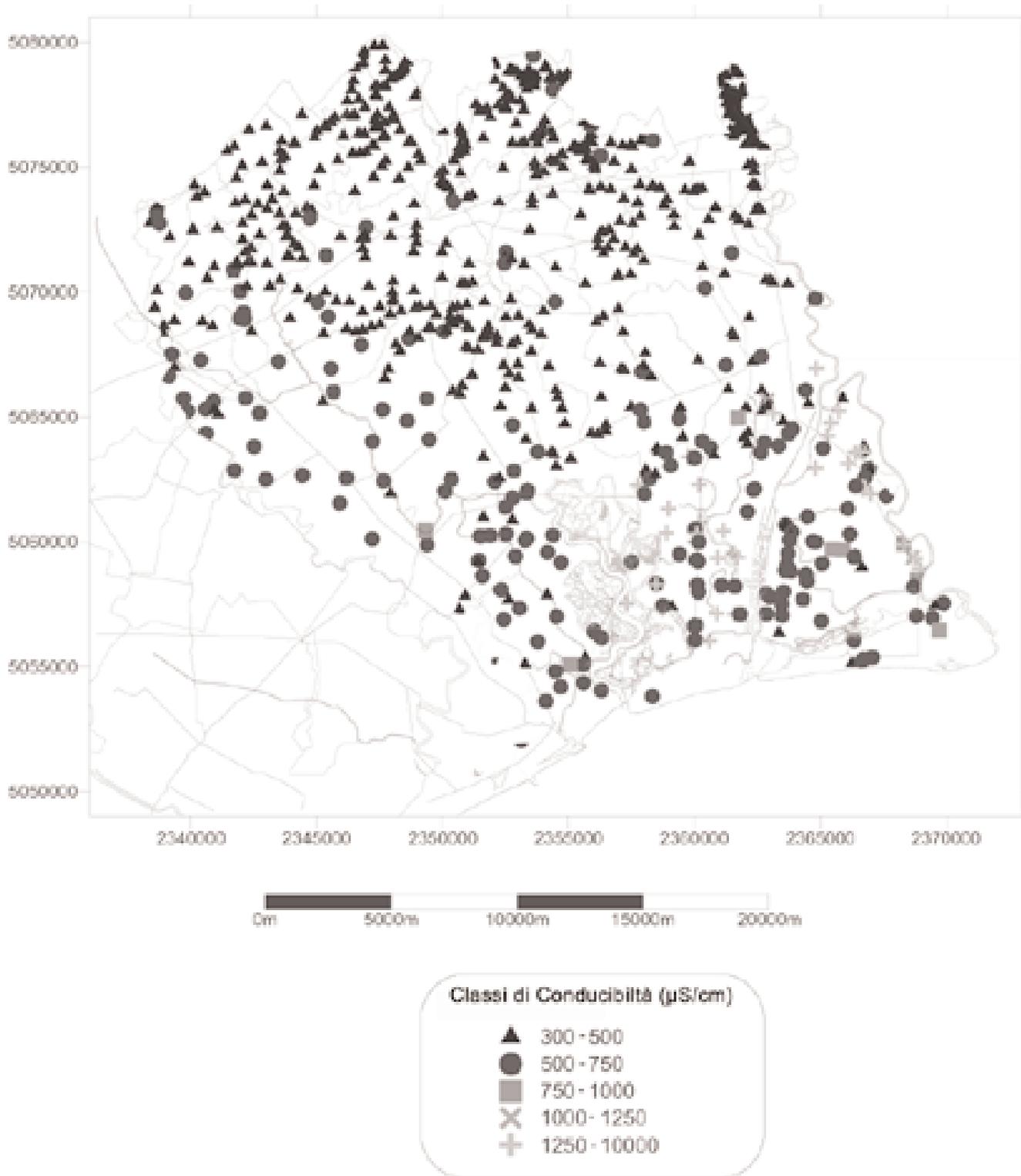


Figura 14 - Distribuzione della Conducibilità elettrica (tutte le falde esclusa la prima).

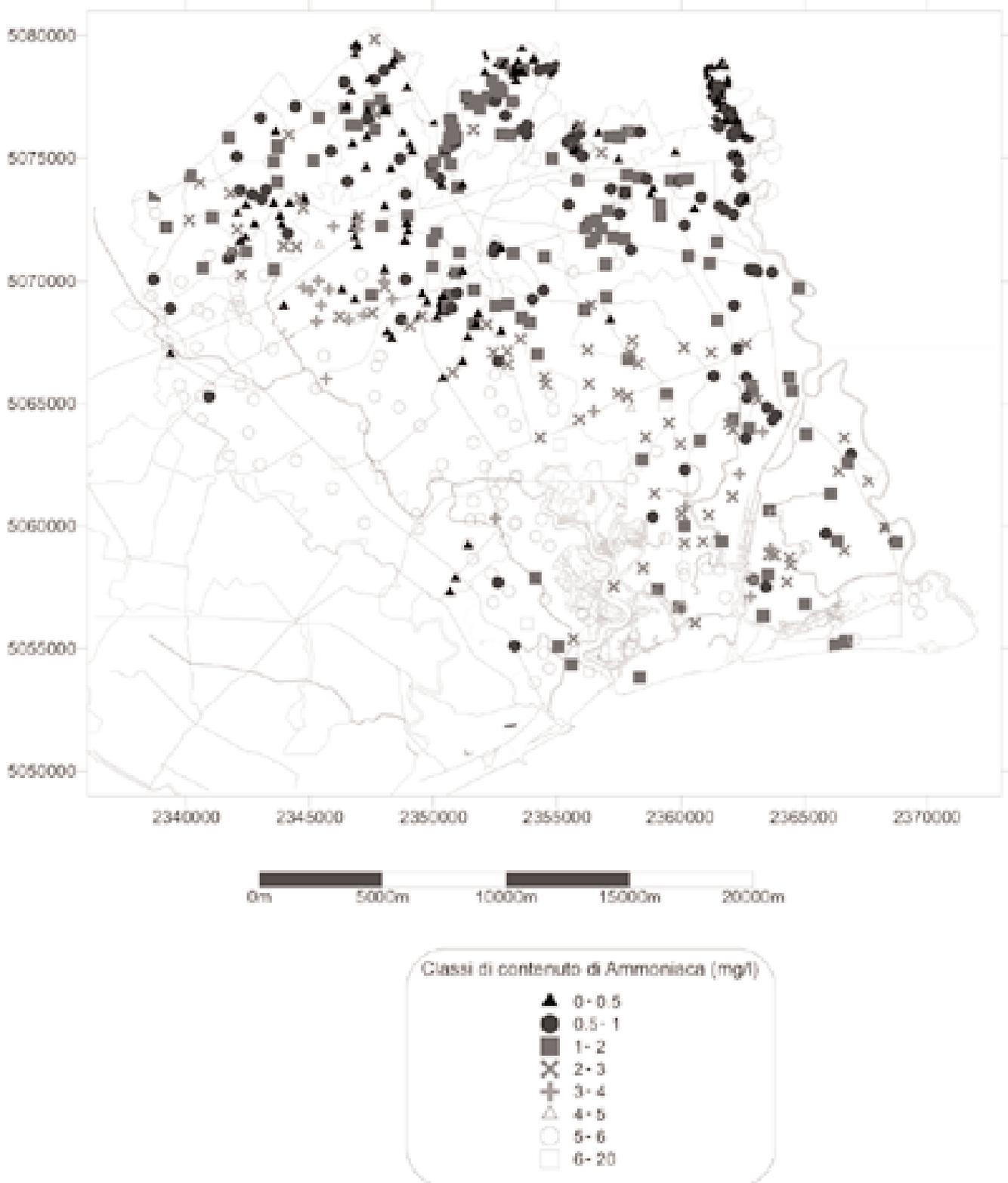


Figura 15 - Distribuzione della Ammoniacca (tutte le falde esclusa la prima).

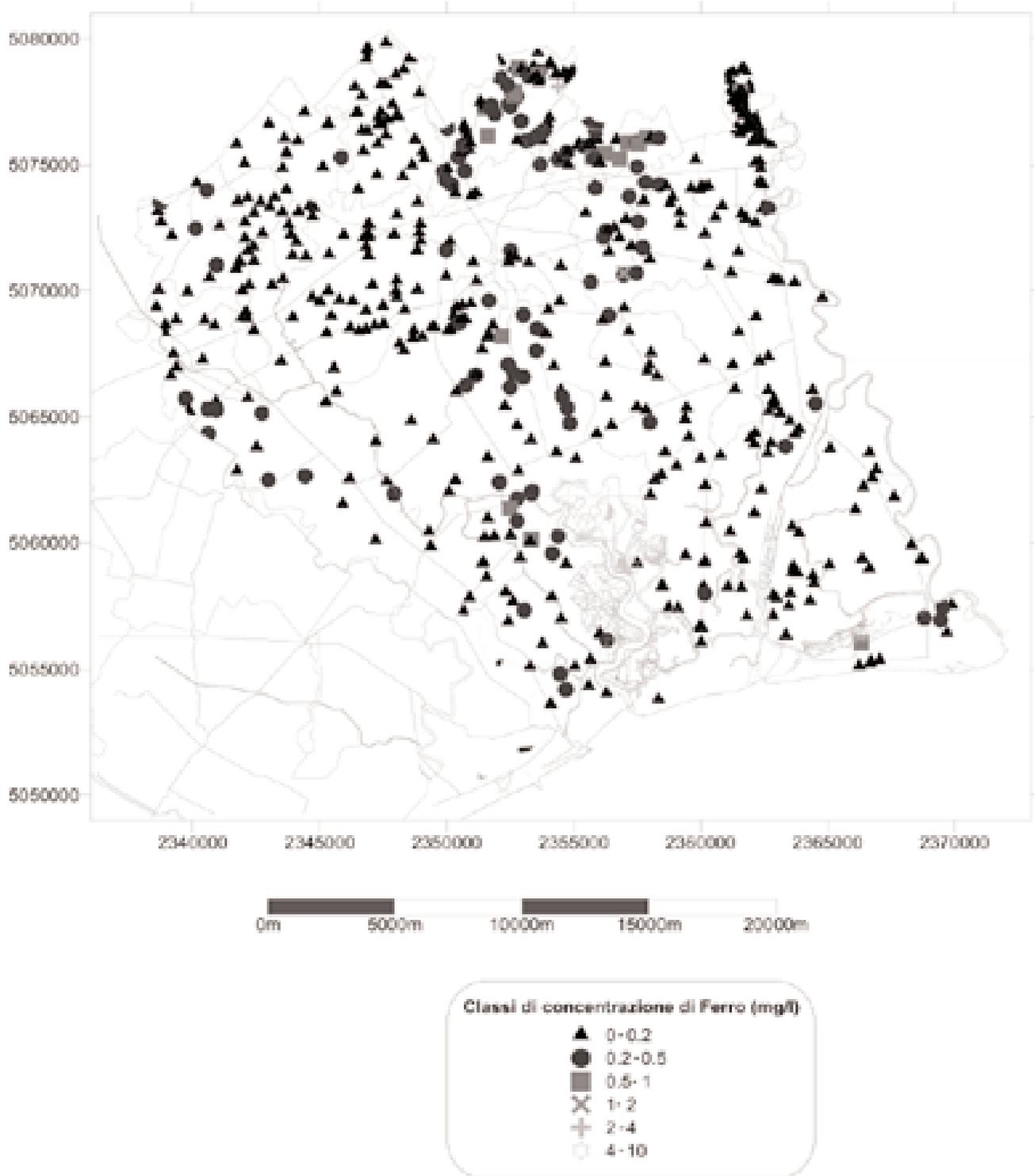


Figura 16 - Distribuzione del Ferro (tutte le falde esclusa la prima).





- Ferrovie
- Strade
- Area urbane
- Limiti comunali
- Laguna
- ▲ Limite area risorsa idropotabile
- Pozzo

© Servizio di Acqua Laguna



Figura 18 - Pozzi di monitoraggio qualitativo suddivisi per unità idrogeologica (da Zangheri, 2000).



## Legenda

-  Area indagine idrogeologica
-  Confini comunali
-  Ferrovie
-  Strade
-  Fiumi
-  Area urbane
-  Isote e laguna

-  Pozzi con profondità compresa tra 0 - 20 m
-  Pozzi con profondità compresa tra 25 - 55 m
-  Pozzi con profondità compresa tra 100 - 131 m
-  Pozzi con profondità compresa tra 150 - 380 m
-  Pozzi con profondità compresa tra 400 - 480 m
-  Pozzi con profondità > 480 m
  
-  Pozzi dismessi con profondità compresi tra 0 - 20 m
-  Pozzi dismessi con profondità compresi tra 25 - 55 m
-  Pozzi dismessi con profondità compresi tra 100 - 131 m
-  Pozzi dismessi con profondità compresi tra 150 - 380 m
-  Pozzi dismessi con profondità compresi tra 400 - 480 m
-  Pozzi dismessi con profondità > 480 m

Stato di contaminazione	Comune	Località	pH	pH	Temperatura (°C)	Conduttività (µS/cm)	Microelementi (µg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Ammonio (mg/L)
101	Venezia	Mestre	7,1	8,2	18	228	208	0	12,7	10	0	0	105,2	0	0	0
102	Venezia & Portogruaro	Vado	8,0	8,0	18	251	201	0	12,8	10	0	0	105,2	0	0	0
103	Vado	San Giacomo	7,0	7,8	18	228	217	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
104	Portogruaro	Mestre (SA)	7,0	8,0	18	228	211	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
105	Portogruaro	Belviso	7,0	8,0	18	270	202	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
106	Vado & Portogruaro	Montebelluna	7,0	7,8	18	228	202	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
107	Vado & Portogruaro	Belviso	6,7	8,0	18	270	277	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
108	Vado	Belviso	6,5	7,8	18	280	277	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
109	Vado	Belviso	7,0	8,0	18	270	242	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
110	Portogruaro	Belviso	6,5	7,8	18	248	208	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
111	Portogruaro	Belviso	6,5	8,2	18	281	208	10,20	0	12,2	10	0	105,2	0	0	0
112	Portogruaro & Venezia	S. Anna Martini	6,8	7,8	18	211	202	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
113	Portogruaro & Venezia	Spesola	7,0	8,2	18	288	208	10,20	0	12,2	10	0	105,2	0	0	0
114	Vado	Belviso	6,8	8,2	18	211	211	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
115	Portogruaro	Spesola	7,0	8,0	18	281	218	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
116	Portogruaro & Venezia	San Giacomo	6,8	8,2	18	271	208	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
117	Portogruaro	San Giacomo	6,8	7,8	18	288	218	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
118	Portogruaro	San Giacomo	6,8	8,2	18	288	218	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
119	Portogruaro	Belviso	6,8	8,2	18	288	218	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
120	Portogruaro	Montebelluna	6,8	8,2	18	270	270	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
121	Vado	Belviso	6,8	8,2	18	270	270	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
122	Portogruaro	San Giacomo	6,8	7,8	18	288	270	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
123	Vado	Belviso	7,0	7,8	18	211	208	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
124	Vado	San Giacomo	6,7	8,2	18	270	218	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0
125	Vado	Vado (SA)	6,5	7,8	18	270	270	10,20	0	10,2	10	0	105,2	0	0	0

Note: 1) analizzato il 14/02/2011; 2) dati non disponibili per le stazioni non monitorate.

Tabella 10 - Valori medi misurati, per il Portogruarese, sulla rete di monitoraggio della provincia di Venezia.



- Non è stata rilevata, sui pozzi analizzati, la presenza di solventi<sup>(21)</sup> o erbicidi, come d'altro canto ci si aspettava dato il tipo di acquiferi, situati lontani dalle aree di alimentazione e protetti da potenti livelli argillosi; lo stesso vale per il parametro nitrati (valori sempre inferiori al limite strumentale).
- Analogamente, per i metalli, si riscontrano in genere concentrazioni inferiori ai limiti strumentali.

## 5.12 SINTESI DEI RISULTATI DI PARAMETRIZZAZIONE

L'analisi della distribuzione di una serie di parametri per ciascuna delle falde presenti nel territorio consortile ha permesso di avere una prima caratterizzazione di ciascuna falda, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo.

Va notato che per quest'area è la prima volta che si realizza una parametrizzazione del sistema idrogeologico. Si ritiene che la metodologia utilizzata sia applicabile in varie altre situazioni di media e bassa pianura alluvionale caratterizzata da una sequenza di acquiferi confinati sovrapposti. In tal senso il progetto svolto acquista carattere di progetto pilota.

Si sottolinea inoltre come la parametrizzazione effettuata possa essere utilizzata come strumento per definire la distribuzione dei prelievi da falda e per definire l'utilità e/o la convenienza di utilizzare acque superficiali in alternativa ad acque sotterranee.

Rimandando agli scenari delineati per ciascuna falda, di seguito si riportano alcuni caratteri generali desunti dall'analisi svolta:

1. in generale tutte le falde tendono a diminuire di qualità spostandosi da Nord verso Sud e da Est verso Ovest, ovvero spostandosi da quello che appare il principale fattore alimentante le falde: le dispersioni del Fiume Tagliamento nell'alta pianura friulana. Tale peggioramento però non è analogo per tutte le falde ma più accentuato per alcune; relativamente alla qualità, il fattore più limitante appare la presenza di ammoniaca, spesso presente in tenori anche 10 volte superiori a quelli previsti per le acque potabili. Nella parte sud-occidentale del territorio consortile, alcuni dati indicano che ad

elevate concentrazioni di ammoniaca si associa la presenza di arsenico;

2. non tutte le 10 falde sono continue sull'intero territorio indagato, ma alcune tendono a chiudersi spostandosi da Nord verso Sud. Si tratta in particolare delle prime tre falde. La falda compresa tra 35 e 55 m, particolarmente importante e sfruttata nel Pordenonese, si chiude poco a valle dei confini con la provincia di Venezia;
3. le falde indagate hanno valori di permeabilità massima attorno ai  $10^{-4}$  m/s; alcune prove hanno determinato permeabilità limitate a  $10^{-6}$  m/s; considerando che le ghiaie pulite, da dati bibliografici, possiedono in genere valori di permeabilità superiori a  $10^{-2}$  m/s e che le sabbie fini hanno valori medi di circa  $10^{-5}$  m/s, risulta che le litologie degli acquiferi oggetto di prova sono caratterizzate in prevalenza da sabbie medie e fini o nel caso di materiali più grossolani (sabbie grosse e ghiaie) comunque essi sono miscelati a materiali a granulometria più fine;
4. con le prove attualmente disponibili non si evidenziano nette diversità tra le varie falde nei parametri idrogeologici; questi tendono a modificarsi più spostandosi da monte a valle all'interno della stessa falda che tra una falda e l'altra;
5. quantitativamente le falde più profonde (VIII, IX, X) sono in grado di fornire portate spontanee nettamente superiori alle falde sovrastanti. Ciò è in rapporto più con una prevalenza nettamente superiore che con diversi valori di trasmissività;
6. nei pozzi ad erogazione spontanea (almeno per quelli indagati sperimentalmente con le prove di pozzo) generalmente il flusso si mantiene di tipo laminare e raramente viene superata la portata critica;
7. sono presenti, nella parte meridionale del territorio ai confini con il Friuli Venezia Giulia, acque termali ampiamente utilizzate per diversi scopi; il termalismo si riflette anche sulle caratteristiche qualitative delle acque e in particolare in un maggiore contenuto salino;
8. nel complesso l'area che appare più ricca di risorsa idrica è quella nord-orientale, anche se l'intero territorio presenta importanti risorse. Solo nella parte più prossima al Livenza, la scarsa qualità e, in parte, quantità delle acque pone dei limiti ad alcuni tipi di utilizzo.

<sup>(21)</sup> Si ricorda che i solventi organo-alogenati rappresentano i più diffusi inquinanti presenti nelle acque sotterranee della Pianura Veneta e Friulana. Negli ultimi anni si è avuta una progressiva e sensibile diminuzione della presenza di questi inquinanti, legati in molti casi a sversamenti effettuati anche alcune decine di anni prima (Zangheri, 1994a, 1994b).

## 6. La risorsa geotermica

Nei precedenti paragrafi si sono già evidenziati falda per falda i caratteri anche termali degli acquiferi più profondi.

Nel presente capitolo si porrà l'attenzione sull'anomalia termica delle acque di falda presenti nel sottosuolo della provincia di Venezia tra il fiume Livenza ed il fiume Tagliamento.

Le indagini eseguite hanno dimostrato che molti pozzi per acqua utilizzati per l'approvvigionamento idrico autonomo, captanti acquiferi presenti a profondità comprese tra 150 e 700 m, erogano acqua con temperature variabili da 20 a 50°C.

Si è quindi in presenza di una importante risorsa idrotermale, che allo stato attuale è sfruttata in modo indiscriminato, ma che, se conosciuta ed ottimizzata nella sua gestione, potrebbe rappresentare un'importante potenzialità per l'economia locale.

### 6.1 GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA IN RAPPORTO ALLA RISORSA GEOTERMICA

Come descritto, la pianura compresa tra il fiume Livenza ed il fiume Tagliamento è parte della pianura Veneto – Friulana che appartiene, da un punto di vista geologico strutturale, all'avampaese padano - adriatico compreso tra il sistema alpino - dinarico a nord ed il sistema appenninico a sud.

L'avampaese padano – adriatico è caratterizzato da una potente coltre sedimentaria, accresciutasi dal Paleozoico all'attuale, in cui l'unità principale è rappresentata dai depositi carbonatici mesozoici che raggiungono anche i 6000 m di spessore. Il potente deposito carbonatico, meglio conosciuto come "Piattaforma Mesozoica Friulana", risulta essere tettonicamente frammentato e dislocato, con la presenza di coperture sedimentarie a tetto di spessore variabile e caratterizzate da depositi di ambiente continentale, marino e di transizione.

A scala regionale è presente un alto strutturale della Piattaforma Mesozoica Friulana orientata WNW – ESE, a nord della quale sono presenti depositi flyschiodi eocenici, mentre a sud sono presenti depositi

scagliosi eocenici. La piattaforma mesozoica è interessata da alcuni importanti sistemi di dislocazioni orientate ENE – WSW e NW – SE (sistema dinarico), con un rigetto di anche 500 m in corrispondenza della linea Caorle - Vittorio Veneto.

A scala locale, tra Cesarolo e Lignano, è presente un alto strutturale del margine meridionale della Piattaforma Mesozoica Friulana, orientato WSW – ENE, il cui tetto si trova a circa 725 m di profondità (pozzo AGIP Cesarolo 1). Sopra sono presenti depositi sabbiosi, argillosi e calcareo arenacei terziari il cui tetto si trova a circa 475 m di profondità; seguono depositi sabbiosi limosi argillosi e torbosi quaternari di origine marina, lagunare e continentale. Più ad ovest dell'area Cesarolo – Lignano, in corrispondenza del pozzo AGIP Cavanella 1, ubicato ad ovest di Valle Zignago, il tetto del cretaceo è stato rilevato a profondità maggiori pari a 1140 m, mentre il tetto del terziario è a 745 m.

Le dislocazioni tettoniche che determinano la "dorsale mesozoica" di Cesarolo – Lignano necessariamente condizionano lo spessore della coltre sedimentaria quaternaria. Confrontando il dato di Cavanella 1 e Cesarolo 1 si evidenzia come la copertura quaternaria aumenti di spessore, 270 m, procedendo verso ovest anche di soli pochi chilometri.

In Figura 22 si riporta uno schema del sottosuolo (da Bellani et alii) a scala regionale.

Nel Portogruarese la litostratigrafia si caratterizza, almeno sino alla profondità di 500 – 540 m, da alternanze di litotipi prevalentemente argillosi limosi, con litotipi prevalentemente sabbiosi di diversa origine. Il tetto dei calcari mesozoici è stato rinvenuto alla profondità minima di 725 m. La presenza di ghiaie superficiali è limitata solo alla parte settentrionale, raggiungendo la sua massima estensione in prossimità di Portogruaro.

Le falde acquifere della bassa pianura portogruarese, come visto, sono artesiane, risalienti o zampillanti, e la loro area di ricarica è rappresentata dall'acquifero indifferenziato dell'alta pianura. Il sistema idrogeolo-

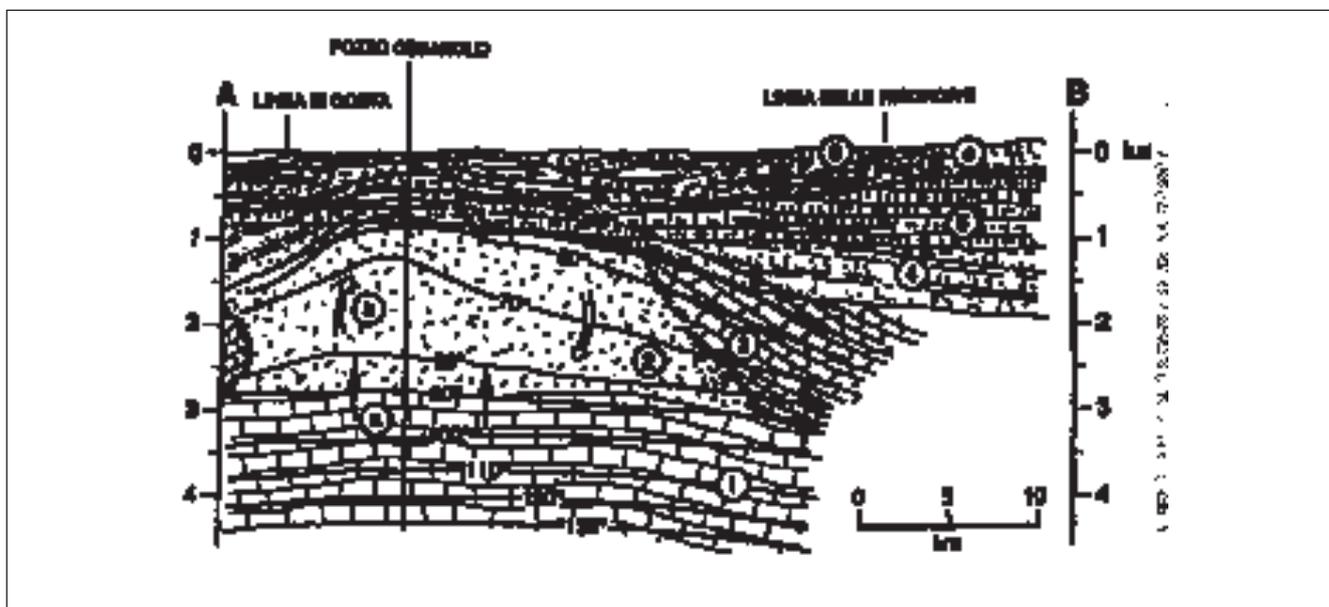


Figura 22 - Schema del sottosuolo dell'area geotermica (da Bellani et alii) – 1) Dolomie e calcari dolomitici (Trias sup.-Lias); 2) Calcare biogenico di piattaforma (Dogger-Cretaceo sup.); 3) Scarpa e calcare di bacino (Dogger-Cretaceo sup.); 4) Flysch (Paleocene-Eocene); 5) Arenarie arcosiche (Miocene); 6) Depositi fluviali e marini (Quaternario); a) conduzione dominante; b) convezione dominante; c) circolazione superficiale.

gico locale della copertura quaternaria è così caratterizzato dalla sovrapposizione di falde acquifere sabbiose, confinate da litotipi a permeabilità da scarsa a nulla, costituenti nell'insieme un "acquifero multistrato" limitato alla base, secondo dati bibliografici, da potenti depositi prevalentemente argillosi, a permeabilità nulla, che impedirebbero la comunicazione con gli acquiferi sottostanti presenti nei depositi terziari. Come riportato nei precedenti paragrafi, nel sottosuolo del Portogruarese, oltre i 10 m di profondità, sono stati rilevati essenzialmente 10 acquiferi (sono rappresentativi dei livelli più permeabili con componente tessiturale prevalente sabbiosa), di cui i primi 8 sono presenti nella coltre sedimentaria quaternaria, mentre i rimanenti appartengono a coperture sedimentarie terziarie, come in prossimità delle località Cesarolo – Lignano, o sono di appartenenza incerta, quaternari – terziari, per la mancanza di attendibili dati stratigrafici.

Su 1120 pozzi censiti nel Portogruarese, 98 (pari al 9%) hanno temperature superiori a 30°C, di cui 74 (pari al 76%) hanno temperature comprese tra 30°C e 40°C, mentre 23 (pari al 24%) hanno valori compresi tra 40°C e 50°C.

Le falde con acque termali da cui attinge il maggior numero di pozzi (79%) sono la 9 e la 10, a profondità superiori di 480 m. Le acque di queste falde sono caratterizzate da valori variabili di conducibilità elettrica (340 – 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con un unico valore anomalo di 7000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in prossimità della località Bevazzana di S. Michele al Tagliamento in corrispon-

denza del pozzo n. 1046 profondo 687 m), una salinità generalmente sempre bassa (< 0.3 g/l), contenuti in Ferro inferiori a 0.2 mg/l e contenuti in Ammoniaca mediamente sotto 2.0 mg/l, ma con anomalie presenti in alcuni pozzi in cui sono stati misurati valori di 33 mg/l. Le pressioni sono piuttosto elevate e variabili mediamente da 0.25 atm. a 3.0 atm. La portata, misurata su diametri medi dei pozzi di 60 mm, ha valori piuttosto elevati se confrontati con le portate dei pozzi che attingono in falde a profondità minore: i valori variano da 1.3 a 3.75 l/s.

La distribuzione dei pozzi nel Portogruarese con temperature superiori a 30° è visualizzata nella Figura 23. In particolare la zona in cui si concentrano i pozzi con i valori più alti di temperatura dell'acqua sono in prossimità degli abitati di Cesarolo (comune di S. Michele al Tagliamento), Bevazzana (comune di S. Michele al Tagliamento), Brussa (comune di Caorle) e Prati Nuovi (comune di S. Michele al Tagliamento).

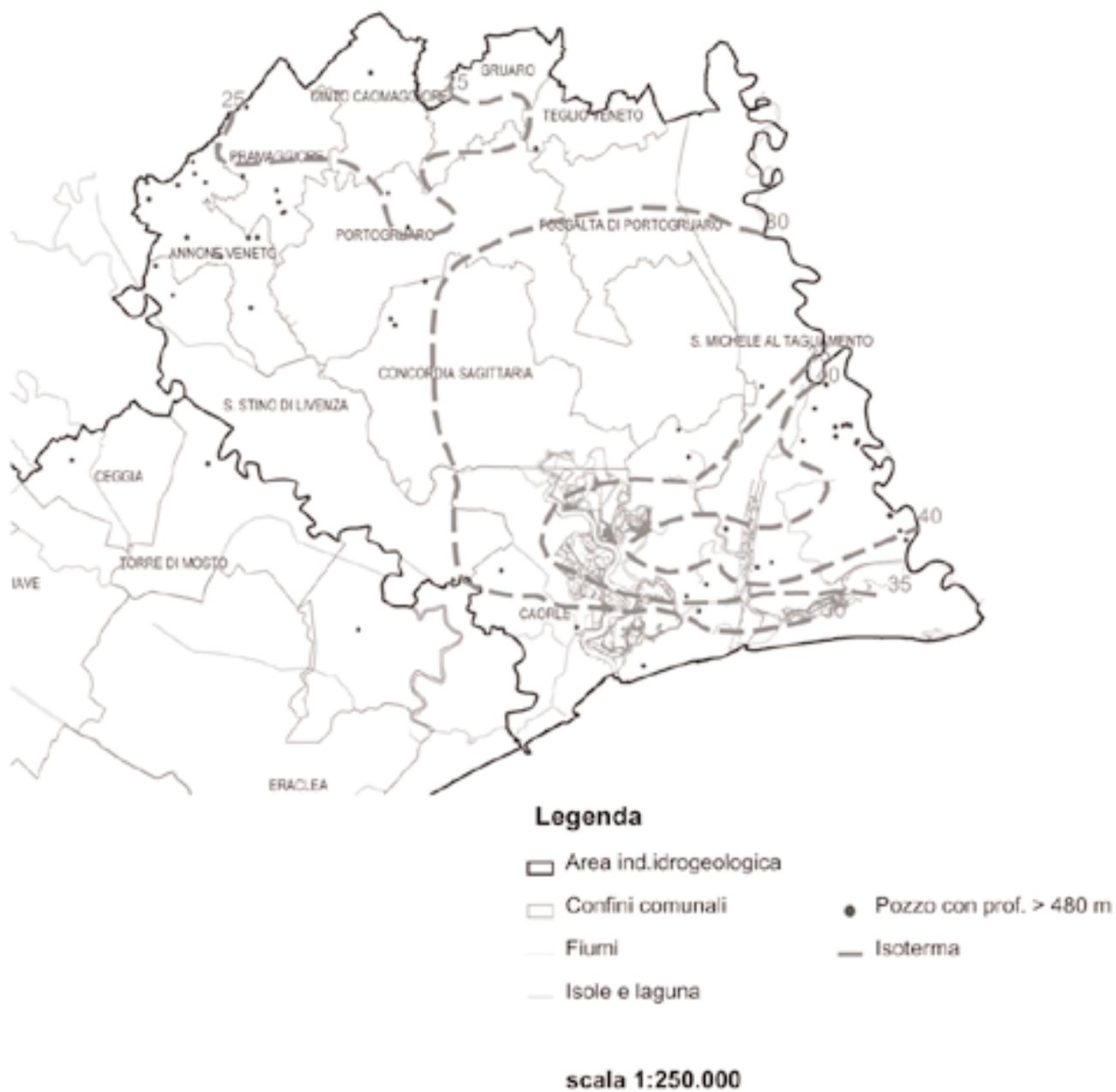


Figura 23 - Distribuzione dei pozzi con Temperatura superiore ai 30°C

## 6.2 RISORSA GEOTERMICA – CENNI NORMATIVI

Nello specifico delle acque termali, dal punto di vista normativo, esistono leggi nazionali e regionali.

A livello nazionale va ricordata la Legge 9 dicembre 1986 n. 896 *“Disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche”*. All’art. 1 comma 4 sono definite *“risorse geotermiche di interesse nazionale quelle economicamente utilizzabili per la realizzazione di un progetto geotermico tale da assicurare una potenza erogabile complessiva di almeno 20.000 kwatt termici alla temperatura convenzionale dei reflui di 25°C”*; al comma 5 sono definite *“risorse geotermiche di interesse locale quelle economicamente utilizzabili per la realizzazione di un progetto geotermico di potenza inferiore a 20.000 kwatt termici ottenibili dal solo fluido geotermico alla temperatura convenzionale dei reflui di 25°C”*; al comma 6 sono considerate *“piccole utilizzazioni locali le utilizzazioni di acque calde geotermiche reperibili a profondità inferiori a 400 m con potenza geotermica complessiva non superiore a 2.000 kwatt termici”*.

A livello regionale le acque termali sono regolate dalla Legge Regionale 10 ottobre 1989 n. 40 *“Disciplina della ricerca, coltivazione e utilizzo delle acque minerali e termali”*, la cui finalità (art. 1) è di tutelare e valorizzare la risorsa geotermale.

La L.R. 40/89 all’art. 7 comma 3 definisce *“acque termali quelle che vengono utilizzate per gli usi curativi o agricoli o industriali e la cui temperatura alla sorgente è superiore a quella media atmosferica della zona”*. Il comma 2, sempre dello stesso articolo, definisce *“acque minerali quelle che vengono utilizzate per le loro proprietà terapeutiche o igieniche speciali, sia per le bevande sia per usi curativi”*. La captazione di un’acqua avente origine da polle sorgive o falde acquifere sotterranee (comma 1 punto a dell’art. 9) deve essere l’oggetto di una domanda per il permesso di ricerca (art. 8) che va presentato alla Giunta Regionale corredata di documenti comprovanti l’area d’indagine, il programma dei lavori e le capacità tecniche ed economiche per l’esecuzione dei lavori. Il permesso di ricerca ha un tempo limitato e stabilito (art. 9 comma 3 punto b). La domanda di concessione (art. 12) per lo sfruttamento della georisorsa termale deve essere corredata da una documentazione che indichi il programma generale di coltivazione, lo studio geologico di dettaglio dell’area interessata dalla concessione, le planimetrie dell’area stessa ed i certificati degli accertamenti fisici, chimico - fisici, chimici e microbiologici nonché relazioni delle ricerche farmacologiche e

cliniche delle acque prelevate. La durata della concessione è in rapporto all’entità degli impianti programmati e comunque non superiore a 30 anni (art. 13 comma 2 punto b). La domanda di ampliamento della superficie concessa sarà assoggettata ad una nuova procedura di rilascio di nuova concessione (art. 12 comma 3). Il concessionario dell’attività ha l’obbligo di installare nell’impianto di adduzione dei misuratori automatici di portata (art. 17 comma 1 punto a) ed inviare semestralmente i dati al dipartimento competente per le acque termali (art. 17 comma 1 punto b). La cessazione del permesso (art. 31) avviene per scadenza dei termini di concessione o per rinuncia o per revoca o per decadenza o per incoltivabilità del giacimento. Per l’apertura e l’esercizio di stabilimenti per l’imbottigliamento delle acque minerali o per l’apertura ed esercizio di stabilimenti termali, sono previste autorizzazioni della Giunta Regionale (art. 39) la cui validità è a tempo indeterminato. Ciò salvo innovazioni o modifiche, a quanto corredato alla domanda di apertura dell’esercizio, che determinerebbero un nuovo processo di autorizzazione. A chiunque intraprenda la ricerca o coltivazione di acque termali e minerali senza i prescritti permessi di ricerca o titoli di concessione o autorizzazione, saranno comminate sanzioni amministrative con il pagamento di una somma in denaro (art. 50).

## 6.3 RISORSA GEOTERMICA - CONCLUSIONI

Tra i centri abitati di Portogruaro - S. Michele al Tagliamento a nord, e Caorle - Bibione a sud, è delimitata una vasta area termale che si manifesta con temperature anomale delle acque di falda erogate dai pozzi.

Le falde termali sono distribuite nell’intervallo di profondità di 150 – 700 m, in orizzonti acquiferi prevalentemente sabbiosi e/o ghiaiosi tra loro sovrapposti nella copertura sedimentaria quaternaria, il cui letto è posto alla profondità minima indicativa di 475 m, e nella copertura sedimentaria terziaria, il cui letto è posto alla profondità minima indicativa di 725 m.

Le falde acquifere, con anomali gradienti termici, maggiormente utilizzate (87% dei pozzi) sono quelle presenti a profondità tra 150 - 315 m (50%) ed a profondità maggiori di 480 m (37%).

Le temperature delle acque sono superiori se captate a profondità maggiori di 400 m, con valori variabili da 20°C a 50°C, mentre sotto i 400 m i valori sono variabili da 15°C a 25°C. Le isoterme relative alle due principali classi di profondità da cui i pozzi attingono

dimostrano che l'anomalia termica è molto accentuata a profondità maggiori di 480 m, con la delimitazione di un duomo positivo maggiore di 35°C tra gli abitati di Cesarolo – Brussa – Bevazzana.

Il gradiente termico delle acque erogate, con valori variabili da 3°C a 9°C ogni 100 m, ha valori anomali alle varie profondità di captazione dei pozzi la cui distribuzione areale è delimitata dagli abitati di Portogruaro – Fossalta di Portogruaro – S. Mauro – Bibione – Caorle. I pozzi con i valori più alti di gradiente termico sono concentrati tra gli abitati Cesarolo – Bevazzana – Brussa.

Le prevalenze dal piano campagna sono variabili da 0,6 m a oltre 20 m, con valori più alti nelle falde oltre i 480 m di profondità. Le portate spontanee erogate da pozzi di 2-3" sono variabili da 0 a 4 e, come per la prevalenza, i valori maggiori sono in corrispondenza delle falde oltre i 480 m di profondità.

Alcuni autori sono concordi nel ritenere determinante la presenza della dorsale mesozoica calcarea di Cesarolo, in cui la circolazione convettiva dei fluidi presenti al suo interno riscalderebbe per conduzione gli strati di copertura soprastanti.

A conferma di questo, è rilevante che le acque più calde siano prelevate a profondità maggiori di 480 m in depositi terziari a diretto contatto con i calcari mesozoici. Ciò sarebbe anche analogo al termalismo rilevato nelle aree friulane limitrofe alla foce Tagliamento.

È però significativa la presenza di anomalie termiche anche a profondità minori di 400 m e soprattutto nell'intervallo di profondità di 150 – 315 m; quindi in acquiferi non fisicamente a diretto contatto con i depositi calcarei ed in una situazione idrogeologica che non prevede comunicazione con falde profonde oltre i 400 m.

Probabilmente un approfondimento delle attuali conoscenze litostratigrafiche, idrogeologiche e chimiche, potrebbe meglio chiarire l'origine del termalismo, al fine di valutare le reali potenzialità della georisorsa.

Allo stato attuale è stato stimato un consumo anno di circa 6.000.000 di m<sup>3</sup>, pari a 183 l/s, che sono prevalentemente prelevati negli acquiferi alla profondità di 150 – 315 m (26%) ed alla profondità maggiore di 480 m (61%).

È significativo sottolineare che il consumo, pur essendo elevato, non corrisponde ad un reale utilizzo della georisorsa, poiché spesso i pozzi sono lasciati ad erogazione spontanea continua anche in periodi di non utilizzo.

## 6.4 RISORSE GEOTERMICHE – APPUNTI PER UN APPROFONDIMENTO DELLE CONOSCENZE

### 6.4.1 Stato delle conoscenze sulla risorsa geotermica

Le Indagini idrogeologiche hanno messo in evidenza:

- l'interesse per questa georisorsa per usi plurimi;
- le potenzialità di questa georisorsa che, seppur non ancora quantificate, sembrano "importanti";
- l'esistenza di uno sfruttamento che appare da razionalizzare.

Le indagini idrogeologiche fino ad oggi eseguite, e più specificatamente la presente indagine, non erano finalizzate direttamente allo studio della risorsa geotermica, per cui gli studi fino ad ora effettuati hanno permesso di raccogliere una serie di importanti dati (tra cui anche il censimento "porta a porta" dei pozzi intercettanti acquiferi termali) ma non di approfondire le conoscenze oltre i limiti degli obiettivi di progetto.

Nel complesso quindi ad oggi non è possibile quantificare con precisione un bilancio idrogeologico e energetico esclusivamente del circuito idrotermale, necessari per programmare uno sfruttamento razionale della risorsa e per valutare la convenienza economica di eventuali programmi di sfruttamento. Va però notato che le temperature riscontrate, unite alla ampiezza dell'area termale e al fatto che il fluido termale è rappresentato da acqua con bassi valori di salinità (cosa piuttosto rara anche nel caso di giacimenti geotermici a bassa entalpia) permettono di ipotizzare interessanti possibilità di utilizzo razionale della risorsa.

### 6.4.2 Indicazioni per una analisi del sistema geotermico

Sulla base dei dati fino ad oggi raccolti è possibile definire quali sono gli elementi che maggiormente meriterebbero di essere approfonditi, al fine di pianificare e progettare un uso della risorsa.

In particolare gli elementi fondamentali da approfondire risultano:

1. la struttura geologica del circuito termale
2. i parametri idrodinamici degli acquiferi termali
3. la piezometria
4. il bilancio idrogeologico
5. il bilancio energetico

Ciò in particolare al fine di definire quali portate e quali quantitativi di energia sono estraibili dal sottosuolo, al fine di garantire il mantenimento della risorsa nel tempo e di avere una remuneratività di eventuali investimenti.

Va notato che per molti aspetti risulta valido lo schema di progetto adottato nella presente indagine,

ovviamente adattato e dettagliato al tema della risorsa termale. Va inoltre notato che parte dell'area termale è ubicata nella limitrofa regione Friuli Venezia-Giulia e quindi andrebbe verificata la disponibilità di ulteriori dati su quest'area, oltre a quelli già raccolti nelle citate indagini idrogeologiche.

## 7. Elementi di bilancio idrogeologico

### 7.1 TARATURA DEI DATI SUI PRELIEVI DI ACQUE SOTTERRANEE

Il progetto prevedeva che per la quantificazione dei prelievi delle acque sotterranee, dato indispensabile per la redazione del bilancio idrogeologico, venissero utilizzati i dati raccolti dalla Provincia di Venezia nel quadro della “Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia”, dopo una apposita fase di taratura. Era in progetto di effettuare la taratura dei prelievi mediante un approfondimento delle indagini preesistenti in tre “aree campione”.

Durante lo svolgimento del progetto si è concretizzata la possibilità di effettuare una taratura dei dati disponibili non solo su tre aree campione, ma sull'intero territorio di progetto.

Ciò è stato reso possibile dalla disponibilità di due banche dati, completamente informatizzate, che risultano:

- la banca dati relativa alla informatizzazione della cartografia catastale, realizzata dal “Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento”;
- la banca dati relativa alle autodenunce dei pozzi e degli approvvigionamenti idrici autonomi, in corso di ultimazione nell'ambito di un progetto della Provincia di Venezia (Settore Politiche Ambientali), denominata “*Catasto informatizzato delle autodenunce degli approvvigionamenti idrici autonomi e delle autodenunce dei pozzi previste dall'art. 10 del D.Lgs. 275/93*”.

Dall'incrocio di queste due banche e dal successivo confronto con la preesistente banca dati relativa al censimento-pozzi effettuato nel 1997-98 dalla Provincia di Venezia, è stato possibile ottenere una taratura dell'entità dei prelievi adeguata alla scala ed al dettaglio richiesto dal bilancio idrogeologico previsto in progetto.

Il catasto informatizzato delle autodenunce si basa sulle seguenti dichiarazioni:

1. autodenunce dei pozzi di cui all'art. 10 del decreto legislativo n. 275/93 pervenute alla Provincia sino a tutto il 31 gennaio 2001;

2. autodenunce relative agli approvvigionamenti idrici autonomi pervenute alla Provincia e relative almeno agli anni 1998 e 1999.

### 7.2 METODOLOGIA DI TARATURA DEI DATI SUI PRELIEVI IDRICI DA FALDA

La taratura dei dati sui prelievi idrici ha seguito il seguente schema logico:

- ubicazione cartografica delle schede delle autodenunce mediante incrocio tra i dati del catasto informatizzato delle autodenunce e la cartografia catastale informatizzata. Il collegamento delle due banche dati è stato ottenuto utilizzando il dato relativo al foglio ed al mappale catastale;
- ubicazione delle schede che non risultavano ubicate mediante il metodo sovradescripto tramite l'utilizzo di altre procedure “semi-automatiche” (ad es. incrociando il dato del codice fiscale del proprietario). Per ottenere l'ubicazione del maggior numero di schede possibili si sono poi analizzate “una ad una” tutte le schede che non erano state ubicate con procedure informatiche;
- confronto con i dati del censimento pozzi realizzato nel 1997-98 dalla Provincia di Venezia e taratura dei dati sui prelievi.

Va peraltro notato che “l'utilità” della procedura effettuata, e in particolare il fatto di avere georeferenziato le schede delle autodenunce, è più ampia di quella strettamente di progetto (ovvero di avere una taratura dei prelievi idrici sotterranei). Infatti, in genere l'utilizzabilità dei dati contenuti nelle schede di autodenuncia sia per caratterizzazioni di tipo territoriale sia per altri scopi risulta piuttosto scarsa proprio perché le autodenunce identificano l'ubicazione dei pozzi mediante l'indicazione dell'indirizzo e del foglio e del mappale catastale, ma ad esse non è allegata alcuna cartografia.

Nella sostanza, soprattutto in aree ad alta densità abitativa, risulta difficile ubicare un pozzo dal solo dato dell'autodenuncia senza l'effettuazione di un apposito sopralluogo (come d'altronde fatto per “l'indagine idrogeologica della provincia di Venezia” su oltre 3000

pozzi) o senza recuperare la cartografia catastale. In questo caso i dati sono risultati utilizzabili in quanto ubicabili grazie al fatto che il Consorzio di Bonifica aveva precedentemente realizzato la cartografia catastale in forma completamente informatizzata. A quanto ci risulta, almeno per il Veneto, si tratta del primo caso in cui si arriva ad una georeferenziazione dei dati delle schede delle autodenunce dei prelievi idrici autonomi e dei pozzi. Va precisato che questo metodo è solo parzialmente automatico in quanto in varie autodenunce non risultano indicati i dati catastali (pari al 14% dei pozzi autodenunciati), in altre vi sono inesattezze. Di conseguenza per realizzare completamente l'incrocio si sono dovute attuare anche operazioni parzialmente automatiche che hanno necessitato di un impegno temporale notevole da parte dei tecnici del Consorzio di Bonifica.

Delle varie cartografie realizzate si riporta quella che rappresenta congiuntamente la georeferenziazione sia dei punti censiti e misurati nell'ambito della precedente "Indagine idrogeologica della provincia di Venezia" sia dei pozzi risultanti dal catasto delle autodenunce. Si può notare come sia possibile collegare e, quindi, verificare direttamente dalla georeferenziazione, moltissime schede di autodenuncia. Risulta anche una serie di punti che sono presenti solo su una delle due banche dati. In particolare si nota una serie di punti che sono presenti solo nella banca dati della Indagine idrogeologica, in genere perché risultanti dal censimento eseguito con il metodo "porta a porta". Dal controllo incrociato delle due banche dati si è potuto tarare il dato dei quantitativi idrici prelevati dal sottosuolo, che verrà esposto nei successivi paragrafi.

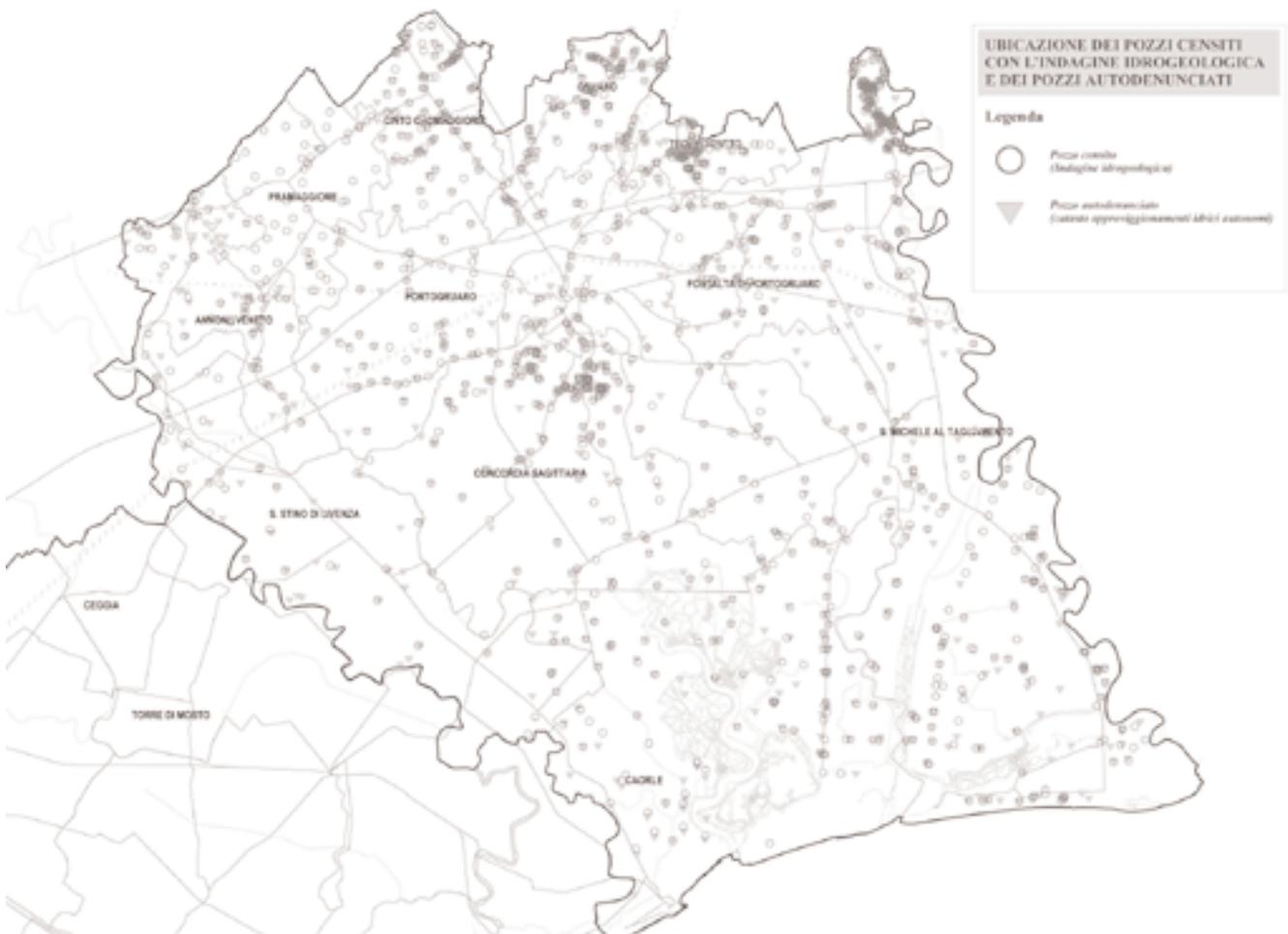


Figura 24 - Confronto tra i pozzi censiti e quelli autodenunciati.

## 7.3 VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE RISORSE (BILANCIO IDROGEOLOGICO)

### 7.3.1 Generalità

Nella presente fase del lavoro si sono elaborati i dati che forniscono informazioni sulla disponibilità idrica sotterranea e che permettono di impostare un bilancio idrogeologico.

A tale scopo si sono realizzate le seguenti operazioni:

- stima dei volumi d'acqua presenti nel sottosuolo
- stima delle portate fluenti negli acquiferi
- confronto con le portate emunte dal sottosuolo
- analisi della sostenibilità dei prelievi attuali e delle disponibilità future

### 7.3.2 Limiti del sistema idrogeologico

L'area su cui si è valutata la disponibilità idrica coincide con quella di competenza del Consorzio di Bonifica, delimitata ad Est dal fiume Tagliamento, ad Ovest dal Fiume Livenza, a Sud dal Mare Adriatico e a Nord coincidente con il confine provinciale<sup>(22)</sup>. I limiti consortili in parte coincidono con limiti idrogeologici naturali. La più volte segnalata mancanza di dettagliate stratigrafie omogeneamente distribuite rende difficoltoso delimitare con precisione i confini del sistema idrogeologico, pertanto le successive considerazioni sono basate su conoscenze bibliografiche e sull'interpretazione dei parametri idrodinamici rilevati sperimentalmente.

Più in dettaglio il sistema idrogeologico di interesse è ben delimitato ad Ovest e ad Est proprio in coincidenza dei confini del Consorzio (fiumi Livenza e Tagliamento) e, in parte, anche a Sud mentre non lo è a Nord.

Infatti le condizioni al contorno del sistema idrogeologico possono essere così schematizzate:

- ad Est, il Tagliamento, nella sovrastante alta pianura indifferenziata pordenonese, rappresenta un asse alimentante la falda e quindi coincide con uno spartiacque sotterraneo. In corrispondenza dell'area indagata il limite idrogeologico potrebbe essere alimentante a potenziale imposto per le falde più superficiali, mentre potrebbe essere a flusso uscente per le falde sottostanti <sup>(23)</sup>;

<sup>(22)</sup> Con l'eccezione di una piccola area posta in comune di Motta di Livenza (TV).

<sup>(23)</sup> Una più dettagliata definizione del limite idrogeologico necessiterebbe di un'estensione della indagine nella sovrastante pianura pordenonese.

- ad Ovest, il fiume Livenza coincide indicativamente con un limite geologico (faglia) che fa sì che gli acquiferi tendano a chiudersi in coincidenza con esso. Di conseguenza, come notato in altre parti del presente lavoro, accade che all'altezza del fiume Livenza le risorse idriche sotterranee diminuiscano nettamente di qualità e quantità;

- a Sud (mare Adriatico) sono disponibili informazioni limitate sulla struttura idrogeologica. È presumibile che, almeno in parte, gli acquiferi si prolunghino al di sotto del mare Adriatico;

- a Nord la struttura degli acquiferi confinati prosegue; pertanto, come sarà meglio dettagliato in seguito, è presente un limite idrogeologico a flusso idrico entrante: va notato il dato estremamente importante che sulle stesse falde nel Pordenonese si localizzano importantissimi prelievi che vanno ad interessare lo stesso sistema idrogeologico oggetto del presente lavoro.

Va quindi fin da ora premesso che un significativo contributo alla conoscenza ed alla gestione delle risorse idriche del Portogruarese potrà derivare dalle integrazioni delle informazioni idrogeologiche raccolte nel quadro del presente lavoro con quelle disponibili nella zona a monte del Pordenonese adeguatamente arricchito dalle informazioni necessarie ad una sintesi che coinvolga l'intero sistema idrogeologico. Infine si premette che i quantitativi prelevati nella sovrastante pianura pordenonese appaiono quantitativamente preponderanti rispetto a quelli che si hanno nel Portogruarese.

### 7.3.3 Stima dei volumi d'acqua disponibili nel sottosuolo (riserva idrica sotterranea)

#### 7.3.3.1 Metodologia

La stima dei volumi d'acqua disponibili nel sottosuolo può essere ottenuta, per le parti di sottosuolo classificabili come acquiferi, considerando lo spessore degli acquiferi e la porosità efficace.

Va precisato che questo calcolo non stima le portate in entrata e in uscita dal sistema idrogeologico, ma i quantitativi d'acqua alloggiabili nei serbatoi (acquiferi). Utilizzando una terminologia più specificatamente idrogeologica, questo calcolo porta ad una definizione della riserva totale dell'acquifero e non della risorsa la cui valutazione presuppone l'utilizzo dei parametri idrodinamici ed idrochimici degli acquiferi (si vedano i paragrafi successivi). In pratica si è effettuato un calcolo della riserva geologica e cioè del

volume che permea i terreni porosi (sabbie e ghiaie) della zona delle falde in pressione presenti negli acquiferi sovrapposti.

Per tale fine i dati necessari sono i seguenti:

- la geometria degli acquiferi (spessore e distribuzione);
- la porosità efficace.

Per entrambi i dati esistono delle oggettive difficoltà per avere informazioni di dettaglio.

Infatti la ricostruzione della geometria degli acquiferi, che è stato il punto di partenza sia di questa indagine che della preesistente indagine svolta dalla Provincia di Venezia, si basa sulla disponibilità di stratigrafie geologiche di sufficiente dettaglio.

Più volte si è messo in luce che, nonostante il territorio sia cosparso di centinaia di pozzi, le stratigrafie disponibili sono in numero estremamente limitato e spesso di precisione scarsa.

Per ottenere una stima del maggior dettaglio possibile si sono quindi elaborate statisticamente le stratigrafie disponibili, calcolando per ciascuna la percentuale di terreni acquiferi (identificati come aventi granulometria pari o superiore a quella delle sabbie).

Relativamente al valore della porosità efficace, esso risulta un dato misurabile anche da prove sperimentali, anche se non di immediata realizzabilità nella situazione idrogeologica del Portogruarese. Va però notato che esse, per ovvii motivi di priorità nella acquisizione delle informazioni idrogeologiche (si ricorda che, fino al 1997, sul Portogruarese le informazioni idrogeologiche erano pressoché nulle), non sono state previste in progetto. Di conseguenza per questo parametro si sono utilizzati dati generali riportati in letteratura.

### 7.3.3.2 Stima dello spessore acquifero

Dati preesistenti sugli spessori acquiferi (lordo poroso: sabbia e ghiaia) risultavano in bibliografia solo su scala regionale (IRSEV, 1977).

Si è quindi proceduto al calcolo del lordo poroso per tutti i punti di cui era disponibile la stratigrafia a profondità superiore ai 35 metri, per un totale di un centinaio punti. I dati elaborati sono riportati in Figura 25.

### 7.3.3.3 Stima della porosità efficace

Non essendo disponibili misure sperimentali della porosità efficace dei differenti acquiferi, i valori della porosità sono stati tratti da dati presenti nella lettera-

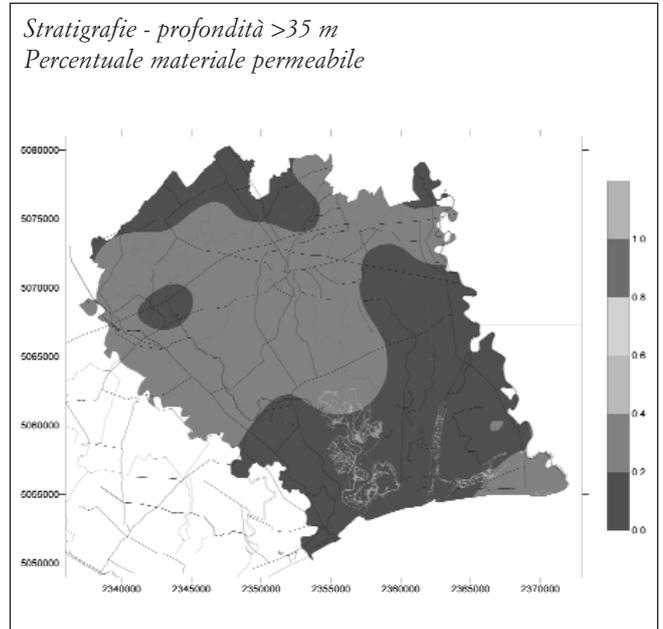


Figura 25 - Spessore dei materiali acquiferi (lordo poroso: sabbia e ghiaia) espresso in percentuale, elaborato sulla base delle stratigrafie di profondità superiore ai 35 metri.

tura idrogeologica. Ai fini del calcolo della riserva idrica si sono considerati due differenti valori di porosità:

$$n_e = 0.12$$

$$n_e = 0.20$$

In assenza di determinazioni sperimentali di porosità si sono mantenute per tutte le falde i medesimi valori di porosità, anche se ciò rappresenta ovviamente una evidente approssimazione. Futuri approfondimenti, basati su ulteriori parametrizzazioni idrogeologiche, potranno permettere di definire la porosità falda per falda.

### 7.3.3.4 Calcolo della riserva idrica

Per ciascuno degli acquiferi individuati la riserva può essere valutata sulla base della presente formula:

$$W = V n_e = A b n_e$$

V = volume dell'acquifero

$n_e$  = porosità efficace

A = superficie

b = spessore medio dell'acquifero

Considerando che il valore della porosità efficace è una stima, si è eseguito il calcolo considerando due valori. Non si è considerata la prima falda (10-20 m) in quanto il suo contributo alla riserva idrica è trascurabile.

Nelle seguenti tabelle si riportano i valori calcolati:

Tabella 11 - Riserva idrica (con  $n_e=0.12$ )

Profondità (m)	Falda	Spessore acquifero (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	$n_e$	Volume (m <sup>3</sup> )
10 – 20	I° Falda				
35 – 55	II° Falda	11	14 000 000	0,12	1,8E+07
60 – 90	III° Falda	6	219 000 000	0,12	1,6E+08
100 – 130	IV° Falda	9	355 000 000	0,12	3,8E+08
150 – 240	V° Falda	11	533 000 000	0,12	7,0E+08
250 – 315	VI° Falda	26	533 000 000	0,12	1,7E+09
320 – 380	VII° Falda	12	533 000 000	0,12	7,7E+08
400 – 460	VIII° Falda	8	533 000 000	0,12	5,1E+08
480 – 560	IX° Falda	23	533 000 000	0,12	1,5E+09
> 580	X° Falda	21	533 000 000	0,12	1,3E+09
	Totale	127	3 786 000 000		7,0E+09

Tabella 12 - Riserva idrica (con  $n_e=0.20$ )

Profondità	Falda	Spessore acquifero (m)	superficie (m <sup>2</sup> )	$n_e$	Volume (m <sup>3</sup> )
10 – 20	I° Falda				
35 – 55	II° Falda	11	14 000 000	0,20	3,1E+07
60 – 90	III° Falda	6	219 000 000	0,20	2,6E+08
100 – 130	IV° Falda	9	355 000 000	0,20	6,4E+08
150 – 240	V° Falda	11	533 000 000	0,20	1,2E+09
250 – 315	VI° Falda	26	533 000 000	0,20	2,8E+09
320 – 380	VII° Falda	12	533 000 000	0,20	1,3E+09
400 – 460	VIII° Falda	8	533 000 000	0,20	8,5E+08
480 – 560	IX° Falda	23	533 000 000	0,20	2,5E+09
> 580	X° Falda	21	533 000 000	0,20	2,2E+09
	Totale	127	3 786 000 000		1,2E+10

Dalla analisi delle tabelle risulta che la riserva d'acqua del Portogruarese può essere stimata tra i 7 e i 12 miliardi di m<sup>3</sup> (ovvero tra i 7 e 12 km<sup>3</sup>).

Si tratta di una riserva idrica quantitativamente notevole.

A titolo di confronto si nota che la zona di alimentazione a monte (alta pianura in provincia di Pordenone) riceve una alimentazione di circa 40 m<sup>3</sup>/s<sup>(24)</sup>. Se tutta quest'acqua andasse alimentare gli acquiferi confinati del Portogruarese<sup>(25)</sup>, risulta che per riempire il loro volume occorrerebbero tra i 6 e i 9 anni di tempo.

Considerando invece la portata che alcuni studi (Mosetti, 1983) ritengono alimenti le falde in pressione in oggetto<sup>(26)</sup>, stimata in 6 m<sup>3</sup>/s, in assenza di qualsiasi prelievo, il tempo necessario a colmare (e, vice-

versa, a svuotare con analogo portata) l'acquifero sale a 38-63 anni. Di conseguenza, considerando che il sistema idrogeologico comprende anche una consistente parte nell'area a monte non compresa in progetto, è possibile stimare la durata di rinnovamento<sup>(27)</sup> attorno ai 100 anni.

<sup>(24)</sup> Il dato è noto solo approssimativamente (cfr. Mosetti, 1983).

<sup>(25)</sup> Ovvero senza alcun altro elemento di drenaggio naturale e/o artificiale e senza considerare i volumi acquiferi in continuità con quelli in parola ricadenti in provincia di Pordenone.

<sup>(26)</sup> Compresa la parte a Nord ricadente in provincia di Pordenone.

<sup>(27)</sup> Si definisce durata di rinnovamento la durata teorica necessaria affinché il volume cumulato dell'alimentazione dell'acquifero sia eguale alla sua riserva.

### 7.3.4 Portate

Il calcolo delle portate fluenti nel sottosuolo è stato realizzato partendo dai dati sperimentali raccolti nella fase di parametrizzazione idrogeologica.

La portata di una falda viene calcolata dalla seguente formula, derivata dalla legge di Darcy:

$$Q = T i L$$

dove:

Q = portata (m<sup>3</sup>/s)

T = trasmissività (m<sup>2</sup>/s)

i = gradiente idraulico

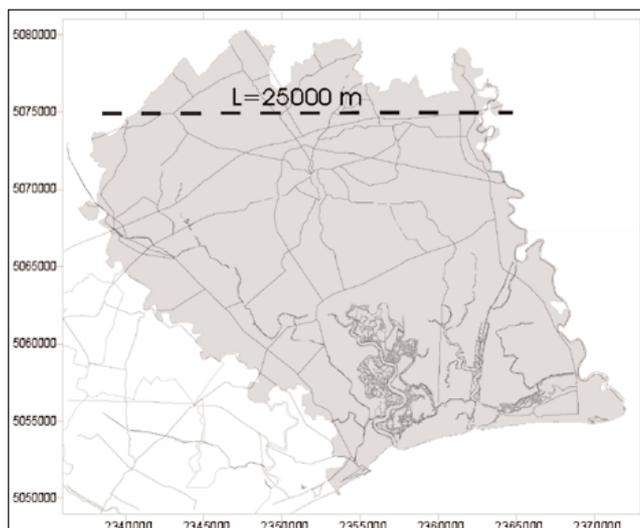
L = larghezza della sezione (m)

La portata in transito è stata calcolata su una sezione con direzione Est-Ovest posta al margine Nord dell'area indagata (e quindi in ingresso al sistema idrogeologico) ed in una seconda sezione posta all'altezza di Portogruaro di lunghezza (L) pari a 25000 m. Le sezioni sono illustrate dalla Figura 26 e dalla Figura 27.

Le sezioni sono state scelte con direzione Est-Ovest in quanto all'altezza di Portogruaro tutte le falde hanno direzione media di deflusso abbastanza vicina alla direzione Nord-Sud (si vedano le tavole allegate). Per la prima sezione questo dato è meno preciso ma si è considerato il margine di errore accettabile.

La latitudine di Portogruaro, per la seconda sezione, è stata scelta non solo perché abbastanza centrale rispetto all'area di indagine ma anche perché il gradiente idraulico tende ad essere più elevato nella parte a monte per poi divenire molto basso avvicinandosi all'Adriatico. All'altezza di Portogruaro quindi si

Figura 26 - Sezione Est-Ovest, posta in ingresso all'area di studio, utilizzata per il calcolo delle portate delle falde.



hanno valori di gradiente idraulici vicini alla media. Per il calcolo del gradiente idraulico, si è utilizzata per ciascuna falda la relativa carta piezometrica (si vedano le cartografie allegate) considerando, per la prima sezione, il valore medio nei 2.5 km a monte della sezione stessa, mentre per la seconda sezione si è considerato il valore medio in una fascia di 10 km di larghezza (5 a Nord e 5 a Sud della sezione considerata). La Figura 28 riporta l'area su cui è stato calcolato il gradiente idraulico medio per la seconda sezione. Per la trasmissività si sono utilizzati i valori ricavati nelle prove di pompaggio. Nel caso fossero disponibili più prove (per alcune falde: 4) si è utilizzato il valore medio. Per le falde meno significative da un punto

Tabella 13 - Valori di portata per ciascuna falda<sup>(28)</sup>, calcolati sulla prima sezione (sezione in ingresso).

Profondità	Falda	T (m <sup>2</sup> /s)	i	L (m)	Q falda (m <sup>3</sup> /s) Sezione 1
10 – 20	I° Falda				
35 – 55	II° Falda	5,80E-03	1,50E-03	15000	0,131
60 – 90	III° Falda	3,60E-05	1,20E-03	15000	0,001
100 – 130	IV° Falda	3,60E-05	2,00E-03	16000	0,001
150 – 240	V° Falda	2,50E-04	2,00E-03	25000	0,013
250 – 315	VI° Falda	8,30E-04	2,00E-03	25000	0,042
320 – 380	VII° Falda	7,10E-04	2,40E-03	25000	0,043
400 – 460	VIII° Falda	6,26E-04	2,40E-03	25000	0,038
480 – 560	IX° Falda	1,80E-03	3,20E-03	25000	0,144
> 580	X° Falda	3,70E-03	2,00E-03	25000	0,185
	Totale				0,595

<sup>(28)</sup> In corsivo i valori di Trasmissività non misurati sperimentalmente ma stimati.

Figura 27 - Sezione Est-Ovest, posta all'altezza di Portogruaro per il calcolo delle portate delle falde.

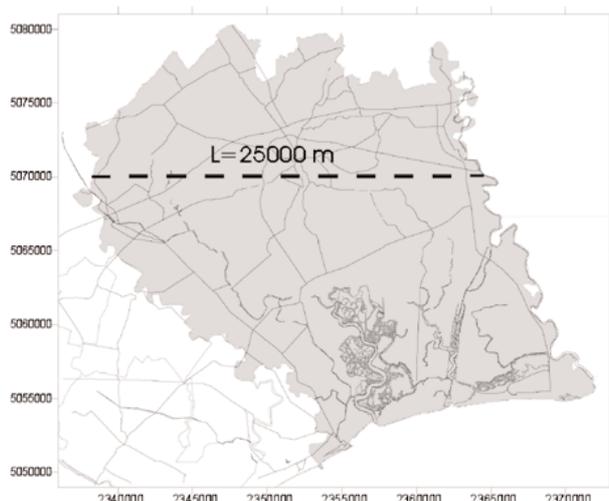
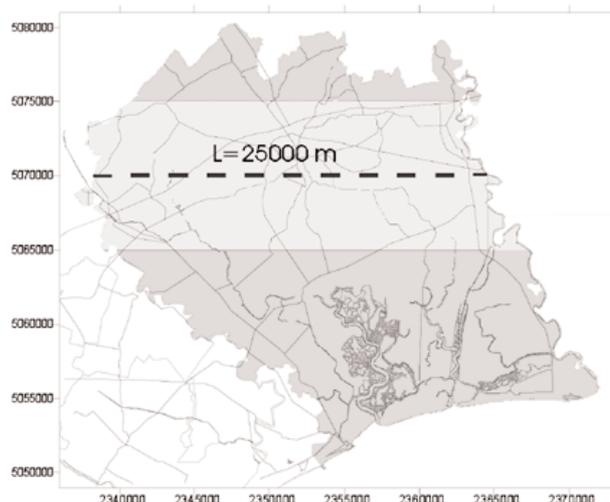


Figura 28 - Fascia sulla quale si è calcolato il gradiente idraulico medio.



di vista idrogeologico (seconda, terza e ottava) si sono utilizzati dei valori indicativi. Non si è considerata la prima falda per il suo trascurabile contributo alla portata complessiva.

Le tabelle riportano i valori di portata calcolati per ciascuna falda sulle due sezioni considerate.

### 7.3.5 Entità dei prelievi

La conoscenza dei quantitativi prelevati risulta di notevole importanza nella definizione di un bilancio idrogeologico dell'area. Infatti dalle informazioni disponibili essi rappresentano l'unica discarica del

sistema. “Mancano le prove di una discarica nel mare, ma la profondità dell'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra sul litorale di Venezia<sup>(30)</sup> (Pozzo Lido 1), che si incontra a circa 330 m sotto il livello del mare, esclude una discarica lungo il litorale. Essa, se pure esiste, potrebbe avere luogo solo a distanza dalla costa e ciò, in base a considerazioni strutturali, appare poco probabile” (IRSEV, 1977).

Per la valutazione dei prelievi per singola falda si sono utilizzati i dati raccolti dalla Provincia di Venezia nel periodo 1997-1998 appositamente tarati.

Nell'area di studio lo sfruttamento dalle acque sotterranee è da imputare ad un utilizzo prevalentemente privato della risorsa.

Tabella 14 - Valori di portata per ciascuna falda<sup>(29)</sup>, calcolati sulla seconda sezione (alla latitudine di Portogruaro).

Profondità	Falda	$T (m^2/s)$	$i$	$L (m)$	$Q \text{ falda } (m^3/s)$ Sezione 2
10 – 20	I° Falda				
35 – 55	II° Falda				
60 – 90	III° Falda	3,60E-05	7,00E-04	15000	0,000
100 – 130	IV° Falda	3,60E-05	9,00E-04	16000	0,001
150 – 240	V° Falda	2,50E-04	9,00E-04	25000	0,006
250 – 315	VI° Falda	8,30E-04	9,00E-04	25000	0,019
320 – 380	VII° Falda	7,10E-04	1,10E-03	25000	0,020
400 – 460	VIII° Falda	6,26E-04	1,30E-03	25000	0,020
480 – 560	IX° Falda	1,80E-03	7,30E-04	25000	0,033
> 580	X° Falda	3,70E-03	1,10E-03	25000	0,102
	Totale				0,200

<sup>(29)</sup> In corsivo i valori di Trasmissività non misurati sperimentalmente ma stimati.

<sup>(30)</sup> Nel caso dell'area in studio questa interfaccia risulta sicuramente più profonda. Questo è dimostrato dai dati sulla conducibilità (tavola 4), dove fino a 600 metri si evidenzia l'assenza di acque salmastre.

Il territorio studiato, pur essendo quasi interamente coperto dalla rete acquedottistica del Consorzio Acquedotto Basso Livenza (fornisce i comuni di: Caorle, S. Stino di Livenza, Annone Veneto, Pramaggiore, Cinto Caomaggiore, Portogruaro, Concordia Sagittaria), del Consorzio Acquedotto Basso Tagliamento (fornisce i comuni di: Portogruaro, Fossalta di Portogruaro, Teglio Veneto, Gruaro, S. Michele al Tagliamento), risente dei prelievi di un solo pozzo acquedottistico (dell'ex Acquedotto di Portogruaro) ubicato in località Stallis di Gruaro, al confine con la provincia di Pordenone. I restanti prelievi acquedottistici si ubicano in provincia di Pordenone, pertanto sono esterni all'area di studio. Esistono delle aree limitate prive del servizio acquedottistico soprattutto in prossimità della Valle Zignago e della Laguna di Caorle.

I pozzi censiti sono quasi esclusivamente con portata spontanea, salvo quelli della I falda che sono dotati di un dispositivo di sollevamento con pompa sommersa o aspirante. È stato pertanto possibile determinare il consumo in litri/anno relativamente ad ogni falda.

Su un totale di 1120 pozzi censiti, 885, pari al 79%, sono con portata spontanea, mentre 235, pari al 21%, sono dotati di pompa aspirante o sommersa. In taluni casi esistono pozzi con portata spontanea che in determinati periodi dell'anno o per particolari utilizzi (uso irriguo o industriale) vengono più intensamente sfruttati con l'ausilio di pompe.

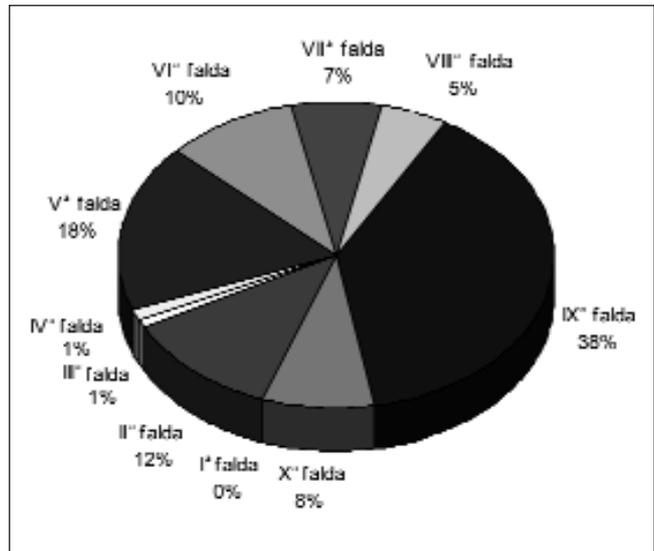
I calcoli del consumo di seguito riportati sono stati fatti sulla base delle portate spontanee di esercizio misurate in campagna o sui valori del consumo auto-denunciato dal proprietario del pozzo.

Dalla tabella riportata di seguito si evidenzia l'intenso sfruttamento della IX falda. Il consumo totale relativo

Tabella 15 - Prelievi misurati per ciascuna falda.

Profondità	Falda	Consumo (m <sup>3</sup> /anno)	% sul totale
10 – 20	I° Falda	812	0%
35 – 55	II° Falda	1.630.000	12%
60 – 90	III° Falda	114.000	1%
100 – 130	IV° Falda	163.000	1%
150 – 240	V° Falda	2.500.000	18%
250 – 315	VI° Falda	1.346.000	10%
320 – 380	VII° Falda	931.000	7%
400 – 460	VIII° Falda	722.000	5%
480 – 560	IX° Falda	5.450.000	38%
> 580	X° Falda	1.165.000	8%

Figura 29 - Percentuale del consumo totale prelevato da ciascuna falda.



è di 14.000.000 m<sup>3</sup>/anno, pari a 444 litri/secondo. Esso corrisponde al 95% del consumo totale ed è stato calcolato su 920 pozzi con profondità e consumo noti (il consumo misurato sull'intera area di studio, considerando anche i pozzi di profondità non nota, è di 14.700.000 m<sup>3</sup>/anno, pari a 466,6 litri/secondo).

Le aree sulle quali esiste un maggiore sfruttamento della risorsa sono localizzate nella fascia settentrionale e nella zona sud – orientale tra le località Castello di Brussa, Brussa, Prati Nuovi, Cesarolo e Marinella. È importante notare che in molte zone di quest'ultima area l'acquedotto è stato solo recentemente allacciato (qualche anno), per cui quasi ogni casa è provvista di un proprio pozzo per acqua.

Nella sottostante tabella si riportano i dati dei prelievi misurati per ciascuna falda "corretti" sulla base delle seguenti valutazioni. Si è considerato che il 10% dei pozzi non sia stato rilevato e di conseguenza il prelievo misurato è stato incrementato del 10%, inoltre il valore è stato incrementato del 5% per cento per poter tener conto delle portate prelevate da pozzi di cui non è nota la profondità o non ricadenti negli intervalli di profondità standardizzati previsti per le 10 falde.

I dati così "corretti" sono riportati di seguito.

### 7.3.6 CONFRONTO DEI DATI

#### 7.3.6.1 Portogruarese

La sottostante tabella riporta il confronto tra la portata fluente nel sottosuolo (misurata su una sezione Est-Ovest alla latitudine di Portogruaro) e la portata prelevata dai pozzi nell'intero Portogruarese.

Tabella 16 - *Prelievi suddivisi per falda.*

Profondità	Falda	Prelievo (m <sup>3</sup> /anno)	Prelievo (m <sup>3</sup> /s)	Prelievo "corretto" (m <sup>3</sup> /s)
10 – 20	I° Falda	812	0,000	0,000
35 – 55	II° Falda	1 630 000	0,052	0,059
60 – 90	III° Falda	114 000	0,004	0,004
100 – 130	IV° Falda	163 000	0,005	0,006
150 – 240	V° Falda	2 500 000	0,079	0,091
250 – 315	VI° Falda	1 346 000	0,043	0,049
320 – 380	VII° Falda	931 000	0,030	0,034
400 – 460	VIII° Falda	722 000	0,023	0,026
480 – 560	IX° Falda	5 450 000	0,173	0,199
> 580	X° Falda	1 165 000	0,037	0,042
	Totale	14 021 812	0,445	0,511

Si noti come la portata complessiva defluente in ingresso sia di poco superiore al prelievo. Più in dettaglio per alcune falde, e in particolare per la quinta, la sesta e la nona, risulta una portata della falda inferiore al prelievo in modo particolarmente accentuato.

Conseguenza di questa differenza è il crearsi, su queste falde, di una depressione piezometrica con progressivo calo delle quote piezometriche nel tempo.

Ciò concorda con il fatto che durante le indagini di campagna sono state segnalate su queste stesse falde fenomeni di cali piezometrici diffusi, evolutosi progressivamente negli anni.

La differenza di portata tra la sezione 1 e la sezione 2 (circa 0.4 m<sup>3</sup>/s) è dovuta all'intenso prelievo che avvie-

ne nella fascia a Nord al confine con la provincia di Pordenone. Facendo riferimento alle carte piezometriche (tavole 2,3,4) dei diversi acquiferi, è possibile constatare una diminuzione di gradiente idraulico spostandosi da Nord a Sud proprio in relazione con gli emungimenti nel settore più settentrionale dell'area di indagine.

Nella seguente tabella si confronta invece il tempo che occorrerebbe per "svuotare" ciascun acquifero nella ipotesi che le portate emunte attualmente si mantengano costanti e che l'entità della ricarica sia nulla<sup>(31)</sup>. Il valore della riserva considerato è quello basato sull'ipotesi che la porosità efficace sia pari a 0.12.

Tabella 17 - *Confronto tra portata fluente nell'acquifero e portata prelevata dai pozzi.*

Profondità (m)	Falda	Prelievo (m <sup>3</sup> /anno)	Prelievo (m <sup>3</sup> /s)	Prelievo "corretto" (m <sup>3</sup> /s)	Q falda (m <sup>3</sup> /s) Sezione 1	Q falda (m <sup>3</sup> /s) Sezione 2
10 – 20	I° Falda	812	0,000	0,000		
35 – 55	II° Falda	1 630 000	0,052	0,059	0,131	
60 – 90	III° Falda	114 000	0,004	0,004	0,001	0,000
100 – 130	IV° Falda	163 000	0,005	0,006	0,001	0,001
150 – 240	V° Falda	2 500 000	0,079	0,091	0,013	0,006
250 – 315	VI° Falda	1 346 000	0,043	0,049	0,042	0,019
320 – 380	VII° Falda	931 000	0,030	0,034	0,043	0,020
400 – 460	VIII° Falda	722 000	0,023	0,026	0,038	0,020
480 – 560	IX° Falda	5 450 000	0,173	0,199	0,144	0,033
> 580	X° Falda	1 165 000	0,037	0,042	0,185	0,102
	Totale	14 021 812	0,445	0,511	0,595	0,200

<sup>(31)</sup> Ipotesi, quest'ultima, ampiamente cautelativa.

Tabella 18 - Tempi di “svuotamento”.

Prof. (m)	Falda	Prelievo (m <sup>3</sup> /anno)	Prelievo (m <sup>3</sup> /s)	Prelievo “corretto” (m <sup>3</sup> /s)	Spessore acquifero (m)	superficie (m <sup>2</sup> )	n <sub>e</sub>	volume (m <sup>3</sup> )	Tempo “svuotamento” (anni)
10 – 20	I° Falda	812	0,000	0,000					
35 – 55	II° Falda	1 630 000	0,052	0,059	11	14 000 000	0,20	3,1E+07	16
60 – 90	III° Falda	114 000	0,004	0,004	6	219 000 000	0,20	2,6E+08	2 005
100 – 130	IV° Falda	163 000	0,005	0,006	9	355 000 000	0,20	6,4E+08	3 409
150 – 240	V° Falda	2 500 000	0,079	0,091	11	533 000 000	0,20	1,2E+09	408
250 – 315	VI° Falda	1 346 000	0,043	0,049	26	533 000 000	0,20	2,8E+09	1 791
320 – 380	VII° Falda	931 000	0,030	0,034	12	533 000 000	0,20	1,3E+09	1 195
400 – 460	VIII° Falda	722 000	0,023	0,026	8	533 000 000	0,20	8,5E+08	1 027
480 – 560	IX° Falda	5 450 000	0,173	0,199	23	533 000 000	0,20	2,5E+09	391
> 580	X° Falda	1 165 000	0,037	0,042	21	533 000 000	0,20	2,2E+09	1 671
	Totale	14 021 812	0,445	0,511	127	3 786 000 000		1,2E+10	

Risulta che, con le attuali portate, anche in assenza di ricarica, per “svuotare” completamente l’acquifero necessitano tempi lunghissimi.

Il tema del razionale utilizzo della risorsa va quindi affrontato non tanto per un rischio di mancanza di disponibilità di acqua sotterranea ma relativamente agli effetti della depressurizzazione dell’acquifero e del mantenimento della qualità delle acque sotterranee.

Infatti mentre con le portate attuali non si evidenzia un problema di disponibilità idrica, permane un reale rischio di depressurizzazione di vari acquiferi. Di conseguenza la sostenibilità del prelievo va valutata sulla base di quale depressurizzazione risulti accettabile.

Nel paragrafo 7.4 si discuterà in dettaglio questo tema.

### 7.3.6.2 Confronto con l’area Nord (pianura pordenonese)

Già si è notato che il sistema idrogeologico analizzato è in parte ricompreso al di fuori del limite consortile (area a Nord). Per una esatta definizione del bilancio idrogeologico diviene quindi importante anche la conoscenza dell’entità della alimentazione e dei prelievi presenti nell’area a Nord nella limitrofa provincia di Pordenone.

Su quest’area esiste una serie di dati idrogeologici che sono stati riassunti nel paragrafo 4.2.3. Purtroppo i dati relativi alle portate emunte e ai prelievi non raggiungono il grado di dettaglio che sarebbero necessari per un bilancio idrogeologico di dettaglio, per cui in futuro questi dati andranno approfonditi considerando i dati disponibili in Regione Veneto e in Regione Friuli Venezia Giulia.

Nel seguito si riassumono i dati disponibili.

Il dato principale risulta quello dell’entità della portata in ingresso negli acquiferi sotterranei confinati.

Questo è stimato in bibliografia (ma il dato andrebbe meglio precisato) in 6 m<sup>3</sup>/s. Quindi i prelievi presenti nel Portogruarese, da noi calcolati in 0,5 m<sup>3</sup>/s, rappresentano una percentuale (8%) piuttosto modesta della ricarica e da soli quindi comporterebbero un impatto trascurabile sul sistema idrogeologico.

I dati disponibili sono di un certo dettaglio in alcune zone, mentre in altre i dati sono piuttosto lacunosi. Nel complesso però al momento non si ha il dato complessivo dei prelievi ricadenti nell’area delle falde confinate in provincia di Pordenone. Nei soli tre comuni di Fiume Veneto, Pordenone e Zoppola da pozzi zampillanti (GEOS, 1994, in Carniel, 1999) era stato valutato un prelievo di 1231 l/s (da 2667 pozzi artesiani) che risulta doppio di quello misurato nell’intero Portogruarese.

Effettuando una proporzione tra questi tre comuni e l’intera area delle falde in pressione ricadenti in provincia di Pordenone, si otterrebbe una portata prelevata di alcuni m<sup>3</sup>/s. Relativamente ai prelievi si nota anche che Carniel (1999) riporta il numero e la frequenza della profondità dei pozzi esistenti nel 1990 in alcuni comuni del Pordenonese, che risultano estremamente consistenti. Si ha infatti su 18 comuni un totale di 14512 pozzi artesiani (dati aggiornati al 1990). Nel complesso quindi valutando i prelievi e l’entità dell’alimentazione vi sono motivati elementi per pensare ad un sovrasfruttamento degli acquiferi; pur rimanendo la notevolissima disponibilità idrica in quanto il valore della riserva è indubbiamente notevole (7-13 km<sup>3</sup> nel solo Portogruarese – si veda il paragrafo 7.3.3.4), si ritiene che l’utilizzo della risorsa nell’intero sistema idrogeologico vada comunque necessariamente razionalizzato.

Tabella 19 - Fabbisogni idrici in provincia di Pordenone.

Fabbisogno	Attuale (A) (m <sup>3</sup> /anno)	Breve termine m <sup>3</sup> /anno	% A/totale	% B/totale
civile	28.000.000	30.122.000	7.3	6.3
industriale	42.600.000	42.600.000	11.1	9.0
agricolo	301.000.000	390.000.000	78.5	82.2
zootecnico	11.800.000	11.800.000	3.1	2.5
<b>Totale</b>	<b>383.400.000</b>	<b>474.722.000</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Bellen (1998) riporta i fabbisogni idrici in Provincia di Pordenone<sup>(32)</sup>(tabella 19), che risultano di interesse se non altro per confronto con l'area di progetto.

Va precisato che tale dato si riferisce alla intero fabbisogno idrico, da tutte le fonti, e non solo da quelle sotterranee. Dal confronto della Tabella 19 con i dati precedentemente presentati, risulta evidente come le risorse di maggiore qualità, derivanti dalle acque sotterranee, vadano riservate ad usi "pregiati".

### 7.3.7 Uso delle acque

Altro dato interessante relativo alla valutazione quantitativa della risorsa idrica risulta quello della tipologia di sfruttamento delle falde è quello degli usi prevalenti dell'acqua prelevata. Ciò non tanto per il calcolo del bilancio idrogeologico ma soprattutto per una razionalizzazione degli usi.

Dall'indagine è risultato che il 56 % del numero dei pozzi è utilizzato a scopi domestici<sup>(33)</sup> (tabella 20, figura 30).

Nella Tabella 21 e nella Figura 31 vengono quantificati i prelievi di acqua sotterranea suddivisi per tipo-

Tabella 20 - Usi prevalenti dei pozzi censiti nel Portogruarese.

Tipo di utilizzo	N. di pozzi	%
Acquedottistico	5	0%
Domestico	630	56%
Fontana pubblica	111	10%
Industriale	47	4%
Irriguo	159	14%
Ornamentale	15	1%
Zootecnico	62	6%
Nessuno	91	8%

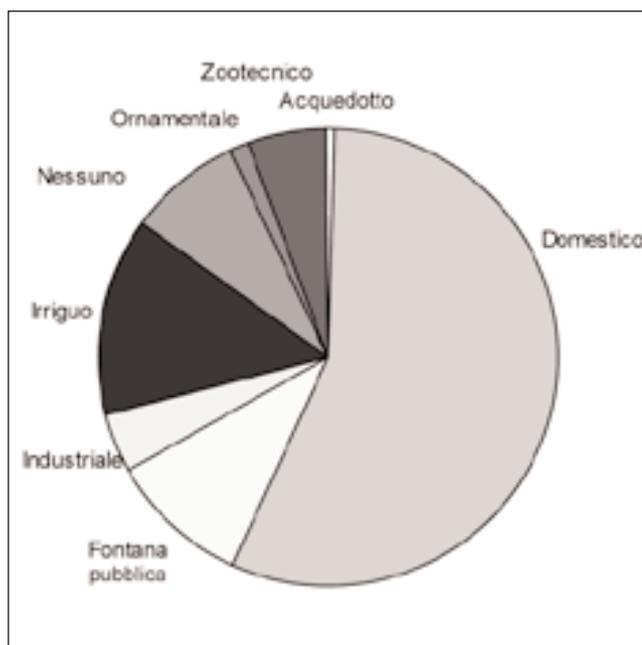
<sup>(32)</sup> Questi risultano rielaborati da: PROVINCIA DI PORDENONE (A CURA DI D'ALPAOS L., FOGATO M., ISEPPi, PEROSA A., MASO G.) (1997) – Studio sulla consistenza e sulle caratteristiche delle risorse idriche del territorio provinciale finalizzato all'attività di protezione e corretta gestione delle stesse. Pordenone.

Questo lavoro riguarda in particolare le acque superficiali. È parzial-

logia d'uso.

Va precisato che in questo caso la "tipologia d'uso" risulta non tanto dell'uso in sé dell'acqua, ma piuttosto dell'uso a cui è stato riferito il singolo pozzo. Ovvero il fatto che un pozzo sia stato classificato ad uso domestico non necessariamente implica che tutta l'acqua prelevata da quel pozzo sia ad uso domestico, in quanto gran parte dell'acqua non viene utilizzata poiché il pozzo viene lasciato ad erogazione continua. Si può notare come quasi la metà dei prelievi (44%) sia legata agli usi domestici. Tale dato deriva, in parte consistente, dall'abitudine di lasciare i pozzi artesiani ad erogazione continua, anche quando l'acqua non viene utilizzata. Si tratta di un uso improprio di que-

Figura 30 - Utilizzo prevalente dei pozzi (percentuale sul numero totale dei pozzi).



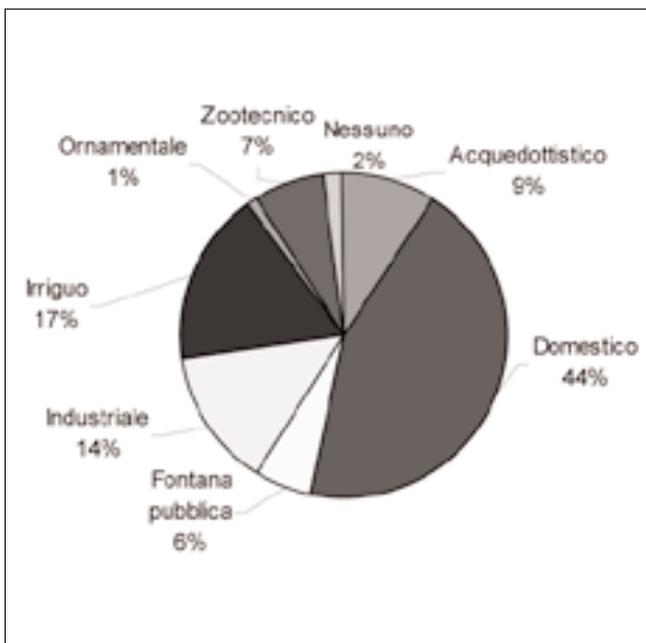
mente consultabile nel sito studi e progetti della Provincia di Pordenone.

<sup>(33)</sup> L'art. 93 del R.D. 1775/1933 dice: "Sono compresi negli usi domestici l'inaffiamento di giardini ed orti inserenti direttamente al proprietario ed alla sua famiglia e l'abbeveraggio del bestiame". In pratica molti consumi dichiarati come domestici non rientrano in quelli qui citati.

Tabella 21 - Prelievi ( $m^3/anno$ ) di acque sotterranee suddivisi per tipo di utilizzo.

Tipo di utilizzo	N. di pozzi	Consumo ( $m^3/anno$ )	Consumo (% sul totale)
Acquedottistico	5	1.373.330	9
Domestico	630	6.398.400	44
Fontana pubblica	111	848.800	6
Industriale	47	2.025.930	14
Irriguo	159	2.558.000	17
Ornamentale	15	166.590	1
Zootecnico	62	1.018.570	7
Nessuno	91	286.200	2
Totale	1120	14.675.820	100

Figura 31 - Prelievi (percentuale sul totale) di acque sotterranee suddivisi per tipo di utilizzo.



sta importante risorsa che comporta un ingiustificato depauperamento delle falde. Importanti sono anche i prelievi ad uso irriguo (17%) ed industriale (14%). Va precisato che, in particolare per i pozzi privi di artesianità (che sono comunque una minoranza), la quantificazione precisa dei prelievi è difficoltosa, in quanto generalmente non sono presenti contatori che verifichino la quantità d'acqua effettivamente prelevata.

### 7.3.8 Evoluzione dello sfruttamento

Un altro dato collegato a quello della valutazione quantitativa della risorsa risulta quello della valutazione della evoluzione nel tempo dello sfruttamento della risorsa. Su tale aspetto non si hanno dati pregressi di confronto. Un dato interessante è stato ricavato confrontando il numero dei pozzi censiti di età nota con delle fasce di

età dei pozzi. Questo al fine di evidenziare l'andamento evolutivo di sfruttamento nel corso degli anni. I dati sono sintetizzati dalla Figura 32.

Analizzando il grafico di Figura 32 con il numero complessivo dei pozzi, si evidenzia come l'evoluzione nello sfruttamento della risorsa acqua sia piuttosto continua e crescente con una fase di rallentamento nell'attività di perforazione nel ventennio 1955 - 1975. Confrontando i dati per ogni classe di profondità si nota come l'incremento totale del numero dei pozzi sia da attribuire ad un più intenso sfruttamento delle classi 10 - 20 m<sup>(34)</sup>; 400 - 460 m; 480 - 560 m e > 580 m. Questo dato è molto significativo se confrontato con la generale buona qualità dell'acqua, l'alto valore della portata spontanea, l'alto valore di pressione e temperatura dei pozzi profondi oltre i 400 m, e rende ragione dell'intenso sfruttamento come sopra riportato.

La classe di profondità con l'andamento più negativo è rappresentata dalla classe 35 - 55 m. Tale dato è da mettere in relazione, oltre che con la tendenza a perforare i pozzi a profondità via via crescenti, anche con il fatto che questa falda è presente solo nella parte più settentrionale del territorio dove in molte zone da alcuni anni è stata collegata alla rete acquedottistica che in precedenza era assente, con un progressivo abbandono dell'approvvigionamento idrico autonomo.

Le rimanenti classi di profondità hanno avuto periodi alterni di sfruttamento, ma con un generale andamento negativo nell'ultimo ventennio, dovuto probabilmente alla depressurizzazione delle falde (problema sollevato spesso dai proprietari dei pozzi) ed alla scadente qualità dell'acqua di alcune falde.

### 7.3.9 Andamenti futuri delle portate entranti ed uscenti dal sistema idrogeologico

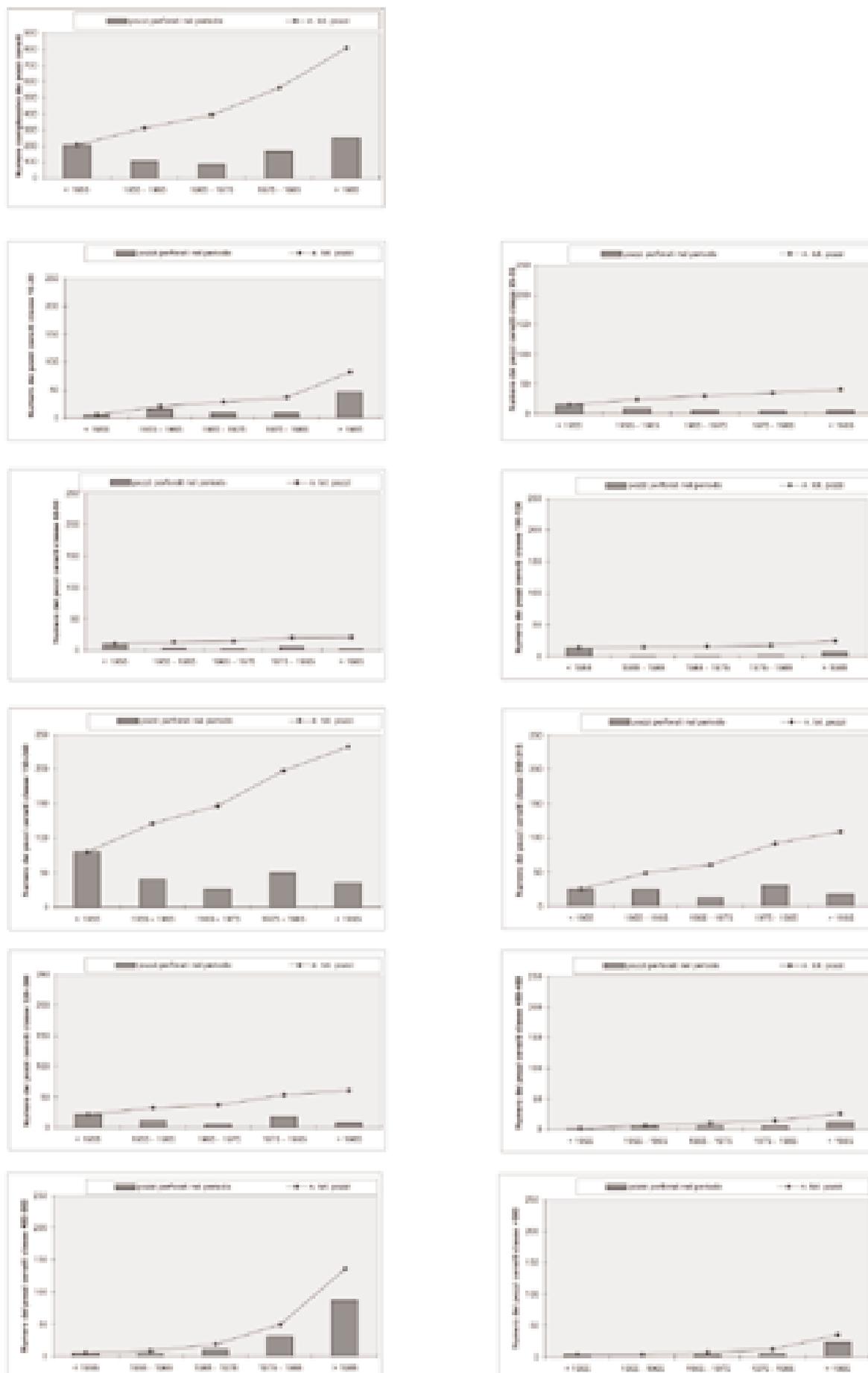
Nel paragrafo precedente si è visto come la tendenza evolutiva nello sfruttamento delle falde sotterranee sia stata negli ultimi decenni quella di un progressivo aumento dei prelievi dalle falde più profonde a cui in parte è corrisposto un parziale abbandono dello sfruttamento delle falde più superficiali.

In generale si nota un calo della piezometria delle falde per cui si ha anche un conseguente calo delle portate spontanee erogabili. Essendo la maggior parte dei pozzi privi di pompa ciò comporta a parità di numero di pozzi una diminuzione anche delle portate prelevate.

Nel complesso quindi per i prossimi anni è da prevedersi un limitato aumento dei prelievi relativamente alle falde più profonde (profondità superiori ai 400 m).

<sup>(34)</sup> Ma sul dato relativo a questa falda sicuramente influisce il fatto che la "durata" di pozzi a piccolo diametro a questa profondità risulta limitata.

Figura 32 - Diagrammi evolutivi dei pozzi esistenti.



Per quanto riguarda le portate entranti invece le variazioni prevedibili sono da ritenersi di entità limitata per quanto riguarda i fattori naturali, anche se l'attuale trend in discesa della pluviometria possa portare ad una diminuzione delle alimentazioni. Per quanto riguarda i fattori antropici, va notato che un ulteriore aumento dei prelievi nella sovrastante pianura pordenonese comporterà necessariamente un calo delle portate in ingresso nelle falde del territorio consortile.

## 7.4 SOSTENIBILITÀ DEI PRELIEVI

### 7.4.1 Considerazioni generali

La valutazione della sostenibilità dei prelievi va vista in particolare in rapporto agli effetti che comporta la depressurizzazione degli acquiferi. Infatti nei calcoli effettuati nei paragrafi precedenti si è evidenziato come vi siano delle reali possibilità di depressurizzazione degli acquiferi più che limiti nella disponibilità di acqua.

In generale la verifica di eventuali sovrasfruttamenti degli acquiferi e la valutazione degli impatti ambientali correlati è in rapporto alle seguenti problematiche:

- perdita di portata spontanea e di artesianità delle falde;
- perdita di qualità delle acque sotterranee;
- subsidenza e problemi connessi.

### 7.4.2 Perdita di portata spontanea e di artesianità delle falde

La prima e più ovvia conseguenza della diminuzione delle quote piezometriche delle falde è quella della perdita di portata spontanea fino alla totale perdita di artesianità delle falde. Ciò comporta un aumento dei costi di estrazione dell'acqua per la necessità di installare pompe, anche se in varie aree si è visto che spesso ad una perdita dell'artesianità delle falde è anche corrisposta una tendenza all'approfondimento dei pozzi (fenomeno che si sta verificando anche nel Portogruarese).

### 7.4.3 Perdita di qualità delle acque sotterranee

Un fenomeno che può essere collegato alla depressurizzazione degli acquiferi è quello di una progressiva perdita di qualità delle acque sotterranee.

Il fenomeno può essere così schematizzato.

La diminuzione della pressione negli strati acquiferi fa sì che vi sia un richiamo di acque sotterranee che in prevalenza avverrà dallo stesso strato acquifero ma che in parte deriva dallo strato al tetto che confina la falda stessa (aquiclude). Infatti tali strati, schematizzati in

genere come impermeabili, in realtà hanno possibilità di veicolare modeste quantità di acqua. Tale acqua però, proprio per il fatto di essere alloggiata in terreni fini, è più ricca di sostanze quali l'ammoniaca che peggiorano la qualità dell'acqua.

### 7.4.4 Subsidenza e problemi connessi

Un noto effetto conseguente la depressurizzazione di un acquifero è quello della subsidenza. Sull'argomento esiste una ricca casistica.

Nell'area in esame una eventuale subsidenza, in linea teorica, potrebbe avere importanti ripercussioni in quanto potrebbe comportare una serie di effetti conseguenti tra i quali si ricordano:

- diminuzione del franco di bonifica;
- danni ad opere idrauliche;
- diminuzione delle difese naturali a mare;
- intrusione salina e salinizzazione dei suoli.

L'entità della subsidenza è valutabile, considerata una data diminuzione della pressione della falda, una volta note le caratteristiche geotecniche dei materiali coesivi presenti nel sottosuolo.

Il progetto non prevedeva la valutazione delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo. Ciò da una parte è conseguenza del fatto che tale dato necessiterebbe di indagini estremamente costose (in quanto necessiterebbe la raccolta di carote indisturbate a profondità di decine e anche centinaia di metri) e dal fatto che al momento non si hanno indizi certi di fenomeni di subsidenza in atto.

Nel complesso l'aspetto della subsidenza legata a depressurizzazione degli acquiferi al momento è solo un elemento da tenere presente sia nel monitoraggio del territorio che nella pianificazione, e non (forse) un processo in atto.

Si sottolinea come la rete di monitoraggio realizzata rappresenta un elemento di controllo ed allarme anche per l'aspetto subsidenza. A tale proposito si sottolinea che tale rete di monitoraggio già ottimizzata e messa a regime continuerà ad operare anche una volta concluso il presente progetto.

## 7.5 STIMA DELLA PORTATA PRELEVABILE IN CONDIZIONI DI SOSTENIBILITÀ

Da quanto fino ad ora esposto risulta che diversi possono essere i criteri sulla base dei quali stabilire quale portata estratta si può ritenere sostenibile.

1. Un primo criterio più cautelativo può essere quello di considerare come portata estraibile quella entrante nel sistema idrogeologico (captazione integrale; Castany, 1982). Ciò comporta il mantenimento delle piezometrie attuali e, in pratica, nessuna depressurizzazione della falda.

2. Un secondo criterio applicabile risulta quello di valutare il prelievo sostenibile come dato dalla portata in entrata nel sistema idrogeologico e, in considerazione dell'elevato quantitativo della riserva, da una parte derivante dalla riserva stessa. In questo caso, pur rimanendo la disponibilità idrica molto elevata (e, nella sostanza, invariata), si ha una parziale depressurizzazione dell'acquifero. Questa seconda ipotesi è parzialmente giustificata dal fatto che i gradienti idraulici, sui quali si sono valutate le portate, sono già attualmente in parte influenzati dai prelievi.

Considerando i valori riportati nella tabella e quindi mantenendo simili agli attuali gli andamenti di depressurizzazione, si considera che il valore della portata emungibile sia pari al valore della portata entrante incrementata di un valore pari al 12 %.

3. Un terzo criterio non tiene conto dell'effetto di depressurizzazione dell'acquifero, ma solo dell'entità della riserva (captazione eccedente; Castany, 1982). In questo caso si è considerata estraibile da ciascun livello acquifero una portata corrispondente ad un valore percentuale della riserva stessa pari al 1%.

La scelta di tale valore deriva dal fatto che la durata di rinnovamento dell'intero sistema idrogeologico è pari a circa 100 anni. Ciò significa che, nella condizione ampiamente cautelativa di assenza di ricarica<sup>(35)</sup>, si avrebbe che la riserva idrica si esaurirebbe in un tempo di 100 anni ovvero pari a quello della durata di rinnovamento.

La tabella 22 riporta per ciascuna falda il risultato del calcolo della portata estraibile considerando i tre differenti criteri di "sostenibilità" in confronto con i valori attualmente emunti dagli acquiferi. In corsivo vengono riportati i dati che risultano già oggi superati.

L'analisi della tabella evidenzia che per alcune falde i prelievi già oggi portano ad una depressurizzazione della falda.

È da notare che la stima effettuata potrà essere migliorata nel momento in cui sarà disponibile un modello idrogeologico con cui simulare diversi scenari di pre-

Tabella 22 - Confronto tra prelievo attuale e prelievo "sostenibile" considerando tre diversi criteri.

Prof. (m)	Falda	Prelievo corretto (m <sup>3</sup> /s)	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
10 – 20	I° Falda				
35 – 55	II° Falda	0,059	0,131	0,146	0,010
60 – 90	III° Falda	0,004	0,001	0,001	0,083
100 – 130	IV° Falda	0,006	0,001	0,001	0,203
150 – 240	V° Falda	0,091	0,013	0,014	0,372
250 – 315	VI° Falda	0,049	0,042	0,046	0,879
320 – 380	VII° Falda	0,034	0,043	0,048	0,406
400 – 460	VIII° Falda	0,026	0,038	0,042	0,270
480 – 560	IX° Falda	0,199	0,144	0,161	0,777
> 580	X° Falda	0,042	0,185	0,207	0,710
	Totale	0,511	0,595	0,667	3,710

lievo. La realizzazione di un modello idrogeologico dell'area era prevista dal progetto come uno dei possibili sviluppi del progetto stesso che si ritiene utile venga sviluppato in un prossimo futuro. Tale progetto sarebbe utile venisse integrato anche con l'area di acquiferi confinati presente a monte in provincia di Pordenone. A tale proposito è da sottolineare che, comprendendo il sistema idrogeologico anche aree poste a monte, i quantitativi prelevabili vanno valutati anche sull'intero sistema. Attualmente la ricarica dell'intero sistema è stata valutata in 6 m<sup>3</sup>/s. Valore che con le informazioni attualmente disponibili è però solo indicativo e che andrebbe meglio definito con un progetto analogo a questo esteso a quelle aree.

Quindi, escludendo la ipotesi di ammettere una depressurizzazione della falda, il valore della portata emungibile sostenibile è, per l'intero sistema idrogeologico (Portogruarese e falde confinate del Pordenonese), pari a 6 m<sup>3</sup>/s.

## 7.6 CONCLUSIONI

Nel presente capitolo si è effettuata la valutazione quantitativa delle risorse idriche sotterranee del Portogruarese.

I dati a disposizione permettono una valutazione di un certo dettaglio per il Portogruarese. Più complessa risulta l'integrazione con i dati disponibili sulla parte del sistema idrogeologico presenti nella area a Nord in provincia di Pordenone. Le stime eseguite potranno in seguito essere migliorate realizzando un modello idrogeologico dell'intero sistema idrogeologico che, per ovvie priorità nella raccolta delle informazioni, non è stato previsto in questo progetto.

<sup>(35)</sup> Si tratta di una condizione ovviamente cautelativa poiché la ricarica esiste ed è valutata per l'intero sistema idrogeologico (comprese quindi le falde in pressione del Pordenonese) in 6 m<sup>3</sup>/s.

La valutazione della riserva idrica ha evidenziato come essa sia notevole e stimabile in 7-12 km<sup>3</sup>. La risorsa invece è stata stimata in circa 0.6 m<sup>3</sup>/s (0.019 km<sup>3</sup>/anno).

Il confronto tra le portate prelevate e quelle entranti nel sistema idrogeologico mostra come le portate prelevate siano complessivamente comparabili con quelle estratte dal sottosuolo; per alcune falde però i prelievi sono superiori alle portate entranti o fluenti nel sottosuolo: l'effetto è una depressurizzazione degli acquiferi peraltro spesso lamentata da molti proprietari di pozzi.

Allo scopo di mantenere qualità e quantità dell'acqua a livelli di sostenibilità, si ritiene che i prelievi attuali vadano razionalizzati compensando gli attuali sprechi (pozzi ad erogazione continua) con usi adeguati al valore notevole della risorsa stessa.

## 8. Il monitoraggio degli acquiferi

### 8.1 PREMESSA

Il progetto prevedeva la realizzazione di una rete di monitoraggio quali-quantitativa integrativa delle reti di monitoraggio esistenti. La necessità di realizzare questa rete di monitoraggio a scala locale deriva da vari elementi:

- il progetto si pone tra gli altri obiettivi quello di portare innovazioni nella attività agricola, valutando la possibilità di utilizzare le peculiari caratteristiche delle acque di falda; un eventuale uso delle acque di falda non può però prescindere da un controllo della compatibilità dei prelievi con il sistema idrogeologico e quindi da un monitoraggio sistematico che funga da sistema di allarme che scatti non appena i prelievi divengono non compatibili con il sistema idrogeologico stesso;
- è necessario un sistema che permetta di valutare rapidamente la presenza di sovrasfruttamenti e, di conseguenza, di attivare interventi gestionali. A tale necessità risponde proprio la presente rete di monitoraggio che pone uno “zero” di riferimento per valutare in futuro le variazioni dei livelli piezometrici. Tale “zero” risulta di maggiore utilità se si considera che quest’area è compresa in una precedente rete di monitoraggio, realizzata (ovviamente a scala minore) dalla Provincia di Venezia ed ora gestita dall’ARPAV<sup>(36)</sup>.

Va precisato che la presente rete ha finalità specifiche ben distinte da quelle che hanno le reti a scala regionale preesistenti.

Si ricorda che l’area di progetto è interessata da una rete di monitoraggio progettata dalla Provincia di Venezia (Zangheri, 1996-2000) che, dato che interessa un’area molto più ampia, comprende un numero limitato di punti di controllo. La rete progettata per il Portogruarese va ad integrarsi comunque con le reti di monitoraggio preesistenti, anche se, dato il maggior dettaglio nel modello idrogeologico di riferimento ottenuto grazie al presente progetto, si sono scelti, come punti fondamentali della rete, pozzi di nuova identificazione.

La rete è stata prevista in due livelli.

1. La rete di primo livello prevede 30 punti. In pratica si tratta dei cardini della rete stessa. Essi sono stati appositamente livellati<sup>(37)</sup>. All’inizio del 2001 sono stati monitorati una volta al mese. Nella successiva fase di gestione della rete, considerato il regime piezometrico di queste falde, le misure andranno effettuate ogni 3 mesi. Tale periodo va ritenuto ottimale anche se potrebbero essere utilizzate frequenze di misura più basse. Un utile integrazione al monitoraggio periodico si avrebbe strumentando alcuni pozzi per la realizzazione di misure in continuo.
2. La rete di secondo livello prevede altri 40 punti. Essi non sono stati livellati. Le misure verranno effettuate con minore frequenza, anche una volta all’anno. Risulterebbe utile (anche se non indispensabile) una loro livellazione.

Nelle cartografie riportate i punti di controllo appartenenti ai due livelli sono distinguibili sulla base di apposita simbologia. Sulle stesse cartografie si riportano inoltre gli altri pozzi censiti, al fine di illustrare la distribuzione dei prelievi e, indirettamente, della risorsa.

Per renderli funzionali al monitoraggio piezometrico si sono effettuate modifiche strutturali su circa 20 pozzi; tali modifiche sono state integralmente eseguite da personale del Consorzio di Bonifica Pianura tra Livenza e Tagliamento. Parimenti le livellazioni topografiche sono state curate direttamente dal personale del Consorzio.

<sup>(36)</sup> ZANGHERI P. (2000) – Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia – Rete di monitoraggio. Provincia di Venezia.

<sup>(37)</sup> Oltre ai 30 punti della rete di monitoraggio di primo livello si sono livellati alcuni punti aggiuntivi per un totale complessivo di 34 punti.

## 8.2 CRITERI IDROGEOLOGICI DI PROGETTAZIONE DELLA RETE

La progettazione idrogeologica della rete si è basata sulle esperienze esistenti in varie altre aree e su quanto previsto in diversi standards tecnici e normativi.

In generale l'organizzazione di una sorveglianza sui parametri che descrivono il ciclo delle acque, e in particolare di quelle sotterranee, viene definita "monitoraggio", termine con il quale si intende in generale l'attività standardizzata di misura e osservazione dell'ambiente (Unesco, 1978).

La predisposizione di una efficiente rete di monitoraggio delle acque sotterranee costituisce la base informativa per la gestione delle acque sotterranee stesse.

Le attività connesse al monitoraggio sono finalizzate alla descrizione di un sistema nel suo complesso e non possono essere limitate ad osservazioni disperse nello spazio e nel tempo, in risposta ad esigenze connesse al solo uso della risorsa idrica, come viene invece nella maggior parte dei casi praticato fino ad oggi in Italia (Beretta, 1995).

Nella realizzazione del progetto si è dovuto tener conto di alcune problematiche specifiche, legate alla particolare struttura geologica del Portogruarese, alle caratteristiche costruttive dei pozzi esistenti ed agli usi delle acque.

La rete si è basata su una selezione accurata di pozzi esistenti e sulla loro successiva modifica al fine di facilitare e standardizzare l'esecuzione delle misure. Va rilevato comunque che si ritiene utile una eventuale integrazione della rete con alcuni punti appositamente dedicati al monitoraggio su cui realizzare anche prove idrogeologiche in sito per la parametrizzazione idrogeologica del sottosuolo.

Riguardo la densità dei punti di controllo va rilevato che questi non sono stati selezionati secondo maglie regolari ma in modo ragionato sulla base della struttura idrogeologica e della disponibilità di punti di misura adeguati.

## 8.3 STRUTTURA DELLA RETE

Il progetto prevedeva la selezione di 70 pozzi, 30 dei quali risultavano da livellare. Nelle cartografie riportate nelle pagine seguenti sono ubicati i pozzi selezionati, suddivisi per falda.

La selezione dei punti di controllo si è basata sulla ricostruzione della distribuzione effettuata. Per ciascuna falda sono stati selezionati dei punti di controllo suddivisi sulla base della distribuzione della risorsa

idrica e della disponibilità di punti di controllo adeguati.

Di seguito si dà una breve descrizione delle sistema di monitoraggio delle singole falde.

### *1° falda – 10 - 20 m*

Come evidenziato dalla Figura 33, i pozzi censiti appartenenti a questa falda sono abbastanza concentrati tra gli abitati di Concordia Sagittaria, Portogruaro e Teglio Veneto. Si tratta in realtà di una falda ad andamento discontinuo e complessivamente con bassi valori di trasmissività. I pozzi censiti sono 102 e la loro limitata distribuzione areale può essere messa in relazione con le scadenti qualità chimico – fisiche delle acque. Le falde sono semiconfinat – confinate. Nel complesso questa falda è di scarso interesse ai fini di un sistema di monitoraggio complessivo delle risorse idriche dell'area <sup>(38)</sup> e di conseguenza non sono stati previsti punti di controllo su di essa.

### *2° falda – 35-55 m*

Come evidenziato dalla Figura 34, i pozzi censiti appartenenti a questa falda sono concentrati nella fascia settentrionale dell'area d'indagine, al confine con la provincia di Pordenone, in prossimità degli abitati di Cinto Caomaggiore, Gruaro, Teglio Veneto e degli abitati di Villanova, Malafesta e S. Mauro. I pozzi intercettanti tale falda sono 78 caratterizzati da acque prevalentemente potabili. Le falde di queste unità sono confinate e zampillanti con una prevalenza modesta (0 – 1,5 m). Spostandosi più a Sud l'acquifero si chiude. I pozzi di monitoraggio su questa falda sono quindi concentrati nella parte settentrionale. Data la limitata estensione della falda si sono scelti solamente quattro punti di controllo (2 facenti parte della rete di primo livello e due appartenenti alla rete di secondo livello).

### *3° falda – 60-90 m*

Come evidenziato dalla Figura 35, i pozzi censiti di questa falda sono concentrati prevalentemente nel settore settentrionale-orientale dell'area d'indagine tra gli abitati di Cinto Caomaggiore, Gruaro e Teglio Veneto. Si tratta di un numero molto limitato di pozzi (28). Tale elemento è in relazione al fatto che poco a Sud del confine tra le province di Pordenone e Venezia questa falda (peraltro caratterizzata da

<sup>(38)</sup> Se si esclude il tema dello stato di inquinamento e della vulnerabilità delle falde superficiali.

acque prevalentemente non potabili, soprattutto per l'eccesso di Ammoniacca) tende ad estinguersi. La falda è confinata e zampillante con una prevalenza modesta (0 – 1,5 m). In relazione a queste caratteristiche, su questa falda si sono scelti unicamente cinque punti di controllo, uno solo dei quali (pozzo 164) inserito nella rete di primo livello.

#### *4° falda – 100–130 m*

Come evidenziato dalla Figura 36, i pozzi censiti di questa falda sono concentrati prevalentemente nel settore settentrionale-orientale dell'area. Si tratta di un numero molto limitato di pozzi (32). Tale elemento è in relazione al fatto che poco a Sud del confine tra le province di Pordenone e Venezia questa falda (peraltro caratterizzate da acque prevalentemente non potabili, soprattutto per l'eccesso di Ammoniacca) tende ad estinguersi. La falda è confinata e zampillante con una prevalenza modesta (0 – 1,5 m). In relazione a queste caratteristiche, su questa falda si è scelto un numero limitato (6) di punti di controllo, uno solo dei quali (pozzo 288) inserito nella rete di primo livello.

#### *5° falda – 150–240 m*

Come evidenziato dalla Figura 37, si tratta di una delle falde più importanti, per quantità e qualità, dell'intero Portogruarese. I pozzi censiti in questa falda hanno una distribuzione areale relativamente omogenea su tutta l'area consorziale. Essi sono 329, caratterizzati in numerosi casi da non potabilità dell'acqua, soprattutto per eccesso di Ammoniacca. La falda è confinata e zampillante con una prevalenza buona (0 – 5 m). Pozzi di monitoraggio su questa falda sono stati scelti, con distribuzione uniforme, in tutta l'area di indagine. Si tratta in totale di 13 pozzi, 8 dei quali inseriti nella rete di primo livello.

#### *6° falda – 250–315 m*

Come evidenziato dalla Figura 38, si tratta di una delle falde più importanti, per quantità, dell'intero Portogruarese. I pozzi censiti in questa falda hanno una distribuzione areale relativamente omogenea su tutta l'area di studio, anche se tendono a diminuire spostandosi da Nord verso Sud e se sono assenti nella area più ad Ovest (comune di San Stino di Livenza). Essi sono 139 caratterizzati da una generale non potabilità dell'acqua, soprattutto per eccesso di Ammoniacca. La falda è confinata e zampillante con una prevalenza buona (0 – 5 m). Pozzi di monitoraggio su questa falda sono stati scelti, in tutta l'area di indagine, anche se con una maggiore densità nell'area

a più settentrionale. Si tratta in totale di 12 pozzi, 6 dei quali inseriti nella rete di primo livello.

#### *7° falda – 320–380 m*

Come evidenziato dalla Figura 39, i pozzi censiti in questa falda tendono a diminuire di numero spostandosi da Nord verso Sud. Essi sono 79 caratterizzati da una generale non potabilità dell'acqua, soprattutto per eccesso di Ammoniacca. La falda è confinata e zampillante con una prevalenza buona (0 – 5 m). Pozzi di monitoraggio su questa falda sono stati scelti, in tutta l'area di indagine, anche se con una maggiore densità nell'area più settentrionale. Si tratta in totale di 7 pozzi, 5 dei quali inseriti nella rete di primo livello.

#### *8° falda – 400–460 m*

Come evidenziato dalla Figura 40, si tratta di una falda intercettata da un numero limitato di pozzi (32), che si concentrano soprattutto nella parte Sud del comune di San Michele al Tagliamento, dove la falda acquisisce caratteri termali. La falda è confinata e zampillante con una prevalenza buona (0 – 5 m) e acque non potabili per l'eccesso di Ammoniacca. Dato il limitato interesse di questa falda i pozzi di monitoraggio sono stati limitati a 5, tutti inseriti nella rete di secondo livello.

#### *9° falda – 480–560 m*

Come evidenziato dalla Figura 41, i pozzi censiti di questa unità sono concentrati prevalentemente nel settore centrale e nord – occidentale tra gli abitati di Concordia Sagittaria, Annone Veneto, Cinto Caomaggiore e Teglio Veneto. Un'altra zona particolarmente densa è nel settore sud - orientale, tra gli abitati di Cesarolo, Brussa e Bevazzana. I pozzi censiti sono 170 e sono generalmente caratterizzati da alti valori di pressione e portate spontanee. Nella zona meridionale sono presenti acque termali. Qualitativamente risultano potabili le acque della zona settentrionale. Le falde di queste unità sono confinate e zampillanti con una prevalenza notevole (5 - > 20 m). Si tratta di una falda che negli ultimi anni ha visto aumentare notevolmente e velocemente il suo sfruttamento e che quindi va monitorata attentamente. I punti di monitoraggio selezionati su questa falda sono 15 dei quali 6 inseriti nella rete di primo livello.

#### *10° falda – > 580 m*

come evidenziato dalla Figura 42, i pozzi censiti di questa unità sono concentrati prevalentemente nel settore nord – occidentale (comuni di Pramaggiore e

Annone Veneto). Un'altra zona particolarmente densa è nel settore sud - orientale, tra gli abitati di Cesarolo, Brussa e Bevazzana. I pozzi censiti sono 53 e sono generalmente caratterizzati da alti valori di pressione e portate spontanee. Nella zona meridionale sono presenti acque termali. Qualitativamente risultano potabili le acque della zona settentrionale. Le falde di queste unità sono confinate e zampillanti con una prevalenza notevole (5 - > 20 m). Si tratta di una falda che negli ultimi anni ha visto aumentare notevolmente e velocemente il suo sfruttamento e che quindi va monitorata attentamente. Infatti nonostante il numero limitato di pozzi esistenti i prelievi (e gli sprechi) sono notevoli. I punti di monitoraggio selezionati su questa falda sono 4, 2 dei quali inseriti nella rete di primo livello. Va notato che il numero di pozzi dedicati al monitoraggio delle falde profonde più di 480 m, in particolare in area termale, è limitato ad un numero piuttosto basso di punti di controllo (4, di cui 3 di primo livello), nonostante la provincia di Venezia abbia eseguito nel 1997, proprio in quest'area, un censimento pozzi con il metodo detto "porta a porta". I motivi sono riconducibili a:

- difficoltà tecniche nell'eseguire le misure, quali la presenza di pozzi con derivazioni multiple o privi di un attacco per il manometro, indispensabili in pozzi con prevalenza fino a 20 metri dal piano campagna;
- situazione autorizzativa non regolare di molti pozzi.

Va però osservato la notevole importanza del monitoraggio della falda termale; ciò essenzialmente per due motivi:

- le acque termali rappresentano una interessante riserva energetica di cui ad oggi non sono ancora ben definite le potenzialità;
- la presenza dei pozzi emungenti la falda termale rappresenta un potenziale rischio geologico indotto di grado attualmente non noto (possibile subsidenza indotta e problemi connessi in particolare sulle opere di bonifica), che va verificato prima di procedere ad ulteriori aumenti nell'entità dei prelievi.

Per questa zona (il cui studio di dettaglio esula dagli scopi di questo lavoro) è fondamentale un adeguato monitoraggio oltre che un approfondimento delle conoscenze geologiche. Ciò al fine della valutazione della potenzialità della risorsa e della verifica della compatibilità dello sfruttamento della risorsa stessa rispetto a possibili incrementi delle situazioni di rischio geologico.

#### 8.4 LIVELLAZIONI TOPOGRAFICHE

Come già osservato i pozzi relativi alla rete di primo livello sono stati livellati. La livellazione ha compreso, al fine di una maggiore completezza del lavoro, anche alcuni punti della rete di secondo livello, per un totale superiore ai 30 punti previsti in progetto.

La tabella 23 riporta i valori misurati. Maggiori dettagli sono disponibili nella scheda monografica di ciascun punto di livellazione, archiviata presso il Consorzio di Bonifica.

#### 8.5 MISURE SULLA RETE DI MONITORAGGIO

Sulla rete di monitoraggio è stata eseguita una serie di misure. Una parte di queste misure è stata effettuata durante la fase di selezione dei punti di controllo. Una volta conclusa la fase di selezione è stata realizzata una serie di misure periodiche sulla rete di primo livello. Una campagna sistematica ha riguardato anche la rete di secondo livello.

Va precisato che questa fase del progetto era strettamente finalizzata alla realizzazione di una rete che venisse successivamente mantenuta in funzione dal Consorzio di Bonifica con proprie risorse. Si prevede di continuare i monitoraggi iniziati in questo progetto con una frequenza di 4 campagne di misura all'anno; prevedendo in una delle quattro campagne annuali anche la misura della rete di monitoraggio di secondo livello. I parametri da misurare rimangono quelli monitorati fino ad oggi.

Va notato che in futuro la rete potrà essere migliorata prevedendo per alcuni punti particolarmente rappresentativi una strumentazione per misure in continuo. Non si ritiene utile descrivere in dettaglio le misure eseguite, per le quali si rimanda alle tabelle riassuntive. Si ribadisce che il progetto prevede il proseguimento dei monitoraggi e, di conseguenza, in futuro sarà possibile meglio dettagliare il regime piezometrico ed idrochimico delle falde.

Per alcuni punti, dove grazie anche a misure preesistenti eseguite dalla Provincia di Venezia, si dispone di un periodo di osservazione più lungo, si è notato come tutte le falde presentino oscillazioni piezometriche modeste (in genere ampliamenti inferiori al metro) e come i parametri fisici monitorati (conducibilità e temperatura) presentino variazioni nel tempo molto limitate e, per alcune falde, nulle<sup>(39)</sup>.

<sup>(39)</sup> Anche relativamente a questo aspetto il previsto proseguimento dei monitoraggi permetterà di avere via via informazioni sempre più dettagliate.

Tabella 23 - Sintesi della livellazione topografica della rete di monitoraggio.

Pozzo	Falda	Coordinate Gauss-Boaga		Quota testa (m s.l.m.)	Quota base (m s.l.m.)
		Est	Nord		
67	2	2347999,10	5078567,35	10,561	10,402
112	9	2348274,01	5074551,05	8,395	7,791
113	7	2347751,84	5075255,41	9,785	9,258
138	6	2350033,22	5076442,62	6,348	5,746
164	3	2352393,39	5078174,05	8,992	8,854
220	5	2353246,35	5075984,96	7,448	6,965
252	6	2355698,25	5075737,53	9,557	9,457
288	4	2357492,37	5074920,90	6,720	6,214
337	5	2360969,47	5078325,99	12,104	11,553
364	2	2361569,11	5077907,35	10,144	9,989
478	10	2343538,62	5073137,44	6,498	6,128
513	5	2342183,75	5071601,02	4,308	3,930
533	9	2346828,29	5071743,91	4,690	4,110
576	6	2350607,13	5069435,93	1,736	1,192
652	9	2353995,97	5069247,66	1,994	1,489
682	5	2356120,73	5068819,01	1,803	1,071
727	6	2342416,49	5068431,54	1,855	1,170
738	7	2339874,78	5065238,05	3,033	2,130
777	6	2349476,31	5064103,00	-0,669	-1,186
825	7	2351616,21	5063403,90	0,410	-
827	8	2354321,03	5063613,50	0,360	0,554
830	5	2355091,55	5063334,03	1,048	0,615
905	10	2367002,75	5062972,72	2,594	1,431
912	7	2346181,68	5062553,58	-1,405	-1,849
965	5	2358209,40	5062520,57	0,037	-0,189
991	9	2358479,71	5058276,27	0,352	-0,461
992	7	2358743,01	5057451,28	0,027	0,178
996	6	2360150,75	5057993,66	-0,571	-0,833
1043	5	2365058,52	5059137,28	0,114	-0,344
1073	5	2354470,94	5054812,18	-0,829	-0,144
1089	9	2363339,90	5056356,30	0,652	-0,011
1090	9	2363385,32	5056339,00	0,243	-0,106
1114	10	2358336,21	5053811,56	1,268	0,924
1115	9	2366355,49	5059395,10	-0,059	-0,789

Figura 33 - Falda I – Classe di profondità: 10-20. Pozzi censiti.





Figura 34 - Falda II – Classe di profondità: 35-55 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.





Figura 35 - Falda III – Classe di profondità: 60-90. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.









Figura 37 - Falda V – Classe di profondità: 150-240 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.





**FALDA V**

Classe di profondità: 190-240 m

**Legenda**

- ▲ Pozzo di monitoraggio - Primo livello
- ⊙ Pozzo di monitoraggio - Secondo livello
- ⊗ Pozzo comune

Figura 38 - Falda VI – Classe di profondità: 250-315. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.





Figura 39 - Falda VII – Classe di profondità: 320-380. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.





Figura 40 - Falda VIII – Classe di profondità: 400-460 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.





**FALDA VIII**

**Classe di profondità: 400-460 m**

**Legenda**

- ▼ Pozzi di monitoraggio - Primo livello
- Pozzi di monitoraggio - Secondo livello
- Pozzo-visitabile

Figura 41 - Falda IX – Classe di profondità: 480-560 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.





**FALDAIX**

**Classe di profondità: 480-560 m**

**Legenda**

- + Fitta di monitoraggio - Prima linea
- ⊙ Fitta di monitoraggio - Seconda linea
- ⊙ Fitta comune

Figura 42 - Falda X – Classe di profondità: > 580 m. Pozzi censiti e rete di monitoraggio.







## 9. Aspetti normativi e programmatori – Proposte per un razionale uso della risorsa

Il progetto risulta finalizzato anche alla formulazione di proposte sia tecniche che normative relative alla gestione della risorsa idrica sotterranea.

Nei paragrafi che seguono si formuleranno delle proposte, alcune delle quali di semplice attuazione, relativamente ai seguenti temi:

- Formulazione di indicazioni normative per la tutela della qualità del territorio agricolo da usi idrogeologicamente non compatibili della risorsa acqua sotterranea
- Formulazione di proposte per la salvaguardia della qualità delle acque sotterranee
- Integrazione tra i risultati del progetto e normative e piani di settore
- Proposte per la razionalizzazione e lo snellimento delle pratiche concessorie per le piccole derivazioni di acque sotterranee

Il presente lavoro ha evidenziato una serie di aspetti gestionali, in parte già messi in luce dalla “Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia” ma qui ulteriormente dettagliati, nonché resi ancora più significativi da una ulteriore base-dati e da una quantificazione della risorsa idrica sotterranea. Con preciso riferimento al lavoro svolto, i principali aspetti gestionali risultano:

1. l'ingente spreco della risorsa acqua sotterranea nelle aree dove i pozzi sono ad erogazione spontanea;
2. l'assenza di informazioni anche basilari, quali la stratigrafia e la profondità del pozzo, su numerosi punti di prelievo;
3. la necessità di coordinare gli interventi in tema di acque sotterranee con gli altri enti aventi compiti gestionali in materia;
4. la presenza di numerosi pozzi non autodenunciati e/o abusivi;
5. l'utilizzo della risorsa geotermica;
6. la necessità di semplificare le procedure autorizzative per le piccole derivazioni.

### 9.1 SPRECO DELLA RISORSA

Come è stato verificato con dati precisi, molti pozzi artesiani (anche ad uso domestico), anche regolarmente denunciati, vengono lasciati ad erogazione con-

tinua, con sprechi d'acqua notevoli.

Indipendentemente dalla posizione burocratico-amministrativa regolare o meno di questi pozzi, è necessario intraprendere azioni idonee per eliminare, o limitare, questo spreco, considerando che il numero dei pozzi è notevole ed in aumento e che le misure effettuate indicano reali possibilità di una progressiva depressurizzazione delle falde.

Da un lato il problema va affrontato con una adeguata informazione-sensibilizzazione sulle conseguenze di questo spreco<sup>(40)</sup>.

Dall'altra è però necessario intervenire per far rimuovere almeno gli sprechi più considerevoli. Numerose normative (R.D. 1773/33, D.L. 275/93, L.R. 33/85, L. 36/94, D.Lgs 152/99) danno la possibilità di interventi efficaci a vari Enti.

In particolare si ricorda che:

- l'art 106 del R.D. 1775/33 prevede che *“l'ufficio del Genio Civile anche nelle zone non soggette a tutela può disporre che sia regolata la erogazione dei pozzi salienti a getto continuo e può adottare, altresì, le disposizioni di cui all'articolo precedente<sup>(41)</sup> qualora ricorrano attuali o prevedibili situazioni di subsidenza, ovvero di inquinamento o pregiudizio al regime delle acque pubbliche. La stessa autorità può disporre, a spese dei responsabili, la chiusura dei pozzi dei quali sia cessata l'utilizzazione<sup>(42)</sup>”*.
- l'articolo 6 della L.R. 33/85 prevede tra le competenze dei Comuni quella relativa al controllo successivo *“sull'installazione e funzionamento dei siste-*

<sup>(40)</sup> Spesso si fonda su motivazioni fantasiose, quale quella che tenendo chiusa la saracinesca (peraltro spesso assente) del pozzo si avrebbe una perdita della portata. Per pozzi a debolissima prevalenza tale affermazione è in parte veritiera, ma non è altro che una conseguenza della diffusa errata costruzione dei filtri da parte dei “pozzaioli” che in genere non tengono adeguatamente conto delle caratteristiche geologico-stratigrafiche nella scelta del filtro da installare. Va segnalata quindi anche la necessità di informare adeguatamente i “pozzaioli”.

Va notato inoltre che alcune delle prove di pozzo effettuate hanno evidenziato come l'intasamento che si verifica in pozzi ad erogazione continua da lungo tempo sia, almeno in parte, eliminabile, tenendo il pozzo ad erogazione non continua.

<sup>(41)</sup> Ovvero, tra l'altro, la chiusura del pozzo.

<sup>(42)</sup> La seconda parte dell'articolo di legge deriva da un'integrazione apportata dal D.L. 275/93.

*mi di misura dell'acqua prelevata dai titolari di approvvigionamenti idrici autonomi".*

Più recentemente l'art. 25 del D.L. 152/99 ha ulteriormente specificato che *"Le regioni prevedono norme e misure volte a favorire la riduzione dei consumi e l'eliminazione degli sprechi ed in particolare a:*

*c) promuovere l'informazione e la diffusione di metodi e tecniche di risparmio idrico domestico e nei settori industriale, terziario ed agricolo;*

*d) installare contatori per il consumo dell'acqua in ogni singola unità abitativa nonché contatori differenziati per le attività produttive e del settore terziario esercitate nel contesto urbano."*

I dati raccolti potrebbero quindi essere utilizzati per l'esecuzione dei necessari interventi.

## 9.2 ASSENZA DI INFORMAZIONI SU NUMEROSI PUNTI DI PRELIEVO

Nel corso della "Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia" si era riscontrata una notevole difficoltà nel ricostruire la struttura idrogeologica del sottosuolo, nonostante il numero elevatissimo di pozzi esistenti, a causa delle limitate informazioni litostratigrafiche disponibili.

Tale elemento è ancora più chiaramente evidenziato dalle risultanze del presente lavoro. Non si hanno, salvo rarissime eccezioni, dati stratigrafici e tantomeno informazioni sui parametri idrogeologici e neppure la "curva caratteristica del pozzo"

Si ricorda che la Legge 464/84<sup>(43)</sup> prevede l'obbligo dell'invio al Servizio Geologico Nazionale della stratigrafia di qualsiasi perforazione eseguita a profondità superiore ai 30 metri; questa norma viene largamente disattesa e, nei pochi casi in cui le stratigrafie vengono compilate, esse sono generalmente imprecise nell'uso dei termini geologici ed idrogeologici e nelle profondità di rinvenimento delle differenti falde, quando non totalmente inventate; inoltre non risultano pressoché mai certificate da tecnici con conoscenze specifiche nel settore idrogeologico. Riguardo a dati di importanza primaria, soprattutto per finalità gestionali, come i parametri idrogeologici, va notato che essi non sono noti spesso neppure su pozzi ad uso acquedottistico.

Risulta quindi non procrastinabile la necessità di formare e sensibilizzare adeguatamente gli operatori del settore delle perforazioni e della costruzione dei pozzi per acqua.

Non si può qui non accennare a quali gravi effetti negativi comporti il mancato rispetto della Legge 464/84 e non solo per gli Enti pubblici con compiti di

gestione delle risorse idriche sotterranee ma anche per i privati cittadini possessori del pozzo. Infatti la stratigrafia non è solo un dato essenziale per poter ricostruire la geometria degli acquiferi e quindi per ubicare correttamente le opere di captazione idropotabile, per costruire correttamente i pozzi, per determinare il bilancio del bacino idrogeologico e più in generale per una corretta gestione delle risorse idriche sotterranee, ma è anche un dato di utilità per il singolo pozzo.

Si immagini, solo per fare un esempio, che una falda in pressione venga interessata dalla propagazione di un inquinamento avvenuto a monte; non sarebbe possibile intervenire con metodologie di bonifica o prevedere l'evoluzione del processo di contaminazione, senza disporre di dati stratigrafici sufficientemente attendibili.

Si rileva che acquisire tale conoscenza nel corso della perforazione di un pozzo comporta un costo molto limitato, mentre la sua acquisizione in una fase successiva implica l'adozione di metodologie sperimentali specialistiche (logs geofisici in foro).

## 9.3 NECESSITÀ DI COORDINARE GLI INTERVENTI CON GLI ALTRI ENTI AVENTI COMPITI GESTIONALI IN MATERIA

È noto che l'attuale legislazione suddivide le competenze sulle acque superficiali e sotterranee tra un gran numero di Enti, quali Regione, A.R.P.A.V., Province, Magistrato alle Acque, Servizio Idrografico, Geni Civili, Autorità di Bacino..., causando spesso notevoli difficoltà per una gestione efficace del problema.

Di conseguenza il coinvolgimento del maggior numero di Istituzioni preposte alla tutela delle acque sotterranee è garanzia per il conseguimento di risultati positivi. Il coordinamento con gli altri Enti interessati sarà particolarmente importante per quanto riguarda la decisione in ordine ai provvedimenti da adottare per i pozzi non autodenunciati e/o abusivi. Tali interventi andrebbero discussi se non altro con:

- Genio Civile (Ente competente a rilasciare i permessi per le piccole derivazioni);
- Regione Veneto (in particolare per quanto riguarda le acque termali) e ARPAV;
- Consorzi di Bonifica;
- Comuni;
- Province.

<sup>(43)</sup> Legge 4 agosto 1984, n. 464: "Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio Geologico, della Direzione generale delle miniere del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale."

#### 9.4 POZZI NON AUTODENUNCIATI

La presente indagine idrogeologica, pur non essendo finalizzata a verifiche di tipo amministrativo sulla regolarità dei pozzi ha confermato l'elevato numero di pozzi non autodenunciati esistenti in questo territorio.

Il problema appare complesso da affrontare, ma risulta non procrastinabile anche perché parallelamente all'aspetto amministrativo vi è quello dell'equilibrio idrogeologico.

Va osservato che la normativa vigente<sup>(44)</sup> permette di effettuare appositi interventi di regolazione della portata emunta e/o di chiusura per i pozzi abusivi e/o che pregiudichino l'equilibrio idrogeologico (si veda il paragrafo 1.1).

Va osservato che per il Portogruarese, dove sono stati censiti 1120 pozzi, in precedenza si era già effettuato il confronto tra pozzi autodenunciati e non autodenunciati. È risultato che, dei 1120 pozzi censiti, 791 risultavano anche già autodenunciati, mentre 329 (30%) sono stati censiti tramite il censimento "porta a porta" ed altre indagini, in quanto non autodenunciati.

#### 9.5 UTILIZZO DELLA RISORSA TERMALILE

Un cenno infine va fatto alla risorsa termale. Dalle indagini svolte risultano numerosi pozzi che prelevano acque definibili come termali.

La risorsa termale risulta di notevole interesse e può rappresentare un'occasione di sviluppo per quest'area in diversi campi tra quali anche quello agricolo.

Attualmente lo sfruttamento di questa risorsa in parte appare non razionale. Inoltre, da un punto di vista burocratico-amministrativo, la maggior parte dei prelievi non sembrerebbe regolare. Nel caso della risorsa termale vige una normativa sia nazionale che regionale specifica che rende difficile la regolarizzazione dei prelievi in essere senza uno specifico intervento normativo. È quindi auspicabile uno specifico intervento normativo che regolarizzando la posizione amministrativa di questi punti di prelievo nel contempo porti ad un uso razionale di questa preziosa risorsa.

<sup>(44)</sup> In particolare: R.D. 1775/1933, D.L. 275/93, L.R. 33/85, D.L. 152/99.

<sup>(45)</sup> La legge è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 3a serie speciale, n. 34 del 31.08.96.

#### 9.6 SEMPLIFICAZIONE DELLE PROCEDURE AUTORIZZATIVE PER LE PICCOLE DERIVAZIONI

Si ritiene che gli interventi sull'abusivismo debbano procedere parallelamente a iniziative finalizzate alla risoluzione delle incertezze e pesantezze normative che favoriscono il diffondersi dell'abusivismo stesso.

Una via per risolvere questo problema potrebbe essere quello di un apposito intervento legislativo. Interessante a tale proposito appare quanto fatto dalla Regione Piemonte con la Legge Regionale 30 aprile 1996 n. 22 "Ricerca, uso e tutela delle acque sotterranee"<sup>(45)</sup>, che potrebbe essere utilizzata come esempio per la realizzazione di uno specifico intervento legislativo anche nella nostra Regione.

In ogni caso la normativa dovrà privilegiare gli aspetti del razionale uso delle risorse e della corretta progettazione idrogeologica dei pozzi, piuttosto che aspetti puramente burocratici.

#### 9.7 PROPOSTE TECNICHE

I problemi discussi nei paragrafi precedenti individuano alcune questioni urgenti da affrontare.

Nel seguito si elencano alcune proposte, come contributo per la definizione delle modalità di intervento. Le proposte riassumono e completano quelle fatte ai paragrafi precedenti in rapporto a temi specifici.

I principali interventi che si ritiene potrebbero essere attuati sin da ora dagli Enti preposti sono:

- effettuare gli appositi interventi, di regolazione della portata dei pozzi artesiani ad erogazione continua;
- attuare forme di sensibilizzazione-informazione della cittadinanza sul corretto uso della georisorsa acqua sotterranea, in particolare nelle aree in cui è maggiormente diffuso lo spreco;
- eseguire verifiche sui pozzi non autodenunciati, in particolare laddove possono comportare effetti negativi all'equilibrio idrogeologico;
- realizzare forme di aggiornamento-riqualificazione per i tecnici del settore della costruzione dei pozzi, affinché acquisiscano alcune nozioni geologiche-idrogeologiche di base in modo da permettere una più adeguata costruzione dei pozzi ed una migliore raccolta delle informazioni litologiche sui punti di perforazione;
- intervenire affinché la Legge 464/84, riguardante l'obbligo d'invio delle stratigrafie a profondità superiore ai 30 metri al Servizio Geologico Nazionale, sia compiutamente applicata;

- proseguire i monitoraggi idrogeologici in atto e migliorare la parametrizzazione idrogeologica degli acquiferi;
- intervenire perché vengano attuati interventi normativi che consentano lo snellimento delle pratiche burocratiche necessarie per l'autorizzazione di piccole derivazioni, privilegiando gli aspetti del corretto uso della risorsa rispetto a quelli burocratici-amministrativi.

## 10. Sintesi

### 10.1 STRUTTURA DEL PROGETTO

Il progetto prevedeva una fase preliminare basata sulla rielaborazione dei dati della “Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia” (redatta e pubblicata dalla Provincia di Venezia) e successivamente una serie di indagini e sperimentazioni finalizzate, da una parte, alla conoscenza della qualità e della quantità delle acque sotterranee e, dall'altra, alla promozione di usi ambientalmente compatibili delle risorse idriche sotterranee, in particolare per quanto riguarda l'ambiente rurale.

Per quel che riguarda la fase conoscitiva gli elementi base del progetto sono risultati la parametrizzazione idrogeologica degli acquiferi sulla base di indagini e prove sperimentali (Fase 2), la realizzazione di un bilancio idrogeologico (Fasi 3-5-6), la conoscenza della qualità delle acque (Fasi 2-4), la conoscenza delle esigenze e degli usi idrici attuali delle aziende agricole presenti nell'area (Fase 4).

La fase propositiva riporta valutazioni e proposte di razionalizzazione, sia tecniche che normative, nell'uso delle risorse idriche (Fasi 7 e 9).

Il progetto ha avuto una fase preliminare di aggiornamento dei dati esistenti (Fase 1).

Infine il progetto ha portato alla realizzazione di una rete di monitoraggio (Fase 8) che seguirà nel tempo l'andamento quali-quantitativo delle acque sotterranee allo scopo di utilizzarle e gestirle razionalmente. La rete gestita dal Consorzio di Bonifica fungerà anche da “sistema di allarme” di situazioni idrogeologiche che possano comportare situazioni di rischio per le opere e per l'ambiente della bonifica.

Il progetto è risultato innovativo in quanto nel territorio regionale, e in parte anche al di fuori, non si hanno riscontri di lavori con questa impostazione metodologica. In tale quadro i risultati e la metodologia di progetto vanno visti come esportabili in altre aree dalle caratteristiche similari. In particolare si sottolinea come, ad un costo nel complesso limitato, si è riusciti a raggiungere una definizione delle risorse idriche, che in altre aree venete è pressoché assente, nonché a delineare alcune semplici linee di intervento, utili per la razionalizzazione dell'uso delle risorse idriche a scopi agricoli ed altri scopi. Da questo punto

di vista il progetto ha avuto il carattere di “progetto pilota”.

Obiettivo prioritario del progetto è stata la valutazione dell'entità delle risorse idriche disponibili e della loro qualità per programmare l'utilizzo delle risorse stesse nel quadro di uno sviluppo ecocompatibile del territorio rurale.

L'intervento è stato attuato nei comuni appartenenti al Consorzio di Bonifica “Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento” che ricadono nell'obiettivo 5b. Per le caratteristiche idrogeologiche dell'area è stato necessario, con oneri a carico del Consorzio, ampliare l'area di intervento anche al comune di San Michele al Tagliamento. In tale modo l'area è risultata unitaria da un punto di vista idrogeologico.

### 10.2 SINTESI DEGLI OBIETTIVI RAGGIUNTI DAL PROGETTO

Nel complesso il progetto ha permesso di:

- Definire il quadro idrogeologico dell'area
- Parametrizzare idrogeologicamente una ventina di punti
- Eseguire numerose cartografie idrogeologiche e databases di dettaglio sull'intero territorio indagato
- Calcolare un primo bilancio idrogeologico dell'area
- Definire la qualità e la quantità delle risorse idriche sotterranee, anche in rapporto alle esigenze delle aziende agricole, e di rappresentarle tramite GIS e databases
- Sviluppare proposte di razionalizzazione nell'uso della risorsa idrica, in particolare in rapporto all'ambiente agricolo
- Formulare proposte tecniche e normative relative al corretto uso della risorsa idrica
- Progettare e realizzare una rete di monitoraggio, con realizzazione delle prime misure, basata su oltre 30 punti principali e oltre 40 punti secondari. La rete resterà in funzione anche dopo il termine del progetto
- Livellare tutti i punti principali della rete di monitoraggio
- Realizzare una cartografia G.I.S. relativa alle acque sotterranee dell'area

- Programmare iniziative di divulgazione su acque sotterranee e mondo rurale

Si tratta di una serie di obiettivi che risultano di interesse per un bacino di utenza estremamente diversificato. Tra i soggetti che beneficiano indirettamente del progetto, a titolo di esempio si possono citare:

- Aziende agricole
- Associazioni agricole di categoria
- Enti pubblici interessati all'uso ed alla gestione della risorsa acqua sotterranea in particolare:
  - altri Consorzi di Bonifica
  - Altre Province
  - Acquedotti
  - Regione del Veneto e Regione Friuli-Venezia-Giulia
  - Comuni
  - Geni Civili Regionali
  - Autorità di Bacino
  - ARPAV
- Professionisti del settore

### 10.3 CONTINUITÀ DEL PROGETTO

Il lavoro che si è qui presentato è inserito nel Progetto Leader II. Questa tipologia di progetto prevede la valutazione della continuità del progetto realizzato. Per garantire la massima fruibilità dei dati raccolti sarà necessario anche effettuare interventi mirati affinché i risultati ottenuti dall'azione vadano ad inserirsi e integrarsi con le normative e i piani di settore vigenti. Va inoltre sottolineato come i risultati del progetto siano estendibili ed applicabili ad altre aree in Veneto, Friuli Venezia Giulia ed Emilia Romagna che presentano caratteri idrogeologici simili.

Le attività che si prevede possano avere un proseguimento sono le seguenti:

- monitoraggio e parametrizzazione delle acque sotterranee;
- sperimentazioni per un razionale uso delle acque nelle aziende agricole in rapporto alla qualità dei prodotti agricoli e dell'ambiente rurale;
- realizzazione di approfondimenti specifici (realizzazione di un modello idrogeologico matematico; realizzazione di interventi specifici in aree con particolari caratteristiche idrogeologiche...);
- approfondimento delle conoscenze nell'area termale e progettazione di un razionale utilizzo;
- aggiornamento professionale per tecnici, operatori e divulgatori agricoli sulla risorsa acqua.

## 11. Conclusioni

Il progetto ha messo in luce come il territorio consorziale sia caratterizzato da risorse idriche sotterranee che, pur non raggiungendo l'abbondanza di altre aree del Veneto, si presentano di grande interesse.

Particolare importanza riveste l'area settentrionale dove generalmente le acque risultano potabili e di buona qualità (oltre che spesso quantitativamente importanti) ed un vasto settore nella parte meridionale dove si localizza una risorsa geotermica caratterizzata da acque termali contenute in acquiferi confinati, profondi oltre 400 metri, con temperature fino a 50°C.

Per ciascun acquifero, mediante indagini sperimentali, si sono definite sia le caratteristiche qualitative di base che le disponibilità quantitative. Inoltre è stata eseguita una prima parametrizzazione idrogeologica e realizzata una rete di monitoraggio delle acque sotterranee che verrà mantenuta in attività dal Consorzio di Bonifica.

Da un punto di vista conoscitivo si è quindi definito un quadro idrogeologico che comprende sia gli aspetti qualitativi (caratteristiche di base delle acque sotterranee) sia gli aspetti quantitativi (disponibilità idriche, parametri idrogeologici). Ovviamente restano dei problemi aperti, tra i quali quelli più doverosi di segnalazione risultano la necessità di una migliore conoscenza delle caratteristiche geologico-stratigrafiche (che appaiono limitate dalla scarsità delle stratigrafie disponibili) e di un maggior dettaglio idrogeologico per alcuni settori di particolare interesse, quale quello dove si localizzano risorse geotermiche.

Da un punto di vista gestionale si è proposta una serie di semplici interventi finalizzati a razionalizzare l'uso di una risorsa che potenzialmente presenta notevole interesse per lo sviluppo del territorio, ma che oggi appare mal utilizzata.



## 12. Bibliografia ragionata

La bibliografia che si riporta nel seguito è stata suddivisa in varie sezioni:

- Testi di carattere generale e/o metodologico citati
- Bibliografia idrogeologica generale comprendente l'area studiata
- Bibliografia specifica sull'idrogeologia del Portogruarese
- Bibliografia specifica sull'idrogeologia delle risorse geotermiche della bassa pianura veneto-friulana
- Bibliografia sull'idrogeologia dell'area di alimentazione (pianura pordenonese) e sull'area al contorno orientale (provincia di Udine)

### 12.1 TESTI DI CARATTERE GENERALE E/O METODOLOGICO CITATI

BERETTA G.P. (1995) - Lo stato attuale delle conoscenze sulle reti di monitoraggio delle acque sotterranee in Italia. In: *Il Controllo dell'Ambiente - Sintesi delle tecniche di monitoraggio ambientale. Quaderni di Tecniche di Protezione ambientale*, Pitagora Editrice, Bologna, pp. 45.

BERETTA G.P., DE LUCA D., FALIERO P., FILIPPINI G., MASCIOTTO L. (1995) - Progettazione e gestione sperimentale di una prima rete di monitoraggio nel settore sud-occidentale della pianura cuneese (Cuneo). *Atti del 2° Convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee. Metodologie, tecnologie e obiettivi*, 17-19 maggio 1995. Nonantola Modena. Pitagora Editrice, Bologna.

BELLEN E. (1998) – Risorse idriche. In: *ECOISTITUTO DEL FRIULI VENEZIA GIULIA (1998) – Rapporto sullo stato dell'ambiente nel Friuli Venezia Giulia*. Udine.

CARNIEL A. (a cura di) (1999) – *Acque di falda – Indagine sulla situazione nel Pordenonese. Azienda per i servizi sanitari n. 6 Friuli Occidentale, Booksei n. 3*. Pordenone.

CASTANY G. (1987) – *Idrogeologia – Principi e metodi*. Libreria Dario Flaccovio Editrice. Palermo<sup>(46)</sup>.

CELICO P. (1986) – *Prospezioni idrogeologiche*. Liguori Editore. Napoli

CHIESA G. (1997) – *Idraulica dei pozzi - Finzione o realtà? Acque sotterranee*, n. 54, Geograph Ed., Milano.

DI MOLFETTA A. (1992) – *Determinazione della trasmissività degli acquiferi mediante correlazione con la portata specifica*. IGEA, n. 1, pp. 81-86. Torino.

LOGAN J. (1964) – *Estimating transmissibility from routine production tests of waterwells*. *Groundwater*, 2.

UNESCO (1978) - *Water quality surveys, Studies and reports in hydrology*, n. 23, Paris.

UNIONE VENETA BONIFICHE (1991) - *Criteri di accettabilità della qualità delle acque a fini irrigui*. Pubblicazione su CD-ROM.

ZANGHERI P. (1994a) - *Indagine sull'inquinamento delle acque sotterranee nella Pianura Veneta. Ambiente, risorse e salute*, n. 2/94. Padova.

ZANGHERI P. (1994b) - *Sulla persistenza di alcuni episodi di inquinamento da solventi organo-alogenati nella media e alta pianura veneta*. *Geologica Romana*, vol. XXX, pp. 403-410, "Atti II Conv. Naz. Giovani Ricerc. in Geol. Appl". Viterbo 28-31 ottobre 1992.

ZAVATTI A., ATTRAMINI D., BONAZZI A., BORALDI V., MALAGÒ R., MARTINELLI G., NALDI S., PATRIZI G., PEZZERA G., VANDINI W., VENTURINI L., ZUPPI G.M. (1995) – *La presenza di Arsenico nelle acque sotterranee della Pianura Padana: evidenze ambientali e ipotesi geo-*

<sup>(46)</sup> Si tratta della traduzione del testo:

CASTANY G. (1982) – *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Dunod Université, Bordas, Paris.

chimiche. Atti del 2° Conv. Naz. protezione e gestione delle acque sotterranee. Nonantola (MO) 17-19/5/95. Quaderni di Geol. Appl., suppl. 2, 1/95, pp. 301-316. Pitagora ed., Bologna.

#### 12.2 BIBLIOGRAFIA IDROGEOLOGICA GENERALE COMPRENDENTE L'AREA STUDIATA

AMMINISTRAZIONE DELLA PROVINCIA DI VENEZIA (1981) - Le acque condottate nella Provincia di Venezia. Indagine effettuata a cura dell'Assessorato all'Igiene del Territorio - ottobre 1979 dicembre 1980. Venezia.

AMMINISTRAZIONE DELLA PROVINCIA DI VENEZIA (1983) - Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia. Parte nord-orientale. Provincia di Venezia.

AURIGHI M., ZANGHERI P., FERRONATO A., FRANZ L., VITTURI A. (1999) - Monitoraggio di sistemi multifalde. Il caso della provincia di Venezia. Quaderni di Geologia Applicata. Atti 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13-14-15 ottobre 1999, Pitagora Ed., Bologna.

CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA TRA LIVENZA E TAGLIAMENTO (1993) - Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio Rurale. Inedito. Portogruaro

CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA TRA LIVENZA E TAGLIAMENTO (1993) - P.G.B.T.T.R. Carta geomorfologica in scala 1:50.000. A cura di Dott. Piccolo. Inedito. Portogruaro.

DAL PRA' A., ANTONELLI R., (1978) - Indagini idrogeologiche sulle falde di subalveo di alcuni fiumi veneti e friulani. Quaderni Istituto Ricerca sulle Acque, v. 34 (11), pp. 265-280, Roma.

DAL PRA' A., GOBBO L., VITTURI A., ZANGHERI P. (2000). - Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia. Provincia di Venezia.

GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE PROFONDE DELLA PIANURA PADANA (1979) - Lineamenti idrogeologici della Pianura Padana. Quad. Ist. Ric. sulle Acque, XXVIII vol. 2, 77 pp., 15 figg., Roma.

GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE PROFONDE DELLA PIANURA PADANA (1981) - Contributi tematici per la conoscenza della idrogeologia padana. Quad. Ist. Ric. sulle Acque, LI Vol. 2. 70 pp., 11 figg., Roma.

I.R.S.E.V. - ISTITUTO REGIONALE DI STUDI SULL'ECONOMIA DEL VENETO S.p.A. (1977) - Studio per la revisione del piano regolatore generale degli acquedotti del Veneto. A cura di Pilotto E. - Regione del Veneto - Giunta Regionale - Venezia.

REGIONE DEL VENETO - DIPARTIMENTO PER L'ECOLOGIA (1985b) - Carta delle isofreatiche in scala 1:250.000. Venezia.

REGIONE DEL VENETO - DIPARTIMENTO PER L'ECOLOGIA (1985a) - Carta piezometrica in scala 1:250.000. Venezia.

SLEIKO D., CARVELI G.B., NICOLICH R., REBEZ A., ZANFERRARI A., CAVALLIN A., DOGLIONI C., CARRARO F., CASTALDINI D., ILICETO V., SEMENZA E. and ZANOLLI C. (1989) - Seismotectonics of the Eastern Southern Alps. A review. Boll. Geofisica Teor. Appl., v. 31, n.122, pp. 109-136, Trieste.

#### 12.3 BIBLIOGRAFIA SPECIFICA SULL'IDROGEOLOGIA DEL PORTOGRUARESE

AMMINISTRAZIONE DELLA PROVINCIA DI VENEZIA (1998) - Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia - Portogruarese. Inedito (pubblicato in sintesi in Dal Prà A., Gobbo L., Vitturi A., Zangheri P., 2000).

GIOVANELLI M.M., RIZZI LONGO L., RIZZI STOLFA D. (1985) - Considerazioni paleoecologiche sui sondaggi S19-Lignano, e S20-Bevazzana (Delta del Fiume Tagliamento). Gortania, Atti Museo Friul. St. Nat., 10, 81-100.

MAROCCO L. (1985) - Considerazioni sedimentologiche sui sondaggi S19-Lignano, e S20-Bevazzana (Delta del Fiume Tagliamento). Gortania, Atti Museo Friul. St. Nat., 7, 87-112.

ZANGHERI P. (2000) - Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia - Rete di monitoraggio. Provincia di Venezia.

12.4 BIBLIOGRAFIA SPECIFICA SULL'IDROGEOLOGIA DELLE RISORSE GEOTERMICHE DELLA BASSA PIANURA VENETO-FRIULANA

BARNABA P.F. (1990) – Considerazioni geologiche sul sottosuolo e sulle risorse idrotermali della zona di Latisana - Foce del Tagliamento (Province di Udine e Venezia). Mem. Sc. Geol. v. XLII, pagg. 343-359. Padova.

BELLANI S., CALORE C., GRASSI S., SQUARCI P. – Flusso di calore superficiale in presenza di acquiferi in bacini sedimentari e anomalie termiche profonde: due esempi.

C.N.R. – ISTITUTO INTERNAZIONALE PER LE RICERCHE GEOTERMICHE (1994) – Valutazioni di dettaglio delle strutture profonde nella bassa pianura friulana. Inedito.

DAL PRÀ A., STELLA L., 1978 - Primo contributo alla conoscenza del termalismo idrico nel sottosuolo della bassa pianura Veneto-Friulana alle foci del fiume Tagliamento. Quaderni Istituto Ricerca sulle Acque, v. 34 (16), pp. 387-401, Roma.

DELLA VEDOVA B., LONGINELLI A., MARSON I., PALMIERI F. (1987) – Il termalismo artesiano della fascia litorale Veneto – Friulana: stato di avanzamento delle ricerche. Atti VI Congresso Nazionale Ordine Geologi, pagg. 391-395, Venezia.

DELLA VEDOVA B., MARSON I., NICOLICH R., MARZONA R., CASSIANI G., PALMIERI F. – Metodologie geofisiche per la valutazione di risorse geotermiche a bassa entalpia: Lignano S. e Grado (litorale Friuli Venezia Giulia).

GRASSI S. (1995) – Alcune osservazioni sulle caratteristiche geochimiche delle acque sotterranee della bassa pianura friulana. Atti Soc. Toscana Sc. Nat. – Memorie, Serie A, Vol. CI, pp. 1-15. Pisa.

MARTINIS B. (1953) - Le formazioni quaternarie del sottosuolo di Grado (Gorizia). Riv. Ital. Paleont. Strat., v. 59, n. 1, pp. 3-21, Milano.

MARTINIS B. (1957) - Osservazioni stratigrafiche sul sottosuolo di Lignano (Udine). Riv. Ital. Paleont. Strat., v. 63, n. 2-3, pp. 159-176, Milano.

SEDEA R. (1995) – Relazione geologica ed idrogeologica sulla concessione di acqua termale denomi-

nata “Terme di Bilione” – Comune di San Michele al Tagliamento. Inedito.

STEFANINI S. (1980) – Il termalismo delle acque artesiane nelle lagune di Marano di Grado e nelle aree adiacenti. Rassegna Tecnica Friuli Venezia Giulia, n. 5, pp. 19-24, Udine.

12.5 BIBLIOGRAFIA SULL'IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI ALIMENTAZIONE (PIANURA PORDENONESE) E SULL'AREA AL CONTORNO ORIENTALE (PROVINCIA DI UDINE)

AA. VV. (1993) – Il Livenza, un fiume di interesse nazionale. Atti del convegno di Sacile del 25 maggio 1991. Quaderni Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia – Udine – Laboratorio di idrobiologia.

AA.VV. (1998) – Modello idrogeologico delle zone montane e di pianura dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento e Livenza. Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione. Venezia. Rapporto interno, pp.71.

AZIENDA PER I SERVIZI SANITARI N. 6 FRIULI OCCIDENTALE, GETAS PETROGEO SRL, REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA (1999) – Episodio di inquinamento da solventi clorurati delle falde della medio-alta pianura pordenonese. Fase 2. Pordenone

AA.VV. (1997) – La qualità delle acque della falda acquifera della destra Tagliamento. Rassegna Tecnica del Friuli-Venezia Giulia n. 3/1998.

BELLEN E. (1998) – Risorse idriche. In: ECOISTITUTO DEL FRIULI VENEZIA GIULIA (1998) – Rapporto sullo stato dell'ambiente nel Friuli Venezia Giulia. Udine.

BENSI S., CATANI, G., GIORGETTI F., MASSARI G., MARINETTI E., OBERTI S., ZINI L., POTLECA M., (1997) – Prime esperienze di informatizzazione di dati geologici ed idrogeologici (Pianura friulana e Carso triestino). Conferenza GISITINERA '97.

C.R.A.D. PROVINCIA DI UDINE (1997) – Bollettino della rete provinciale di rilevamento della qualità delle acque sotterranee. – Rapporto annuale 1996. Udine.

- CARNIEL A. (a cura di) (1999) – Acque di falda – Indagine sulla situazione nel Pordenonese. Azienda per i servizi sanitari n. 6 Friuli Occidentale, Booksei n. 3. Pordenone.
- CARNIEL A., DOTTA L., ELLI M., TARTARI G. (1991) – Caratteristiche delle precipitazioni meteoriche in provincia di Pordenone. Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia n. 4/1991. Anno XLII. Udine.
- CUCCHI F., GIORGETTI F., GEMITI F., MASSARI G., OBERTI S. – Caratterizzazione geochimica delle falde acquifere della pianura friulana. In fase di stampa.
- CUCCHI F., MARINETTI E., MASSARI G., OBERTI S., PIANO C., ZINI L., (1999) Carta della vulnerabilità intrinseca della Pianura friulana. Quaderni di Geologia Applicata. Atti 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13-14-15 ottobre 1999, Pitagora Ed., Bologna.
- CUCCHI F., MASSARI G., OBERTI S. (1999) – Fluttazioni della falda freatica nell'alta pianura friulana. Gortania – Atti Museo Friul. di Storia Nat., 21 (1999). Udine.
- CUCCHI F., MASSARI G., OBERTI S. (1999) – Il chimismo delle falde freatiche e artesiane della pianura friulana. Quaderno del Museo Carsico Geologico e Paleontologico. N. 7, 1999, pp. 3-20. Monfalcone.
- DAL PIAZ C., FABBRIS O., MARZOLO F. (1965) – Il Canale Libertà e le falde freatiche in sinistra e in destra Tagliamento. Aspetti geo-idrologici ed economico-agrari. Organizz. Ledra-Tagliamento, Tip. Arti Grafiche Friulane, Udine.
- ECOISTITUTO DEL FRIULI VENEZIA GIULIA (1998) – Rapporto sullo stato dell'ambiente nel Friuli Venezia Giulia. Udine.
- FERUGLIO E. (1936) - Sedimenti marini nel sottosuolo della bassa pianura friulana. Boll. Soc. Geol. It., 55: 129-138, Roma, 1 tavv.
- LIPPARINI T. (1936) – I fossili dei sedimenti marini nel sottosuolo della bassa pianura friulana. Boll. Soc. Geol. It., 55: 139-151, Roma.
- FOGATO M. (1998) – Le risorse idriche della Destra Tagliamento. Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia.
- GIORGETTI F., STEFANINI S., RIGHINI M. (1994) – Risorse idropotabili integrative, sostitutive e di emergenza nella provincia di Udine. Quad. Geol. Appl., 2, pp. 76-96
- MARTELLI G., RODA G. (1998) – L'acquifero della Bassa Pianura Friulana in comune di San Giorgio di Nogaro. Quad. Geol. Appl. 5-1, pp. 15-38. Pitagora Ed., Bologna.
- MOSETTI F. (1983) – Sintesi sull'idrologia del Friuli Venezia Giulia. Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia. Laboratorio di idrobiologia. Tip. Pellegrini, Udine – Quad. 6. Udine
- PROVINCIA DI PORDENONE (A CURA DI D'ALPAOS L., FOGATO M., ISEPPI, PEROSA A., MASO G.) (1997) – Studio sulla consistenza e sulle caratteristiche delle risorse idriche del territorio provinciale finalizzato all'attività di protezione e corretta gestione delle stesse. Pordenone.
- PROVINCIA DI PORDENONE (1997-2000) – Piano Provinciale di Previsione e Prevenzione Rischi. Pordenone.
- PROVINCIA DI PORDENONE (1997-2000) – Lo studio per la prevenzione degli inquinamenti diffusi degli acquiferi e la gestione strategica delle crisi idriche. Pordenone.
- PROVINCIA DI VENEZIA (1999) - Programma di previsione e prevenzione in materia di protezione civile. Venezia.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA – ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI – SERVIZIO DELL'IDRAULICA. Carta delle curve isofreatiche della Regione.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA – DIREZIONE REGIONALE SANITÀ – SERVIZIO IGIENE E TUTELA AMBIENTALE (1997) – Contributo conoscitivo allo stato delle risorse idriche superficiali e profonde. Trieste.
- STEFANINI S. (1972) – Le acque freatiche fra il F. Livenza ed il T. Torre (Friuli Venezia Giulia). Mem. Scien. Geol. It., vol. 11, pp. 343-365, Padova.

STEFANINI S. (1978) – La falda freatica nell'alta pianura friulana. Quaderni Istituto Ricerca sulle Acque, v. 34 (14), pp. 343-361, Roma.

STEFANINI S. (1986) – Litostratigrafia e caratteristiche ideologiche di pozzi della pianura friulana, dell'anfiteatro morenico del Tagliamento e del campo di Osoppo e Gemona. Università degli studi di Trieste. Istituto di Geologia e Paleontologia.

STEFANINI S. (1976) – Composizione delle acque fluviali del Friuli-Venezia Giulia durante la fase di magra e di piena dei corsi d'acqua. Quaderni Istituto Ricerca sulle Acque, v. 28 (15), pp. 391-448, Roma.

STEFANINI S. (1978) – Composizione chimica ed inquinamenti delle acque freatiche dell'alta pianura friulana fra i fiumi Tagliamento e Natisone. Quaderni Istituto Ricerca sulle Acque, v. 34 (13), pp. 307-335, Roma.

STEFANINI S., CUCCHI F. (1977) – Gli acquiferi nel sottosuolo della provincia di Udine. Quaderni Istituto Ricerca sulle Acque, v. 34 (6), pp. 131-146, Roma.

STEFANINI S., CUCCHI F. (1978) – Gli acquiferi nel sottosuolo della pianura veneta fra i fiumi Piave e Tagliamento. Quaderni Istituto Ricerca sulle Acque, v. 34 (12), pp. 287-299, Roma.

STEFANINI S., GIORGETTI F. (1996) - I potenziali inquinamenti delle acque freatiche dell'Alta Pianura Friulana a opera delle discariche. Università degli studi di Trieste – Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine. Trieste 1996.

TELLINI A. (1899) – Le acque sotterranee del Friuli e la loro utilizzazione. Serie I, Ann. R. Ist. Tecn. di Udine, ser. II, n. 16-17, 175-260.

USL 11 “PORDENONESE”, REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA (1990) – Episodio di inquinamento da solventi clorurati delle falde della medio-alta pianura pordenonese.

FINITO DI STAMPARE NEL MESE DI OTTOBRE 2001  
PER CONTO DEL CONSORZIO DI BONIFICA  
“PIANURA VENETA TRA LIVENZA E TAGLIAMENTO” - PORTOGRUARO (VE)  
E DELLA PROVINCIA DI VENEZIA  
DA GRAFICHE ERREDICI - PADOVA

