

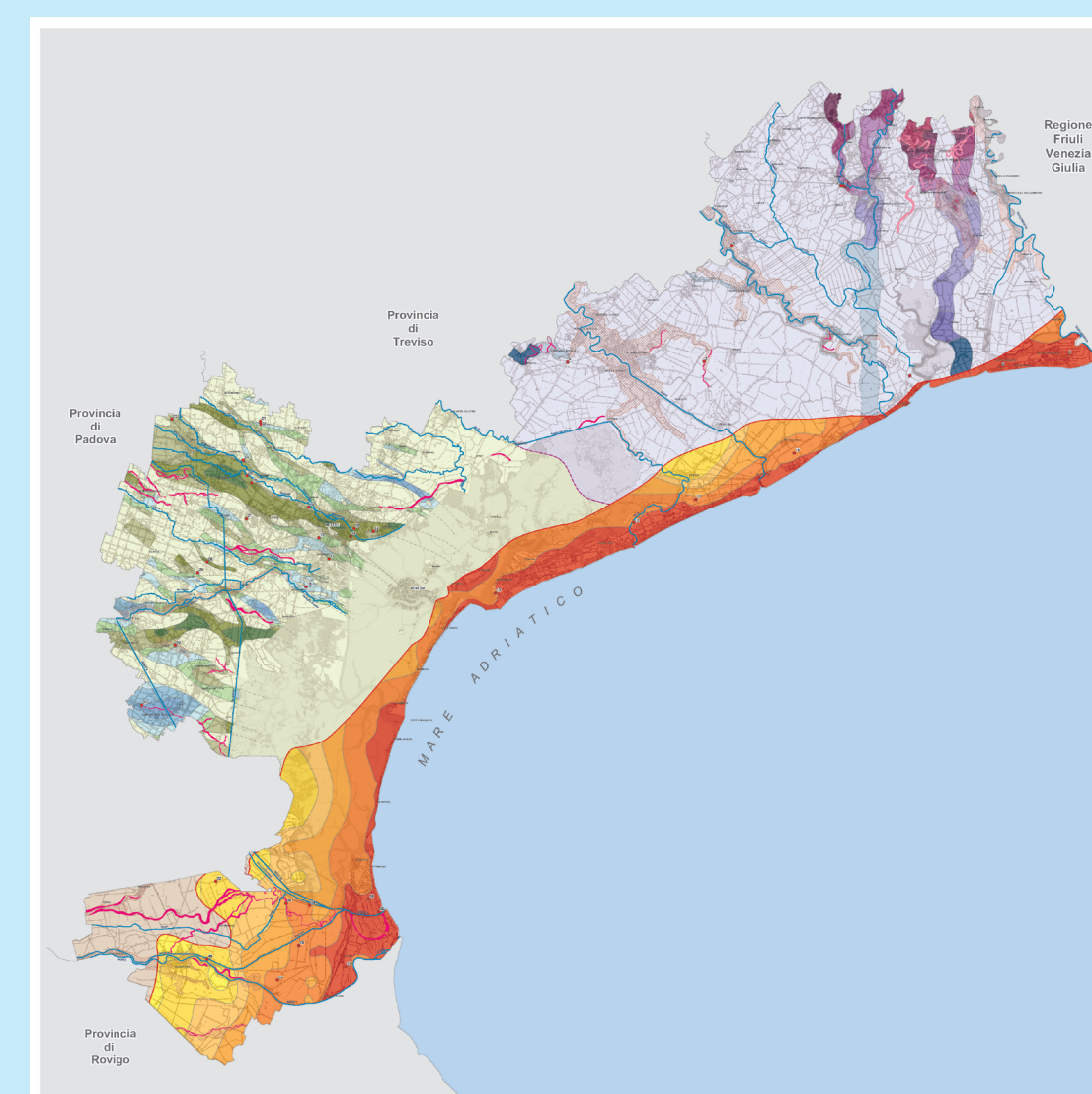


**PROVINCIA  
DI VENEZIA**  
SERVIZIO GEOLOGICO, DIFESA DEL SUOLO  
E TUTELA DEL TERRITORIO

**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA**  
DIPARTIMENTO DI GEOSCIENZE

# SISTEMI IDROGEOLOGICI DELLA PROVINCIA DI VENEZIA

## Acquiferi superficiali



Cierre Gruppo Editoriale  
via Cino Ferrari 5 - Sommacampagna (Verona)  
[www.cierre.net.it](http://www.cierre.net.it)

COPIA OMAGGIO  
ISBN 978-88-95351-92-6

2013

2013





*Ad Andrea Vitturi*

dirigente per molti anni del Servizio Geologico  
della Provincia di Venezia, al quale si deve l'idea e il perseguimento  
della raccolta e archiviazione delle conoscenze geologiche  
del territorio provinciale... un patrimonio disponibile a tutti





SERVIZIO GEOLOGICO, DIFESA DEL SUOLO  
E TUTELA DEL TERRITORIO



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI GEOSCIENZE

# **SISTEMI IDROGEOLOGICI DELLA PROVINCIA DI VENEZIA**

## **Acquiferi superficiali**

### **AUTORI**

Paolo Fabbri, Pietro Zangheri, Valentina Bassan, Enrico Fagarazzi,  
Andrea Mazzuccato, Sandra Primon, Chiara Zogno

**2013**



SERVIZIO GEOLOGICO, DIFESA DEL SUOLO  
E TUTELA DEL TERRITORIO



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI GEOSCIENZE

## PROVINCIA DI VENEZIA

*PRESIDENTE*

**Francesca Zaccariotto**

*ASSESSORE alla Difesa del Suolo e Tutela del Territorio*

**Paolo Dalla Vecchia**

*DIRIGENTE Servizio Geologico, Difesa del Suolo  
e Tutela del Territorio*

**Massimo Gattolin**

*Responsabile del progetto*

**Valentina Bassan<sup>1</sup>**

*Coordinatore tecnico e scientifico*

**Pietro Zangheri<sup>3</sup>**

## UNIVERSITÀ DI PADOVA

*DIRETTORE*

**Cristina Stefani**

*Responsabile scientifico*

**Paolo Fabbri<sup>2</sup>**

*Redattori dello studio*

**Enrico Fagarazzi<sup>3</sup>**

**Andrea Mazzuccato<sup>3</sup>**

**Sandra Primon<sup>3</sup>**

**Chiara Zogno<sup>2</sup>**

---

### *Contributi specifici*

**Tiziano Abbà<sup>3</sup>** - rilevamento geologico ed elaborazione profilo lungo il Passante di Mestre e la linea ferroviaria PD-VE

**Vittorio Bisaglia<sup>3</sup>** - esecuzione ed interpretazione di sondaggi

**Monica Petta<sup>1</sup>** - implementazione banca dati stratigrafica

**Paolo Ciuffi<sup>1</sup>** - supporto all'estrazione dei dati delle bonifiche

**Carlo Paccagnella<sup>1</sup>** - supporto all'estrazione dei dati delle discariche

**Ugo Scortegagna<sup>1</sup>** - supporto ai rilievi di campagna

**Alessandra Faggin<sup>2</sup>** - Esecuzione prove sperimentali e implementazione banca dati stratigrafica

---

### *Consulenti per gli aspetti geologici e stratigrafici*

**Aldino Bondesan<sup>2</sup>**

**Alessandro Fontana<sup>2</sup>**

**Paolo Mozzi<sup>2</sup>**

1. Provincia di Venezia - Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio

2. Università di Padova - Dipartimento di Geoscienze

3. Geologo libero professionista

# Indice

<i>Prefazione di Francesca Zaccariotto</i> .....	9	<b>7. Sistema Idrogeologico Centrale</b> .....	71
<i>Prefazione di Paolo Dalla Vecchia</i> .....	11	7.1. Inquadramento geologico .....	71
<i>Prefazione di Cristina Stefani</i> .....	13	7.2. Caratterizzazione idrostratigrafica .....	73
<b>1. Scopi e limiti del progetto</b> .....	15	7.2.1. Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico .....	77
<b>2. Inquadramento territoriale</b> .....	17	7.2.2. Approfondimento per l'area con maggiore disponibilità di dati (Porto Marghera) .....	80
2.1. Inquadramento topografico e idrografico .....	17	7.3. Caratterizzazione idrogeologica .....	80
2.2. Inquadramento geologico e geomorfologico .....	18	<b>8. Sistema Idrogeologico Meridionale</b> .....	91
2.3. Inquadramento idrogeologico .....	20	8.1. Inquadramento geologico .....	91
<b>3. Materiali e metodi</b> .....	23	8.2. Caratterizzazione idrostratigrafica .....	93
3.1. Banche dati del Servizio Geologico .....	23	8.3. Caratterizzazione idrogeologica .....	94
della Provincia di Venezia .....	23	<b>9. Sistema Idrogeologico Costiero</b> .....	99
3.1.1. Banca dati geologico-stratigrafica .....	23	9.1. Inquadramento geologico .....	99
3.1.2. Banca dati idrogeologica .....	27	9.2. Caratterizzazione idrostratigrafica .....	105
3.2. Metodi di elaborazione geologica .....	29	9.2.1. Acquifero sabbioso costiero olocenico .....	107
3.3. Metodi di caratterizzazione idrogeologica .....	30	9.3. Caratterizzazione idrogeologica .....	110
3.3.1. Parametri idrogeologici .....	30	<b>Conclusioni: sintesi del modello idrogeologico</b> .....	119
3.3.2. Monitoraggio potenziometrico in continuo e rilievo della quota dei piani di riferimento dei piezometri .....	31	<b>Appendice. Linee guida per le indagini geologiche e la progettazione di opere interferenti con gli acquiferi superficiali</b> .....	123
3.3.3. Dati idrologici di confronto .....	33	<b>Allegato 1. Monografie dei piezometri</b> .....	129
<b>4. Ricostruzione dell'assetto stratigrafico</b> .....	35	<b>Allegato 2. Valori di permeabilità</b> .....	275
4.1. Profili idrostratigrafici .....	35	<b>Bibliografia</b> .....	281
4.2. Distribuzione della sabbia e dell'argilla nell'area centrale .....	41	<b>Tavole allegate</b>	
<b>5. Modello idrostratigrafico e sistemi idrogeologici</b> .....	49	Tavola 1 Sistemi idrogeologici - Acquiferi presenti fino a 30 m di profondità	
5.1. Modello idrostratigrafico .....	49	Tavola 2 (a, b, c) Profili idrostratigrafici	
5.2. Sistemi idrogeologici .....	51	Tavola 3 Tetto e spessore degli acquiferi	
5.3. Tetto e spessore degli acquiferi .....	52	Tavola 4 Distribuzione della sabbia e dell'argilla nei primi 12 metri di profondità nel Sistema Idrogeologico Cen- trale	
<b>6. Sistema Idrogeologico Nord-orientale</b> .....	57	Tavola 5 Permeabilità degli acquiferi	
6.1. Inquadramento geologico .....	57		
6.2. Caratterizzazione idrostratigrafica .....	59		
6.2.1. Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi del Piave e del Tagliamento post-LGM .....	60		
6.2.2. Acquiferi sabbioso-ghiaiosi e sabbiosi di paleoalveo .....	65		
6.3. Caratterizzazione idrogeologica .....	65		



L'acqua della laguna, l'acqua del mare, l'acqua dei suoi sette fiumi, l'acqua delle grandi bonifiche idrauliche: nell'immaginario popolare il territorio provinciale di Venezia è "terra" e "acqua" insieme, e il rapporto, l'interferenza, il binomio di questi due elementi ha sempre determinato le strategie delle amministrazioni che lo hanno governato, dai Paleoveneti, ai Romani, alla Serenissima, agli odierni enti locali, regionali e nazionali.

Generalmente nei rapporti di interferenza tra l'uomo e il territorio vengono considerati il suolo e le acque superficiali. C'è però tutto un mondo di acque sotterranee sottratte alla percezione umana, che si manifestano solo per gli effetti, positivi o negativi, che possono indurre in superficie: sorgenti, risorgive, subsidenza, frane, ...; sono le acque che impregnano e scorrono nel sottosuolo a formare le falde acquifere.

Le discipline che si occupano di terra e acqua, e delle loro reciproche interconnessioni, sono la geologia e l'idrogeologia, e la Provincia di Venezia considera strategica la conoscenza di queste due componenti del territorio per il suo stesso corretto governo. Di grande interesse strategico appare infatti conoscere l'assetto idrogeologico del sottosuolo nei primi 20, 30 m di profondità, per il sempre maggiore coinvolgimento nelle opere in sotterraneo, soprattutto nelle aree maggiormente urbanizzate, dove il consumo di suolo è così spinto da non lasciare alternative allo sviluppo urbanistico e alle infrastrutture.

Da quasi un trentennio la Provincia si adopera per la conoscenza della sua struttura geologica e idrogeologica, impostando e finanziando importanti collaborazioni con atenei ed enti di ricerca nazionali ed internazionali. Il risultato di questo lavoro è la produzione di specifiche pubblicazioni in tali materie e di nutrite banche dati su suolo e sottosuolo, di grande utilità e ormai largo utilizzo sia da parte dei tecnici e progettisti che operano sul territorio, sia da parte degli stessi enti che lo amministrano, in primis la Provincia stessa, per un supporto alle decisioni.

Da ultimo, è stato pubblicato nel 2011 l' *"Atlante geologico della provincia di Venezia"*, un compendio di tutti gli studi eseguiti fino ad oggi. Le conoscenze finora acquisite in campo geologico, in particolare con la *"Geomorfologia della provincia di Venezia"* (2004) e le *"Unità geologiche della provincia di Venezia"* (2009), forniscono un quadro conoscitivo il cui logico approfondimento riguarda l'assetto idrogeologico. Già nel 2000 era stato fatto un primo studio sulle falde acquifere profonde che interessano il territorio provinciale, dal titolo *"Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia"*, successivamente integrata nell'area del portogruarese da uno studio condotto dal Consorzio di Bonifica Veneto Orientale e dalla Provincia di Venezia. Altri progetti sono poi seguiti, finalizzati allo studio dell'intrusione salina nelle acque superficiali e sotterranee, e dei suoi rapporti con la subsidenza del territorio, nell'area meridionale della Provincia.

L'opera presentata in questa pubblicazione illustra lo *Studio idrogeologico degli acquiferi superficiali ed interferenza con gli interventi antropici nel sottosuolo - Progetto denominato IDRO - finalizzato al supporto alle decisioni ed alla difesa del suolo*. Il progetto è stato avviato nel 2008 grazie al finanziamento provinciale di una convenzione con il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, e come logico approfondimento delle conoscenze sul sottosuolo fino ad allora acquisite. Si è svolto nell'arco temporale di quattro anni, e ha visto la collaborazione di geologi esperti e di neolaureati, che hanno eseguito complesse misure nel territorio, raccolto informazioni, implementato e aggiornato le banche dati, ed eseguito numerose elaborazioni sotto la direzione scientifica dell'Università di Padova e la direzione tecnica della nostra Provincia. Conoscere per ben governare è un motto prezioso, che noi abbiamo fatto nostro. Desidero inoltre ricordare come la Provincia di Venezia abbia da sempre tenuto in grande considerazione il ruolo della conoscenza per il supporto delle decisioni. Un aspetto, questo, fondamentale, che dovrà essere messo sulla bilancia delle competenze in una prospettiva di riorganizzazione degli enti locali.

*Il Presidente*

Francesca Zaccariotto



Gli *acquiferi superficiali*, che convenzionalmente in questo lavoro saranno considerati quelli presenti nei primi 20-30 metri di profondità, vengono comunemente considerati come risorse idriche di scarso interesse, in relazione alla bassa qualità delle acque e al modesto grado di protezione degli acquiferi. Si tratta però degli acquiferi che vengono a contatto, interferiscono e influenzano molte attività antropiche, che vanno da quelle agricole alla realizzazione di opere di ingegneria, dalle bonifiche idrauliche al possibile utilizzo di risorse idriche sotterranee per usi non potabili.

Risulta quindi immediato comprendere come sia *strategico* avere una visione di insieme delle caratteristiche di questi acquiferi, sia a fini di programmazione e pianificazione, sia a fini di progettazione e valutazione di progetti.

Negli ultimi anni, il tema degli acquiferi presenti nei primi 20-30 metri di profondità ha assunto via via sempre maggiore rilevanza. Infatti, si sono moltiplicati i progetti e le proposte anche dimensionalmente estese che interferiscono con il sottosuolo. Si pensi, a mero titolo di esempio, alla proposta del tunnel autostradale al di sotto della tangenziale di Mestre, alla sublagunare, alle linee ferroviarie dell'alta capacità ferroviaria o al sempre più diffuso uso del sottosuolo in ambito urbano per parcheggi sotterranei, locali tecnici etc.

Anche una maggiore attenzione al risanamento dei siti contaminati, via via sviluppatasi a partire dagli anni '90, implica necessariamente un'adeguata conoscenza della struttura idrogeologica di insieme.

Una conoscenza della struttura idrogeologica complessiva del primo sottosuolo era quindi una esigenza indifferibile per una corretta gestione del territorio, nonché un indispensabile strumento per gli Uffici chiamati a fare l'istruttoria o a fornire pareri ed autorizzazioni ad opere interferenti con il sottosuolo. A tale scopo la Provincia ha individuato uno specifico progetto, denominato "IDRO", relativo allo *"Studio idrogeologico degli acquiferi superficiali ed interferenza con gli interventi antropici nel sottosuolo finalizzato al supporto alle decisioni ed alla difesa del suolo"*. L'opera pluridecennale di conoscenza geologica sul proprio territorio, svolta dalla Provincia, aveva permesso di avere le conoscenze (in particolare il quadro geologico di riferimento), necessarie per impostare correttamente e realizzare una indagine idrogeologica sugli acquiferi superficiali, nonché le competenze e le esperienze per applicare una metodologia di lavoro che, date le caratteristiche peculiari della provincia di Venezia, non trovava riscontri in bibliografia. Mediante lo studio e la pubblicazione nel 2008 de *"Le unità geologiche della provincia di Venezia"*, si è acquisito un quadro complessivo della situazione geologica delle prime decine di metri di sottosuolo. Ciò ha permesso di affrontare il tema anche della ricostruzione idrogeologica del primo sottosuolo.

Lo studio è stato svolto sia mediante attività di campo, sia mediante attività di implementazione e manutenzione delle banche dati geologiche ed idrogeologiche, che di elaborazioni dati e rapporti tecnici. Parte della strumentazione utilizzata per i rilievi è stata appositamente acquisita dalla Provincia per il progetto.

L'intero lavoro, sia di rilievi in campo che di elaborazione, è stato svolto direttamente da Geologi afferenti al Servizio Geologico Provinciale o al Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova. La responsabilità scientifica del progetto è stata curata congiuntamente dal Prof. Paolo Fabbri del Dipartimento Geoscienze dell'Università di Padova e dal Geol. Pietro Zangheri. La responsabile del progetto per la Provincia di Venezia è la Geol. Valentina Bassan.

Con questo studio si vanno quindi ad integrare le sistematiche conoscenze raccolte sul territorio provinciale, grazie alla definizione di un modello concettuale della geologia e della idrogeologia del primo sottosuolo che consente una contestualizzazione dei progetti e delle pianificazioni che si ritiene utile sia per altri Enti pubblici, sia per le aziende private e professionisti che si trovano a progettare interventi sul territorio provinciale.

Per gli Enti pubblici si ottiene infatti un quadro di riferimento fondamentale per istruire le diverse pratiche e progetti.

Per le aziende ed i professionisti un quadro geologico ed idrogeologico di area vasta è di fondamentale importanza per ricostruire correttamente il modello idrogeologico locale e, più in generale, per una corretta progettazione in termini ambientali e di valutazione costi/benefici.

L'intero lavoro svolto si avvale di metodologie scientifiche, anche innovative, sviluppate grazie alla stretta collaborazione con l'Università di Padova (Dipartimento di Geoscienze), mantenendo però sempre una stretta dipendenza ai compiti istituzionali della Provincia. Lo studio degli acquiferi superficiali, infatti, è stato finalizzato alla valutazione delle relazioni e delle interferenze con le opere antropiche.

*L'Assessore all'Ambiente  
e alla Difesa del Suolo*  
Paolo Dalla Vecchia



Con la pubblicazione del volume *“Sistemi idrogeologici della provincia di Venezia - Acquiferi superficiali”*, la Provincia di Venezia continua e rinnova la sua ormai pluridecennale attenzione su argomenti di tipo geologico, idrogeologico e territoriale. A distanza di due anni dalla pubblicazione dell'ultimo lavoro dal titolo *“Atlante geologico della provincia di Venezia”* ancora una volta i responsabili politici e tecnici dell'Amministrazione locale, hanno sentito la necessità di approfondire le conoscenze nel proprio territorio, in questo caso, in ambito idrogeologico. L'aumento delle conoscenze sulla circolazione idrica e sulla struttura degli acquiferi superficiali presenti in questo territorio e la loro divulgazione tramite questo volume potranno essere di aiuto sia alla Provincia nei suoi compiti istituzionali di gestione del territorio sia al mondo delle professioni che opera in ambito ambientale l.s.

È quindi con grande piacere che vedo il Dipartimento di Geoscienze mettere a disposizione della collettività alcune delle sue competenze scientifiche e dei suoi ricercatori, che hanno collaborato allo sviluppo di questo progetto e alla stesura del lavoro che ne sintetizza i risultati. Credo che per un Direttore sia una soddisfazione constatare che le ricerche che vengono sviluppate nel proprio Dipartimento trovano interesse anche al di fuori del mondo accademico.

*Il Direttore del Dipartimento  
di Geoscienze  
Università di Padova  
Cristina Stefani*



Il progetto IDRO è nato come risposta a compiti istituzionali in tema di difesa del suolo e si inserisce nel quadro delle conoscenze degli aspetti fisici del suolo e del sottosuolo del territorio provinciale.

Tra le varie competenze attribuite alla Provincia con D.Lgs. 167/2000 (art. 19) vi è la difesa del suolo, la tutela e valorizzazione dell'ambiente e la prevenzione delle calamità, la tutela e valorizzazione delle risorse idriche ed energetiche, la raccolta ed elaborazione dati, l'assistenza tecnico-amministrativa agli enti locali.

La Provincia, inoltre, ferme restando le competenze dei Comuni ed in attuazione della legislazione e dei programmi regionali, predispone ed adotta il piano territoriale di coordinamento che determina gli indirizzi generali di assetto del territorio.

Con D.Lgs. 152/2006 alla Provincia spetta tra l'altro lo svolgimento dell'attività conoscitiva a supporto delle decisioni.

In questo ambito normativo, ma già prima di queste normative specifiche, la Provincia di Venezia ha svolto un'intensa attività di approfondimento degli aspetti che riguardano suolo, sottosuolo e acque sotterranee. Questa attività, in corso ormai da oltre un trentennio, si è concretizzata nella realizzazione e pubblicazione di numerosi studi anche in collaborazione con Enti di ricerca. Gran parte delle informazioni derivanti dai vari lavori sono state organizzate ed archiviate in geodatabase, largamente utilizzate da tecnici ed Enti Pubblici e Privati per ricerche e a supporto di attività istituzionali.

Obiettivo di questo studio è la definizione del quadro idrogeologico di riferimento a scala provinciale; esso deriva come logico approfondimento delle conoscenze acquisite con numerosi studi svolti e pubblicati dalla Provincia di Venezia con la collaborazione di alcuni Enti di ricerca operanti sul territorio (principalmente Università di Padova - Dipartimento di Geoscienze e CNR-ISMAR). In particolare il progetto IDRO sviluppa il tema idrogeologico di bassa pianura relativamente al territorio provinciale a partire da quanto evidenziato con lo studio relativo alle pubblicazioni *"Geomorfologia della provincia di Venezia"* (2004) e *"Le unità geologiche della provincia di Venezia"* (2008), utilizzando ed approfondendo la metodologia utilizzata per la realizzazione dell'*"Indagine Idrogeologica del Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Venezia - Porto Marghera"*, che la Provincia ha realizzato per conto della Regione Veneto (2009).

I prodotti della ricerca sono stati: la definizione, rappresentazione e descrizione del modello idrogeologico della bassa pianura relativamente al territorio provinciale; la definizione, rappresentazione e descrizione delle principali caratteristiche geometriche e idrogeologiche degli acquiferi individuati; la misurazione su lungo periodo ed in continuo dei livelli di falda con schedatura ed elaborazioni con riferimento esatto all'acquifero misurato. Nonostante la richiesta spesso espressa da utenti di varia natura e la notevole quantità di studi idrogeologici, prevalentemente di carattere locale, svolti nel territorio provinciale, ad oggi queste informazioni non erano mai state ricercate in modo organico e

sistematico in un arco temporale così lungo (quattro anni) nel territorio provinciale.

Come sottoprodotto della ricerca, ma non di minore importanza, è stato l'aggiornamento della struttura e la notevole implementazione delle banche dati stratigrafica ed idrogeologica della Provincia di Venezia. Tale è l'importanza di questo tema che è stata dedicato un apposito paragrafo nella pubblicazione dello studio. Le banche dati in parola contengono ora migliaia di dati georiferiti che vengono largamente utilizzati da utenti pubblici e privati nonché da Enti di ricerca, al fine della redazione di studi, piani e progetti.

In definitiva lo studio si presenta come strumento indispensabile di supporto alle decisioni dell'Ente Provincia (PTCP, PPE, Piano Rifiuti, valutazione di progetti in VIA, approvazione di progetti che interferiscono con il sottosuolo...), ma anche a quelle di altri Enti, ed in particolare dei Comuni per la redazione dei PAT. La conoscenza dei caratteri idrogeologici del sottosuolo deve infatti guidare le scelte pianificatorie e progettuali che interferiscono con il sottosuolo (infrastrutture viarie e ferroviarie, reti tecnologiche, parcheggi, bonifiche di siti inquinati, impianti di discarica, ...).

A tal fine si è anche tentato di fornire alcune indicazioni mirate all'orientamento delle indagini geologiche e alla progettazione di opere interferenti con gli acquiferi superficiali, in modo da fornire, oltre che un quadro di riferimento generale sul quale calare il contesto idrogeologico specifico locale, anche un approccio metodologico coerente con tale quadro.

Va osservato che, nonostante il lavoro si sia svolto su uno spettro temporale di 4 anni, con un importante investimento in risorse umane e strumentali, esso presenta delle limitazioni.

Innanzitutto si è dovuto prendere atto dell'assenza di una metodologia consolidata di interpretazione idrogeologica su area vasta per le aree di bassa pianura: come già accennato esistono innumerevoli esempi di studio a livello locale, ma la complessità del sistema acquifero superficiale a scala provinciale o regionale non è finora mai stata organizzata né rappresentata. Unici esempi individuati in letteratura sono alcuni studi sugli acquiferi costieri, che rappresentano in realtà solo una delle innumerevoli componenti idrogeologiche presenti nel sottosuolo veneziano.

La prima parte del progetto si è quindi focalizzata sulla messa a punto di una specifica metodologia, partendo dall'applicazione in "aree campione".

In estrema sintesi il metodo prevede l'individuazione dei principali corpi acquiferi di interesse a scala provinciale, mediante una ricostruzione tridimensionale del sottosuolo, che parte da quanto realizzato nell'ambito de *"Le unità geologiche della provincia di Venezia"* (Bondesan et al., 2008) e va a delimitare, mediante specifici approfondimenti, le porzioni di sottosuolo interessate da acquiferi. Una volta delimitati gli acquiferi ne viene fatta la caratterizzazione idrogeologica in termini di parametri idrogeologici (trasmissività, permeabilità ecc.), di modalità di deflusso

e interrelazione con altri corpi idrici (rete scolante, laguna, corsi d'acqua, ...).

Preziosa è stata l'esperienza maturata durante la citata indagine idrogeologica del SIN di Porto Marghera, che disponeva però di una mole eccezionale di dati, grazie alle indagini eseguite nell'ambito dei piani di caratterizzazione, non riscontrabile nell'intero territorio provinciale.

La complessità del sistema di acquiferi superficiali presenti nel sottosuolo veneziano si è tradotta nella difficoltà della sua rappresentazione in carta; una volta capita la geometria tridimensionale e la distribuzione spaziale dei vari acquiferi è stato necessario procedere ad una schematizzazione dei modelli idrogeologici e all'adozione di convenzioni per la loro rappresentazione planimetrica e per la costruzione della legenda.

La metodologia di indagine e di interpretazione utilizzata può essere considerata quindi un ulteriore prezioso sottoprodotto di questo lavoro, una proposta metodologica comunque sicuramente migliorabile.

La particolare situazione della Provincia di Venezia, che dispone di migliaia di dati, raccolti da oltre un trentennio ed organizzati in funzionali geodatabase, e la particolare posizione di attenzione del Servizio Geologico nei confronti di progetti ed indagini in corso nel territorio, utili all'acquisizione di nuove preziose informazioni, ha consentito di programmare le indagini integrative realizzate nel corso del progetto con risorse limitate e costi sostenibili (prevalentemente misure in continuo ai piezometri, slug test e prove di pompaggio, esecuzione di alcuni fori di sondaggio, rilevamento di campagna su affioramenti evidenziati con scavi connessi con alcune grandi opere,...).

Ciononostante si deve dare atto della diversa densità di dati disponibili, e quindi del diverso dettaglio dell'informazione, non uniforme a scala provinciale. Infatti il lavoro è basato in parte su dati appositamente raccolti e, in particolare per quanto riguarda le informazioni geologico-stratigrafiche, su dati reperiti (e successivamente, verificati, standardizzati ed informatizzati) disponibili in modo non uniforme nel territorio. Gli stessi dati, in particolare le misure ed i test sperimentali su piezometri, sono stati condizionati dalla disponibilità dei punti di misura. Le informazioni sono particolarmente dettagliate per le aree di Mestre e Marghera rispetto ad altre aree, mentre sono più rade nella parte nord-orientale della provincia, dove si è reperito un numero limitato di punti su cui effettuare nuove misure.

Si deve inoltre evidenziare che le risorse disponibili non hanno consentito un'adeguata estensione dello studio in laguna di Venezia. Inoltre la complessità dell'assetto idrogeologico superficiale, in rapporto al numero di punti di misura disponibili, non consente di rappresentare mediante carte isopotenziometriche il deflusso delle falde contenute nei vari acquiferi, anche in considerazione delle numerose forzanti in gioco (corsi d'acqua, canali e idrovore della bonifica, marea, ...), rapidamente variabili localmente e temporalmente. Si rimanda quindi a studi di carattere locale per tale aspetto.

Si ribadisce comunque che lo studio non può sostituire né le indagini geologiche necessarie a scala di progetto, né quelle pianificatorie a scala comunale (quali quelle urbanistiche per P.A.T., P.I. e P.U.A.). Risulta però di estrema utilità (nonché di vantaggio economico) per la programmazione, la ottimizzazione e l'interpretazione di tali lavori.

## 2

# Inquadramento territoriale

## 2.1. Inquadramento topografico e idrografico

La provincia di Venezia ha una superficie di 2469 kmq (di cui cir-

ca 600 occupata da spazi lagunari) e una popolazione residente di circa 860.000 abitanti, a cui deve sommarsi una cospicua presenza turistica durante tutto l'anno, ma principalmente nel

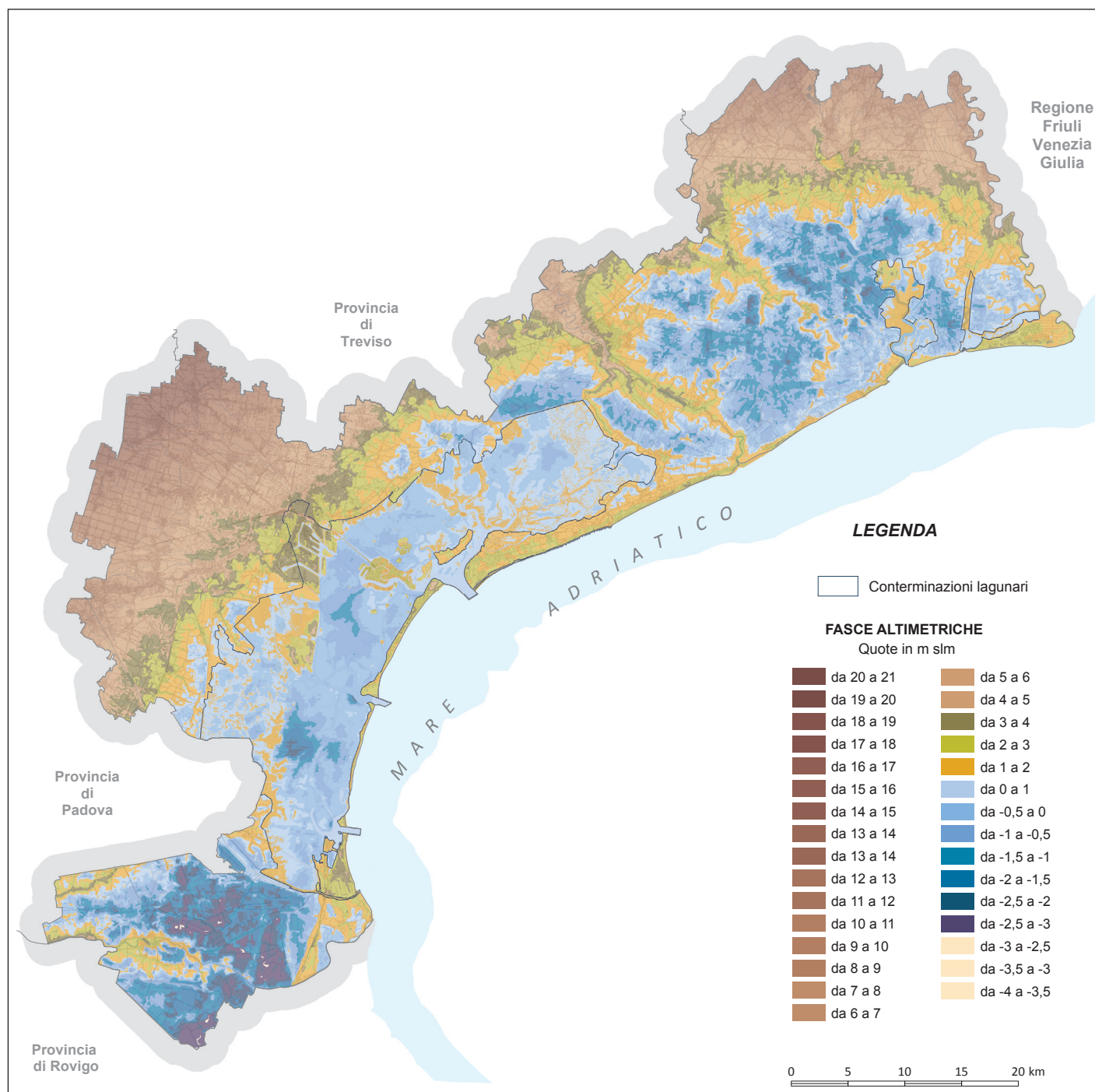


Fig. 2.1. Carta delle fasce altimetriche della provincia di Venezia.

periodo estivo. Il territorio provinciale di Venezia appartiene alla bassa pianura veneto-friulana, posta a sud della fascia delle risorgive, e si affaccia sul Mare Adriatico.

La morfologia pianeggiante del territorio è caratterizzata da una forma a catino, riconoscibile nella figura 2.1 che evidenzia le diverse fasce altimetriche del piano campagna.

Le quote digradano da oltre +20 m slm della parte nordovest del territorio, fino al livello del mare rappresentato dalle lagune di Venezia, Caorle e Bibione. Ampie fasce di terreni prospicienti le lagune nell'area meridionale (Cona, Cavarzere e Chioggia) e nell'area nord-orientale (sandonatese e portogruarese) sono bacini di bonifica idraulica: sono posti a quote sotto il livello del mare (fino a -4 m slm), protetti da argini a deflusso meccanico, serviti da un complesso sistema di idrovore. Tali aree risanate da paludi e lagune sono ora coltivate o soggette a interventi di tipo infrastrutturale e insediativo.

Le parti settentrionale e meridionale della provincia di Venezia sono soggette a fenomeni di subsidenza, in buona parte accentuati dalle modifiche dello stato fisico dei sedimenti indotte dalla realizzazione delle opere di bonifica per drenaggio. Nelle aree bonificate, il fenomeno ha una rilevanza particolare, con tassi i cui valori sono compresi fra 3 e 10 mm/anno e conseguenze negative nei confronti delle infrastrutture a sviluppo lineare, quali ferrovie, strade, acquedotti, fognature, canali e loro argini, ...

Gli ambienti lagunari, palustri e i bacini di bonifica sono separati dal mare da sistemi costieri dunali, alimentati dalle alluvioni dei fiumi principali, e possono raggiungere quote di diversi metri sopra il livello del mare.

Il litorale è interessato da un intenso sfruttamento turistico e una pesante urbanizzazione, avvenuti in tempi relativamente recenti, dagli anni '60 del 1900.

Il territorio provinciale è attraversato da alcuni dei principali fiumi italiani: Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione, Adige, con un andamento prevalente da nordovest a sudest. Essi hanno le loro foci nella costa adriatica veneziana. A sud dell'Adige è presente, appena fuori dai confini provinciali, il delta del Po, fiume che ha interessato in passato il territorio provinciale veneziano.

I fiumi scorrono a meandri, in parte rettificati artificialmente, in alvei di limitata capacità e ristretti in arginature ampiamente pensili sul piano campagna. Infatti, nei secoli passati, tutti i fiu-

mi veneti nel loro tratto finale hanno subito deviazioni e rettifiche per evitare l'interramento delle lagune o favorire il deflusso verso il mare per affrontare gli eventi di piena.

Oltre alle aste dei principali fiumi vi sono corsi d'acqua minori, originati dalle emergenze risorgive situate a monte del confine provinciale: Lemene, Regghena, Loncon, Meolo, Vallio, Sile, Zero, Dese, Marzenego.

Vi sono inoltre altri corsi d'acqua artificiali d'interesse locale, quali il Naviglio Brenta, Taglio Nuovissimo, canale Gorzone, canale dei Cuori e una fitta rete idraulica minore gestita da Consorzi di Bonifica, da privati e, nelle aree urbane, per le acque meteoriche, dai Comuni.

I corsi d'acqua sono arginati e, a volte, hanno quote idrometriche superiori a quelle del piano campagna. In alcuni casi sono pensili, cioè con il letto dell'alveo a quote maggiori del piano campagna circostante.

Una sezione topografica (fig. 2.2) tracciata nella parte meridionale della provincia, nel territorio di competenza del Consorzio di bonifica Adige Euganeo (già Adige Bacchiglione) evidenzia, in modo didattico, l'attuale situazione altimetrica e idrometrica, con i campi coltivati e le abitazioni posti ben al di sotto del livello del medio mare, con il livello idrometrico dei fiumi e i loro argini che sovrastano la campagna.

Vi sono zone in cui lo scolo delle acque meteoriche avviene per gravità, assecondando la pur bassa pendenza naturale ("scolo naturale"), e altre in cui ciò avviene attraverso il pompaggio mediante idrovore ("scolo meccanico"). In altre ancora, il deflusso avviene normalmente con scolo naturale, ma in determinate situazioni si ricorre allo scolo meccanico; si tratta di aree a "scolo alternato".

Nella planimetria della figura 2.3 sono rappresentati i territori di pertinenza dei diversi tipi di scolo. Risulta evidente che la parte di territorio a scolo naturale ha una superficie inferiore a quella a scolo meccanico.

La conformazione geologica e geomorfologica della provincia di Venezia, associata alla fitta e complessa rete idraulica che la solca e alla presenza del mare, è causa predisponente all'allagamento del suo territorio.

L'impermeabilizzazione del suolo dovuta all'intensa e abusata urbanizzazione del territorio rappresenta una concausa degli allagamenti più frequenti, connessi con l'insufficienza della rete di smaltimento delle acque meteoriche, aggravata da un'aumentata frequenza degli eventi meteorici estremi.

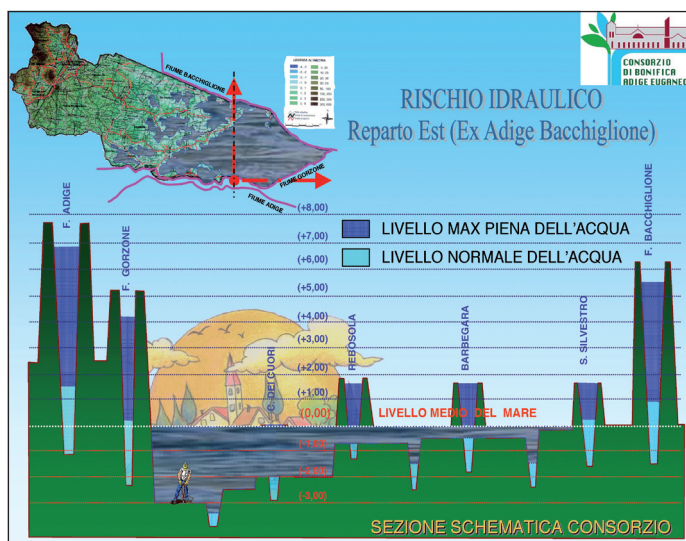


Fig. 2.2. Sezione altimetrica e idrografica nella parte orientale del Consorzio di bonifica Adige Euganeo.

## 2.2. Inquadramento geologico e geomorfologico

Il territorio provinciale è caratterizzato dalla presenza di terreni di origine alluvionale, depositati dai sistemi fluviali attraverso le loro numerose divagazioni, interdigitati a sedimenti lagunari e a sedimenti sabbiosi costieri. Il sottosuolo è costituito da una successione di prevalenti sedimenti limoso-argillosi, talora a componente organica, almeno nei metri più superficiali, cui si affiancano e/o alternano livelli sabbioso-limosi, prevalentemente medio-fini. Tali successioni sono caratterizzate da un'estrema variabilità laterale e verticale. Tale variabilità è legata alle modalità dei processi di sedimentazione alluvionale, che danno origine a depositi lentiformi, con frequenti interdigitazioni dovute a passaggi repentini ad ambienti sedimentari differenti.

Il quadro geologico del territorio provinciale è caratterizzato dalla presenza di un sistema di conoidi alluvionali dei principali fiumi alpini (megafan), con contributi minori da parte dei fiumi di risorgiva.

La costituzione del sottosuolo nei primi 30-50 m di profondità è infatti il risultato dei processi deposizionali ed erosivi avvenuti dal Pleistocene superiore al periodo attuale, dovuti all'azione della sedimentazione fluvio-glaciale e fluviale, all'erosione verificatasi alla fine della glaciazione e alla successiva sedimentazione intervenuta a causa dell'innalzamento del livello del mare.

Nel Quaternario recente (Pleistocene superiore e Olocene), i fiumi veneti hanno ripetutamente cambiato percorso a valle del loro sbocco vallivo, interessando aree di pianura molto ampie fino a coprire migliaia di chilometri quadrati. Si sono così formati sistemi sedimentari che in pianta presentano una morfologia a ventaglio e che vengono definiti conoidi alluvionali o megafan alluvionali (fig. 2.4).

Durante l'Ultimo Massimo Glaciale (LGM - Last Glacial Maxi-

mum), i bacini dei maggiori sistemi fluviali dell'arco alpino ospitavano ghiacciai che in qualche caso giungevano in pianura. Dai loro fronti si originavano scaricatori glaciali caratterizzati da una portata liquida e solida notevole.

Il post LGM è segnato da una stasi sedimentaria e dalla formazione di incisioni fluviali della piana glaciale, che non è più stata interessata da sedimentazione per più di 6.000 anni. La sedimentazione è ripresa con l'innalzamento del livello del mare succeduto alla fine della glaciazione, anche se inizialmente confinata per la maggior parte all'interno delle incisioni tardoglaciali.

I megafan presentano una marcata differenziazione interna in senso longitudinale: dallo sbocco vallivo dei corsi d'acqua fino alla fascia delle risorgive – alta pianura – essi sono ghiaiosi e hanno pendenze comprese tra 7 e 3‰.

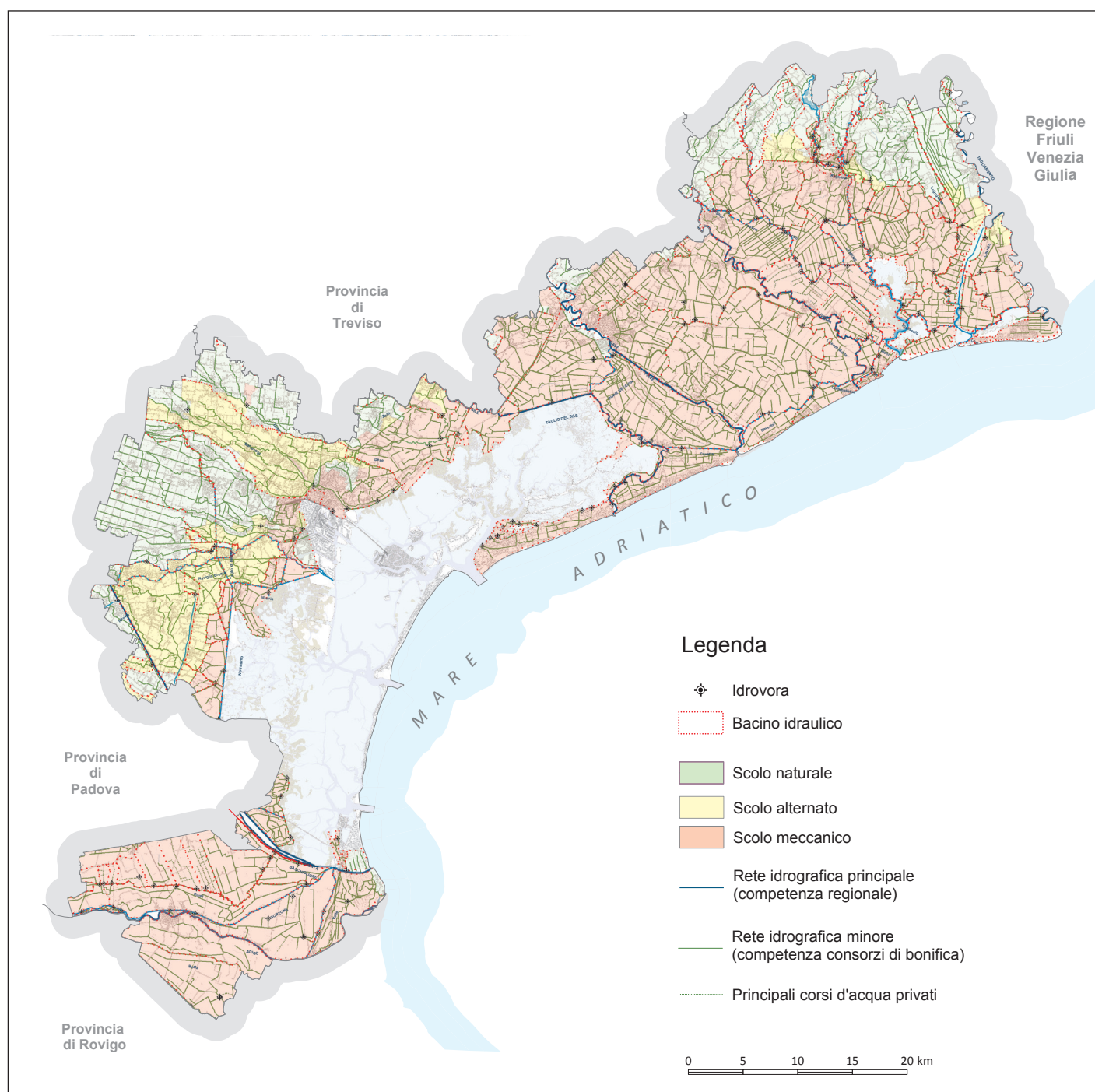


Fig. 2.3. Idrografia principale e bonifica idraulica.

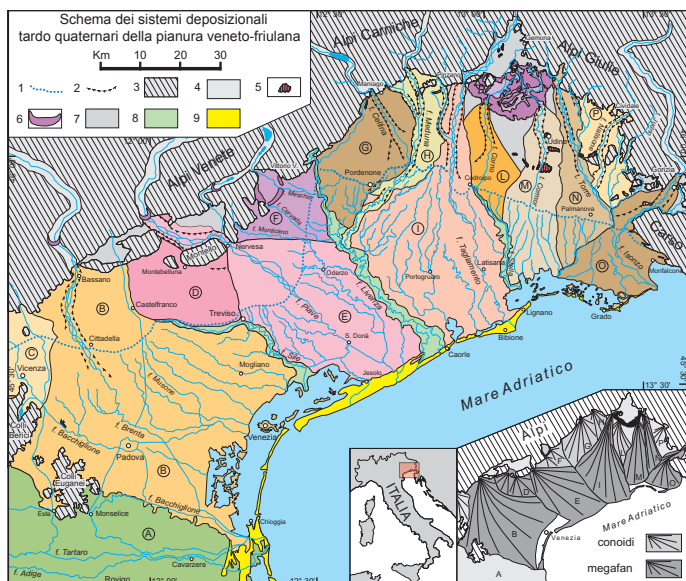


Fig. 2.4. Schema dei sistemi deposizionali tardo quaternari della pianura veneto-friulana (modificato da Fontana *et al.*, 2008). Nel riquadro in basso a destra uno schizzo semplificato dei conoidi e megafan. Simboli: 1) limite superiore delle risorgive; 2) orlo di terrazzo fluviale; 3) aree montuose e collinari; 4) principali valli alpine; 5) terrazzi tettonici; 6) cordoni morenici; 7) depositi di interconoide e delle zone intermontane, 8) depositi dei principali fiumi di risorgiva, 9) sistemi costieri e deltizi. Lettere: (A) pianura dell'Adige; (B) megafan del Brenta; (C) conoide dell'Astico; (D) megafan di Montebelluna; (E) megafan di Nervesa; (F) conoide del Monticane-Cervada-Meschio; (G) conoide del Cellina; (H) conoide del Meduna; (I) megafan del Tagliamento; (L) conoide del Corno; (M) megafan del Cormor; (N) megafan del Torre; (O) megafan dell'Isonzo; (P) conoide del Natisone.

La capacità di trasporto dei corsi d'acqua diminuisce con la distanza dal margine alpino, consentendo il moto verso valle di sedimenti progressivamente più fini, che vanno a costruire una pianura a bassi gradienti topografici - bassa pianura - e costituita da depositi di esondazione limoso-argillosi e da corpi di canale sabbiosi.

Nella bassa pianura, la stratigrafia è complessa con la possibilità di riconoscere unità sedimentarie differenti all'interno dei depositi d'età glaciale. Gli studi più recenti evidenziano la ricostruzione di unità sedimentarie limoso-sabbiose con una continuità laterale fino a qualche chilometro, immerse in prevalenti depositi limoso-argillosi di piana distale.

La bassa pianura, pur avendo un andamento altimetrico generale degradante in direzione SE e ESE verso il mare, è segnata da lievi ondulazioni rappresentate da dossi morfologici di qualche metro di rilievo, di origine fluviale, allungati in direzione prevalente nordovest-sudest: si tratta delle arginature naturali formatesi con le alluvioni dei corsi d'acqua attuali, o estinti in quel tratto di pianura e di cui si conserva solo l'antico percorso sopraelevato.

Nelle zone topograficamente depresse di margine tra i maggiori megafan oppure lungo i solchi lasciati da alvei relitti, scorrono i principali fiumi di risorgiva.

La porzione distale dei megafan, durante l'Olocene, è stata interessata direttamente dall'ambiente marino soprattutto nei settori attualmente prossimi al mare o alle lagune. È stato riconosciuto infatti un ciclo trasgressivo-regressivo, in cui ad una iniziale espansione marina sulla pianura preesistente è seguito l'instaurarsi di un ambiente lagunare o deltizio. I sedimenti di origine fluviale si interdigano con quelli marini e lagunari.

In area veneziana, la prima formazione delle lagune sembra essere documentata circa 7000 - 6000 anni fa, in corrispondenza della massima ingressione marina.

L'equilibrio fra deposizione ed erosione di origine alluvionale e lagunare-costiera è stato interrotto da imponenti trasformazioni idrauliche del sistema fluviale e costiero che hanno interessato il margine e la parte più interna delle lagune costiere dalla fine del XIX secolo.

### 2.3. Inquadramento idrogeologico

Le ghiaie delle conoidi, ben evidenti allo sbocco vallivo, sono presenti nel sottosuolo verso il mare a profondità sempre più elevate, fino ad esaurirsi.

Nella bassa pianura veneziana, i depositi continentali costituiti da depositi di esondazione limoso-argillosi e da corpi di canale sabbiosi si sono sovrapposti o posti in continuità laterale a depositi di origine lagunare e marina, durante l'alternanza di periodi di trasgressione e regressione marina. I rapporti geometrici fra queste formazioni sono caratterizzati da variabilità riferibili alle differenti associazioni di facies di ambienti deposizionali contigui.

Tale serie stratigrafica, nella bassa pianura veneziana, è presente con spessori variabili da circa settecento metri nel settore nord-orientale fino a oltre millecinquecento metri in quello meridionale.

La progressiva differenziazione delle strutture sedimentarie da monte a valle determina in conseguenza caratteri idrogeologici differenti. Si passa infatti da un sistema acquifero indifferenziato di tipo freatico a monte, ad un sistema multi falde a valle, in connessione l'uno con l'altro.

Nella bassa pianura, la complessità stratigrafica si riflette sull'assetto idrogeologico, condizionando la forma degli acquiferi e i loro reciproci rapporti, caratterizzati da modeste continuità verticali e laterali. I corpi sabbiosi e gli acquiferi in essi contenuti

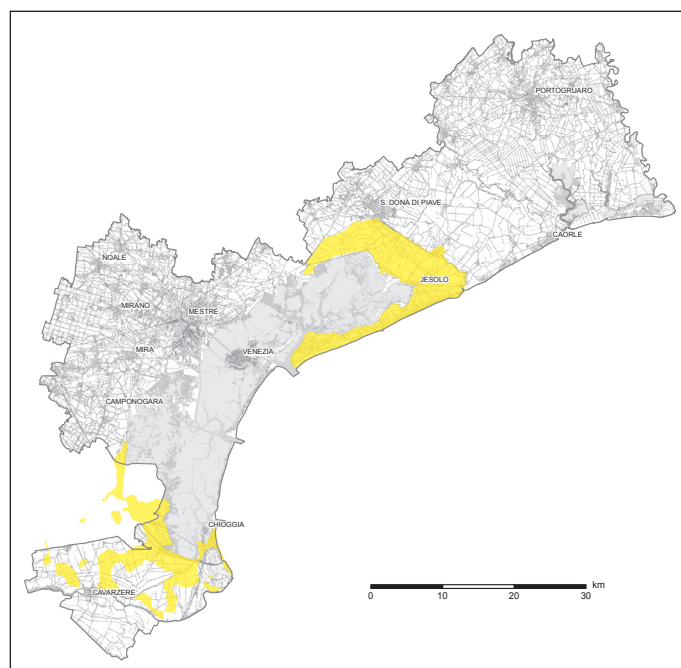


Fig. 2.5. Aree interessate dal fenomeno dell'intrusione salina nelle falde superficiali (in giallo) relativamente alle porzioni di territorio indagate (area meridionale e area in destra Piave).

hanno una valenza a scala locale, interessando al massimo fasce di territorio di un paio di chilometri di larghezza e spessori di una decina di metri.

L'alternanza di litotipi prevalentemente argilloso-limosi a bassa o bassissima permeabilità e di litotipi sabbiosi e sabbioso-limosi a permeabilità media presenta una prevalenza in percentuale dei termini più coesivi rispetto a quelli sciolti. Intercalati a questi litotipi si rilevano, talvolta, orizzonti torbosi, soprattutto nei terreni più superficiali.

Gli spessori di materiali argilloso-limosi riducono drasticamente la permeabilità verticale (acquicludi). Le intercalazioni sabbioso-limose sono sede di una circolazione d'acqua modesta (acquitardi) mentre i livelli sabbiosi ospitano falde idriche in pressione caratterizzate da bassa potenzialità e da una veloce perdita di carico se sfruttate.

Tale assetto idrogeologico è convenzionalmente suddiviso in acquiferi superficiali e profondi, i quali presentano, oltre a diverse metodologie di studio e grado di conoscenza, diverse applicazioni pratiche.

Gli acquiferi profondi sono interessati da un significativo utilizzo come risorsa idrica di pregio.

Gli acquiferi superficiali, presenti nei 20-30 m più superficiali del

sottosuolo, sono stati considerati di scarso interesse come risorsa a causa della bassa qualità e quantità e dal modesto grado di protezione dalla vulnerabilità. Però, poiché interferiscono e influenzano tutte le attività antropiche, non possono più venire sottovalutati in fase di programmazione territoriale.

Nelle aree più prossime alla costa è presente il fenomeno dell'ingressione del cuneo salino. Inoltre, l'assetto morfologico e idraulico del territorio determina l'ingressione di acqua salata dal mare anche lungo i corsi d'acqua, che essendo pensili, tendono a disperdere le acque nella falda superficiale (in contatto con le acque superficiali della rete minore).

Gli acquiferi superficiali in prossimità della costa sono quindi in parte saturati da acqua dolce ed in parte da acqua salata.

L'ingressione salina, almeno per la parte compresa tra l'Adige e il Piave, è stata oggetto di diversi studi, promossi principalmente dal CNR di Venezia e dalla Provincia di Venezia, che hanno permesso di definire i volumi di sottosuolo coinvolti e l'origine e l'evoluzione del fenomeno.

La figura 2.5 riporta per la citata area compresa tra Adige e Piave, le aree interessate dalla presenza dell'ingressione salina. La profondità dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata varia tra i 5 ed i 30 m di profondità.



Come già accennato esistono innumerevoli esempi di studi idrogeologici, relativi alle falde superficiali di aree di bassa pianura, ma solo a livello locale.

Non sono però noti esempi di analoghi studi su area vasta in zone di bassa pianura: è infatti necessaria una quantità rilevante di dati stratigrafici ed idrogeologici per descrivere, a scala provinciale, la variabilità laterale e verticale dei sedimenti e la complessità dei sistemi acquiferi superficiali è di difficile interpretazione e rappresentazione cartografica.

Unici esempi individuati in letteratura sono alcuni studi sugli acquiferi costieri, che rappresentano in realtà solo una delle tante componenti idrogeologiche presenti nel sottosuolo veneziano.

Nell'ambito del progetto di studio che viene illustrato in questa sede, pur utilizzando metodi di indagine noti e consolidati, è stata messa a punto una specifica metodologia di interpretazione e rappresentazione dei sistemi acquiferi che costituiscono i primi 30 metri di sottosuolo, partendo dall'applicazione in "aree campione".

Il metodo, in generale, prevede l'individuazione dei principali corpi acquiferi di interesse a scala provinciale, mediante una ricostruzione tridimensionale del sottosuolo, che parte da quanto realizzato nell'ambito de "Le unità geologiche della provincia di Venezia" (Bondesan *et al.*, 2008) e va a delimitare, mediante specifici approfondimenti, le porzioni di sottosuolo interessate da acquiferi.

Una volta delimitati gli acquiferi ne viene fatta la caratterizzazione idrogeologica in termini di parametri idrogeologici, di modalità di deflusso e di interrelazione con altri corpi idrici.

Il lavoro si è posto come obiettivo generale la definizione della:

- struttura geologico-stratigrafica *complessiva* del sottosuolo dei primi 20-30 m di profondità in ottica idrogeologica;
- struttura idrogeologica *complessiva* e distribuzione dei parametri idrogeologici nelle tre dimensioni;
- dinamica degli acquiferi anche in rapporto alle interferenze antropiche.

Per far ciò grande attenzione è stata data alla raccolta, organizzazione ed archiviazione di dati già esistenti (eseguiti nell'ambito di progetti e raccolti presso vari Enti) e di nuova acquisizione (stratigrafie da scavi e carotaggi, misure idrogeologiche e monitoraggi ai piezometri, acquisizione di quote, ...), mediante specifiche attività di campo.

La Provincia disponeva di banche dati stratigrafiche ed idrogeologiche che sono state opportunamente aggiornate sia nella struttura che nei contenuti. Ciò ha consentito la gestione e il trattamento di migliaia di dati, sia per la realizzazione di profili geologici e di mappe tematiche, sia per la realizzazione di elaborazioni geostatistiche innovative per l'ambito territoriale e a questa scala.

Di seguito vengono illustrate nel dettaglio i materiali, le metodologie e le elaborazioni che hanno condotto ai risultati dello studio.

### 3.1. Banche dati del Servizio Geologico della Provincia di Venezia

Fin dagli anni '80, la Provincia di Venezia, al fine di poter svolgere al meglio le molteplici competenze accresciutesi nel tempo che coinvolgono aspetti inerenti il suolo e il sottosuolo, ha raccolto un numero elevato di informazioni di carattere geologico su supporto sia cartaceo che digitale.

L'utilizzo di software GIS (Geographic Information System) ha permesso successivamente, soprattutto dopo il 1995, la realizzazione di banche dati informatizzate e georeferenziate dedicate alle Scienze della Terra e alla Difesa del Suolo, anche relative a studi realizzati in precedenza con le tecniche allora tradizionali. Le banche dati utilizzate in questo progetto sono:

- banca dati geologico-stratigrafica;
- banca dati idrogeologica.

#### 3.1.1. Banca dati geologico-stratigrafica

Le informazioni contenute nella banca dati delle indagini geologico-stratigrafiche sono strutturate in tabelle tra loro collegate tramite un codice identificativo (ID\_DATO); questo codice è univoco e caratterizza ogni singolo punto di indagine (fig. 3.1).

Ogni indagine geologico-stratigrafica ha inoltre associate le sue coordinate spaziali secondo un determinato sistema di riferimento cartografico che ne permette l'esatta localizzazione sul territorio (fig. 3.2).

Le indagini geologico-stratigrafiche sono suddivise in due categorie principali:

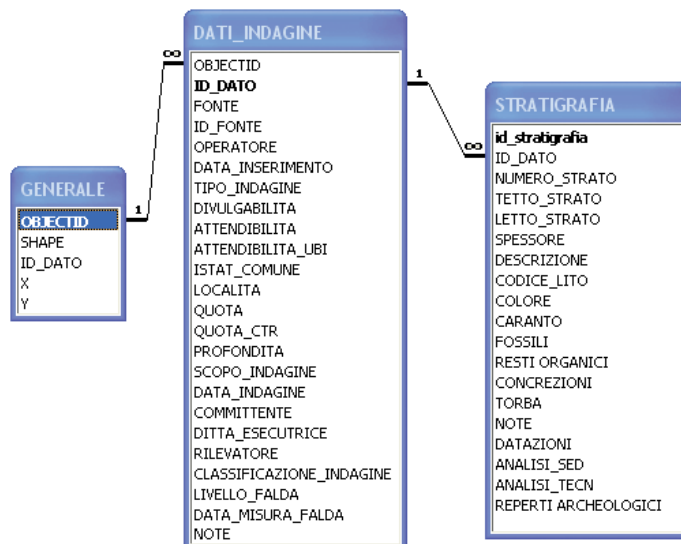


Fig. 3.1. Struttura della banca dati delle indagini geologico-stratigrafiche.

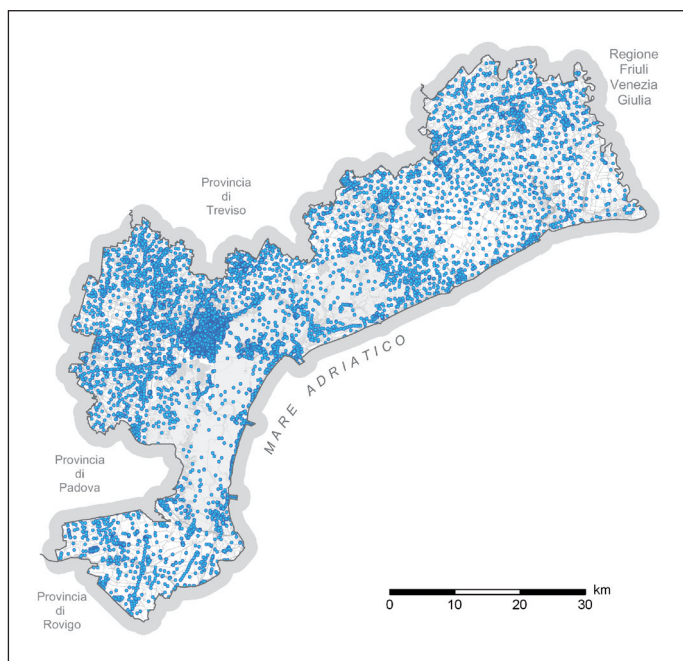


Fig. 3.2. Ubicazione delle indagini geologico-stratigrafiche in provincia di Venezia.

- sondaggi (trivellate, carotaggi continui o a distruzione di nucleo, trincee esplorative);
- prove penetrometriche (statiche e dinamiche);

Le tipologie di informazioni raccolte si possono raggruppare in tre distinte categorie:

- a) *coordinate spaziali*: consistono in una coppia di valori numerici che permettono di ubicare ogni singola indagine in un determinato punto del territorio secondo uno specifico sistema di riferimento cartografico; attualmente viene utilizzato il Sistema di Riferimento "Roma 40 - Gauss Boaga fuso est". Queste informazioni sono archiviate nella tabella "GENERALE" (fig. 3.3);

- b) *informazioni sull'origine del dato e sulle caratteristiche dell'indagine*: per quanto riguarda l'origine del dato viene indicato il committente, la ditta esecutrice dell'indagine, la data d'esecuzione, lo scopo dell'indagine stessa e il rilevatore che ha effettuato la descrizione della stratigrafia; inoltre, qualora l'indagine non sia stata acquisita direttamente dalla Provincia di Venezia, ma ottenuta da un altro Ente, viene anche riportato il codice originale e la provenienza del dato.

GENERALE	
OBJECTID	
SHAPE	
ID_DATO	
X	
Y	

Fig. 3.3. Tabella "GENERALE".

Viene inoltre riportata la quota iniziale e la profondità d'indagine, il livello della falda dal piano campagna misurato dopo l'esecuzione dell'indagine stessa da parte del geologo rilevatore. Queste informazioni sono archiviate nella tabella "DATI INDAGINE" (fig. 3.4);

- c) *descrizione della stratigrafia*: I dati stratigrafici ricavati dalle perforazioni mediante carotaggi sono archiviati nella tabella "STRATIGRAFIA" (fig. 3.5).

A ogni sondaggio sono quindi associate le informazioni che descrivono ogni singolo strato. Esse consistono in:

- numero identificativo dello strato crescente con la profondità dal piano campagna;

DATI_INDAGINE	
OBJECTID	
ID_DATO	
FONTE	
ID_FONTE	
OPERATORE	
DATA_INSERTIMENTO	
TIPO_INDAGINE	
DIVULGABILITA	
ATTENDIBILITA	
ATTENDIBILITA_UBI	
ISTAT_COMUNE	
LOCALITA	
QUOTA	
QUOTA_CTR	
PROFONDITA	
SCOPO_INDAGINE	
DATA_INDAGINE	
COMMITTENTE	
DITTA_ESECUTRICE	
RILEVATORE	
CLASSIFICAZIONE_INDAGINE	
LIVELLO_FALDA	
DATA_MISURA_FALDA	
NOTE	

Fig. 3.4. Tabella "DATI INDAGINE".

STRATIGRAFIA	
id_stratigrafia	
ID_DATO	
NUMERO_STRATO	
TETTO_STRATO	
LETTO_STRATO	
SPESSORE	
DESCRIZIONE	
CODICE_LITO	
COLORE	
CARANTO	
FOSSILI	
RESTI_ORGANICI	
CONCREZIONI	
TORBA	
NOTE	
DATAZIONI	
ANALISI_SED	
ANALISI_TECN	
REPERTI_ARCHEOLOGICI	

Fig. 3.5. Tabella "STRATIGRAFIA".

- profondità del tetto, del letto e spessore di ogni singolo strato;
- descrizione geologico-stratigrafica dello strato;
- litotipo prevalente che caratterizza lo strato (definito da un codice numerico associato alla litologia dello strato);
- indicazioni circa la presenza o meno di fossili, resti inorganici, resti vegetali, livelli di torba, concrezioni e caranto e anche indicazioni circa eventuali altre informazioni presenti nelle relazioni tecniche cartacee.

L'informatizzazione dei dati stratigrafici come sopra descritta è disponibile solo per i sondaggi, mentre per le prove penetrometriche solitamente si dispone di una scheda cartacea con rappresentato il grafico della prova che fornisce informazioni indirette sulla stratigrafia.

Particolarmente rilevante ai fini delle successive elaborazioni è la metodologia scelta di codifica informatizzata del litotipo prevalente. A ogni strato viene associato, sulla base della descrizione geologico-stratigrafica, un litotipo (per la standardizzazione dei termini litologici ci si è basati sulle "Raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana" (A.G.I., 1977); ogni litotipo viene identificato in modo univoco da uno specifico codice numerico dato da una combinazione di quattro cifre e al quale viene associato un apposito retino descrittivo colorato e una determinata percentuale delle componenti granulometriche principali (ghiaia, sabbia, limo, argilla, ...).

Il codice litologico consiste in un codice a 4 cifre nel quale:

**1a cifra**: litologia principale (1-2-3-4-5-6):

1=argilla; 2=limo; 3=sabbia; 4=ghiaia; 5=ciottoli; 6=torba.

**2a cifra**: % litologia principale (0-1-2-3-4): 0=50%; 1=50-75%; 2=75%-90%; 3=90%-95%; 4=100%.

**3a cifra**: litologia secondaria: 0=assente; 1=argilla; 2=limo; 3=sabbia; 4=ghiaia; 5=ciottoli; 6=torba.

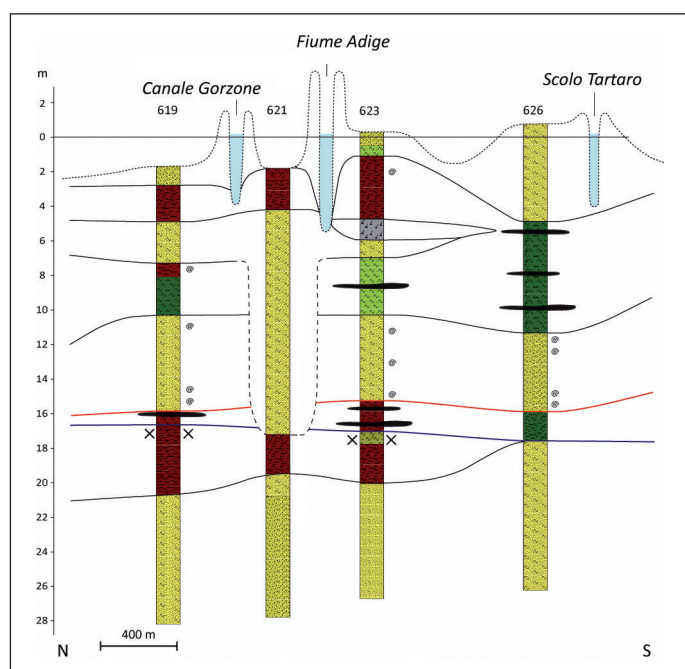
**4a cifra**: litologia secondaria: 0=assente; 1=argilla; 2=limo; 3=sabbia; 4=ghiaia; 5=ciottoli; 6=torba.


Esempi di codici litologici:

- argilla = 1400;
- argilla debolmente limosa = 1320;
- limo sabbioso = 2230;
- sabbia e limo = 3020;
- argilla limoso sabbiosa = 1023.


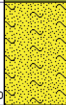




Le codifiche litologiche utilizzate per l'archiviazione informatizzata dei sondaggi sono ben schematizzate nella figura 3.6. L'informatizzazione, ed in particolare l'utilizzo di litotipi codificati e associati ad appositi retini, oltre a consentire la realizzazione di sezioni geologiche e la realizzazione automatica di report di stampa di ogni singola stratigrafia (figg. 3.7 - 3.8), permette anche, attraverso una serie di elaborazioni in parte automatiche, la realizzazione di mappe tematiche particolarmente significative come viene illustrato nel paragrafo 4.3.

Durante il progetto, la banca dati stratigrafica della Provincia



 <b>PROVINCIA DI VENEZIA</b> Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio Ufficio Difesa del Suolo			
FONTE:	Provincia di Venezia	RIFERIMENTO: 24507	COMUNE: PORTOGRUARO
COMMITTENTE:	Provincia di Venezia	SCOPO DELL'INDAGINE:	Progetto IDRO
DATA:	30/11/2011	DITTA ESECUTRICE:	CTR 1:10000:
ID DATA:	24507	COORDINATE Gauss Boaga Fuso Est	LOCALITA': Summaga
METODO DI PERFORAZIONE:	TRIV	QUOTA slm:	
STRUMENTAZIONE DI COMPLETAMENTO:		PROFONDITA':	7,00

Profondità	Simbologia	Descrizione Strato
0,40		Limo debolmente sabbioso 2,5 Y 4/4 - 5/4
1,50		Sabbia fine limosa 2,5 Y 6/4
2,30		sabbia fine con limo, fraz. limosa in aumento verso il basso (gradaz. inversa)
4,80		Limo argilloso grigio finemente laminato
5,30		sabbia media (400-500 micron, alcuni granuli più grandi) deb. Limosa
7,00		Argilla limosa grigia finemente laminata; alcuni livelli grigio marroni molto chiari

25

di Venezia è stata sviluppata con l'inserimento di un grande numero di nuove informazioni e con il controllo ed eventuale correzione di quelle esistenti.

Nella tabella 3.1 è riportato il numero delle indagini presenti in banca dati all'inizio del progetto (novembre 2008)

**Tabella 3.1. Indagini presenti in banca dati (novembre 2008)**

tipo di indagine	georeferenziate	informatizzate
STRATIGRAFIE	13.300	9935
PENETROMETRIE		1056

A dicembre 2012, nella banca dati provinciale, risultavano georeferenziate 16.395 punti di indagine.

Di questi, 11.144 stratigrafie e 2230 prove penetrometriche sono informatizzate ovvero tutti i dati raccolti sono stati inseriti nelle apposite tabelle della banca dati. Per le penetrometrie sono state inserite solo le informazioni sull'origine del dato e sulle caratteristiche dell'indagine.

Nella tabella 3.2 sono riassunte le indagini inserite in banca dati, tra il 31/10/2008 e il 31/12/2012, nell'ambito del presente progetto.

**Tabella 3.2. Indagini inserite in banca dati durante il progetto**

tipo di indagine	georeferenziate	informatizzate
STRATIGRAFIE	3095	1209
PENETROMETRIE		1174

Di tutte le indagini georeferenziate e/o informatizzate sono conservate anche le copie cartacee, catalogate per codice identificativo.

Finora le prove penetrometriche presenti nella banca dati sono state ubicate e solo parzialmente informatizzate.

I loro diagrammi però, nell'ambito di questo progetto, sono stati analizzati ed interpretati al fine di individuare, quando presenti, il tetto e il letto degli strati incoerenti sabbiosi, ritenuti significativi dal punto di vista idrogeologico; queste informazioni sono state archiviate in tabelle (tabella 3.3) ed utilizzate nell'ambito della realizzazione delle mappe di distribuzione della sabbia e dell'argilla come viene illustrato nel paragrafo 4.3.

L'analisi e la successiva determinazione della presenza e posizione nella colonna verticale degli strati incoerenti sabbiosi è stata riferita:

- ai valori di resistenza alla punta;
- al valore del rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale;
- rapporto Begemann o Schmertmann

Un elemento molto importante delle indagini geologico-stratigrafiche ai fini della conoscenza del sottosuolo è la loro profondità; con il decrescere del numero di indagini con la profondità, decresce di conseguenza il nostro grado di conoscenza del sottosuolo.

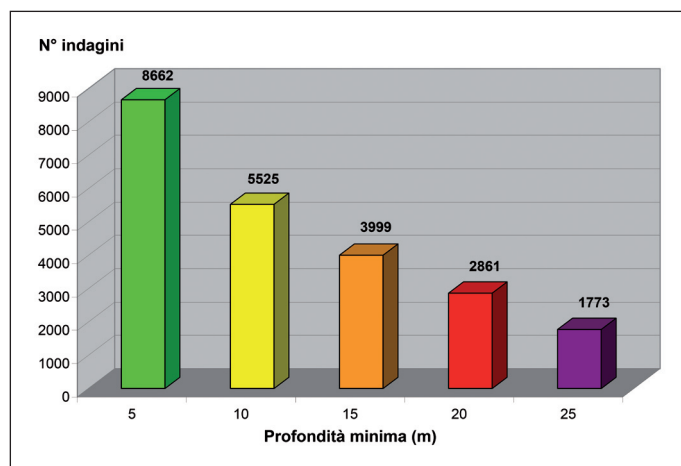


Fig. 3.9. Indagini geologico-stratigrafiche suddivise in base alla loro profondità.

**Tabella 3.3. Esempio di prove penetrometriche interpretate e tabellate**

ID_DATO	Prof. (m)	I tetto (m)	I letto (m)	II tetto (m)	II letto (m)	III tetto (m)	III letto (m)	IV tetto (m)	IV letto (m)
224	15	2,2	11,2						
227	20	6,8	9			9,8	12	12,8	14,6
248	15	5	7,6			9	10,2	10,8	12,2
259	15	5,2	8			11,5	15		
262	21,2	3,2	4,4	7,2	9,8	10,4	13,2	16,2	17,4
265	8,8	0,5	3						
268	20	3	5	5,8	6,8	10,2	12,4	13,2	16,6
270	35,4					14	25		
286	10,4	4,8	10,4						
353	20					11	14		
354	20					14	16	17,8	19,8
775	20,6					14,6	16,8		
778	15	2	8,5			12	14		
...									



Fig. 3.10. Ubicazione delle indagini geologico-stratigrafiche in provincia di Venezia con profondità di almeno 5 m.



Fig. 3.11. Ubicazione delle indagini geologico-stratigrafiche in provincia di Venezia con profondità di almeno 10 m.

Nella figura 3.9 viene rappresentato il numero di indagini geologico-stratigrafiche suddivise in base alla loro profondità minima raggiunta.

Nelle figure 3.10-3.11-3.12-3.13 viene riportata l'ubicazione delle indagini geologico-stratigrafiche suddivise in base alla loro profondità minima raggiunta.

Per quanto riguarda l'origine del dato, le indagini geologico-stratigrafiche presenti in banca dati possono essere suddivise in quattro principali categorie:

- indagini realizzate dalla Provincia di Venezia nell'ambito di questo progetto o nell'ambito di precedenti progetti;

- indagini acquisite nell'ambito della sua attività istituzionale (bonifica di siti inquinati, valutazione di impatto ambientale ecc.);
- indagini acquisite da altri enti, sia pubblici che privati.

Nella figura 3.14 viene rappresentata la distribuzione percentuale delle indagini geologico-stratigrafiche suddivise in base alla loro provenienza.

### 3.1.2. Banca dati idrogeologica

La banca dati idrogeologica è il risultato di un censimento,

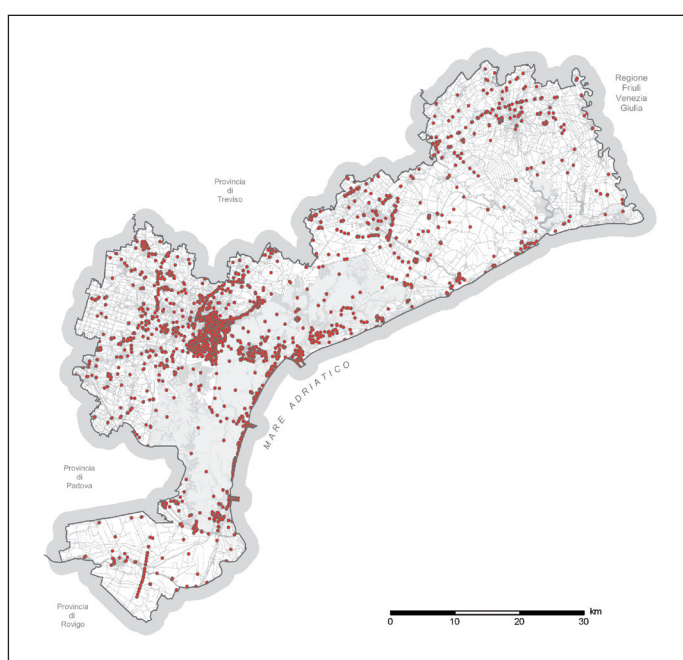


Fig. 3.12. Ubicazione delle indagini geologico-stratigrafiche in provincia di Venezia con profondità di almeno 20 m.



Fig. 3.13. Ubicazione delle indagini geologico-stratigrafiche in provincia di Venezia con profondità di almeno 30 m.

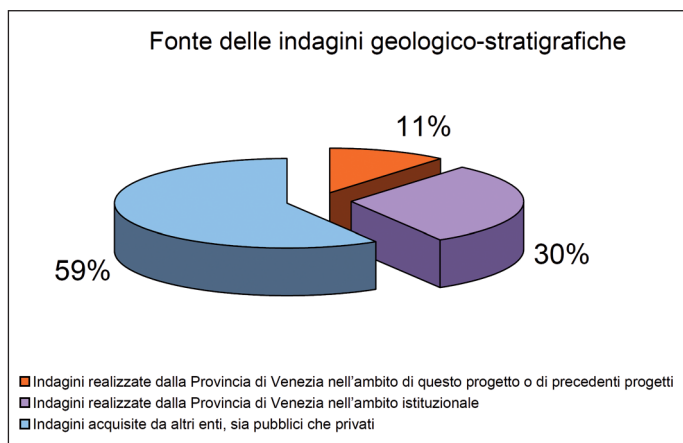


Fig. 3.14. Distribuzione percentuale delle indagini geologico-stratigrafiche in base alla loro provenienza

nell'ambito della "Indagine idrogeologica del territorio provinciale", dei pozzi presenti in provincia di Venezia, avviato agli inizi degli anni '90 (Dal Prà *et al.*, 2000).

L'indagine aveva portato all'informatizzazione di circa 3800 punti di prelievo da falde sotterranee e dei relativi attributi riferiti ai dati anagrafici, alle caratteristiche fisiche dei pozzi, ai parametri chimico-fisici delle acque rilevati durante il censimento. In seguito, con il procedere di altri progetti ("Progetto ISES - 2003", "Indagine sulle acque sotterranee del portogruarese - 2001", "Progetto CARG: Foglio 107 Portogruaro - 2012", e in particolare "Indagine Idrogeologica di Porto Marghera" - 2009) e la collaborazione con l'AATO laguna di Venezia, si è reso ne-

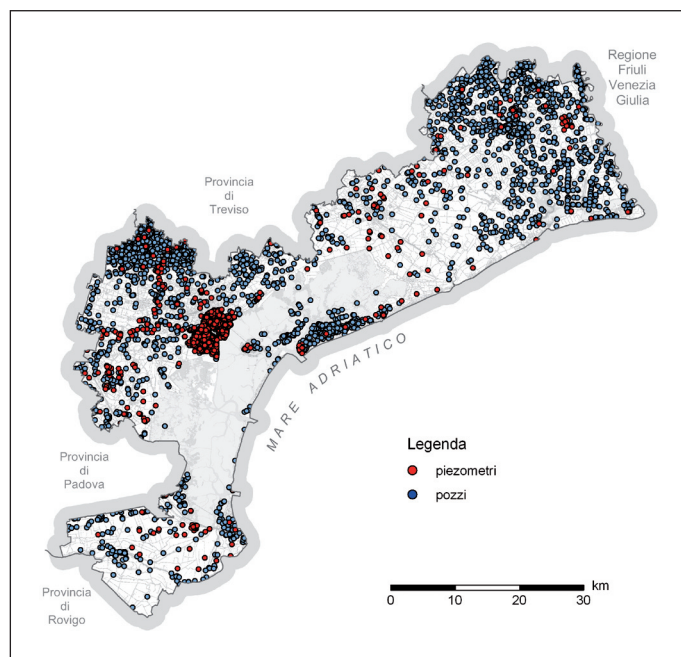


Fig. 3.15. Ubicazione dei pozzi e dei piezometri presenti nella banca dati idrogeologica

cessario estendere la banca dati "pozzi" al fine di raccogliere anche le informazioni relative a piezometri sia profondi, sia superficiali, nonché a ulteriori campagne di misura, a parametri idrogeologici, .... L'esigenza di sviluppare una banca dati idrogeologica derivava dalla necessità di immagazzinare e gestire

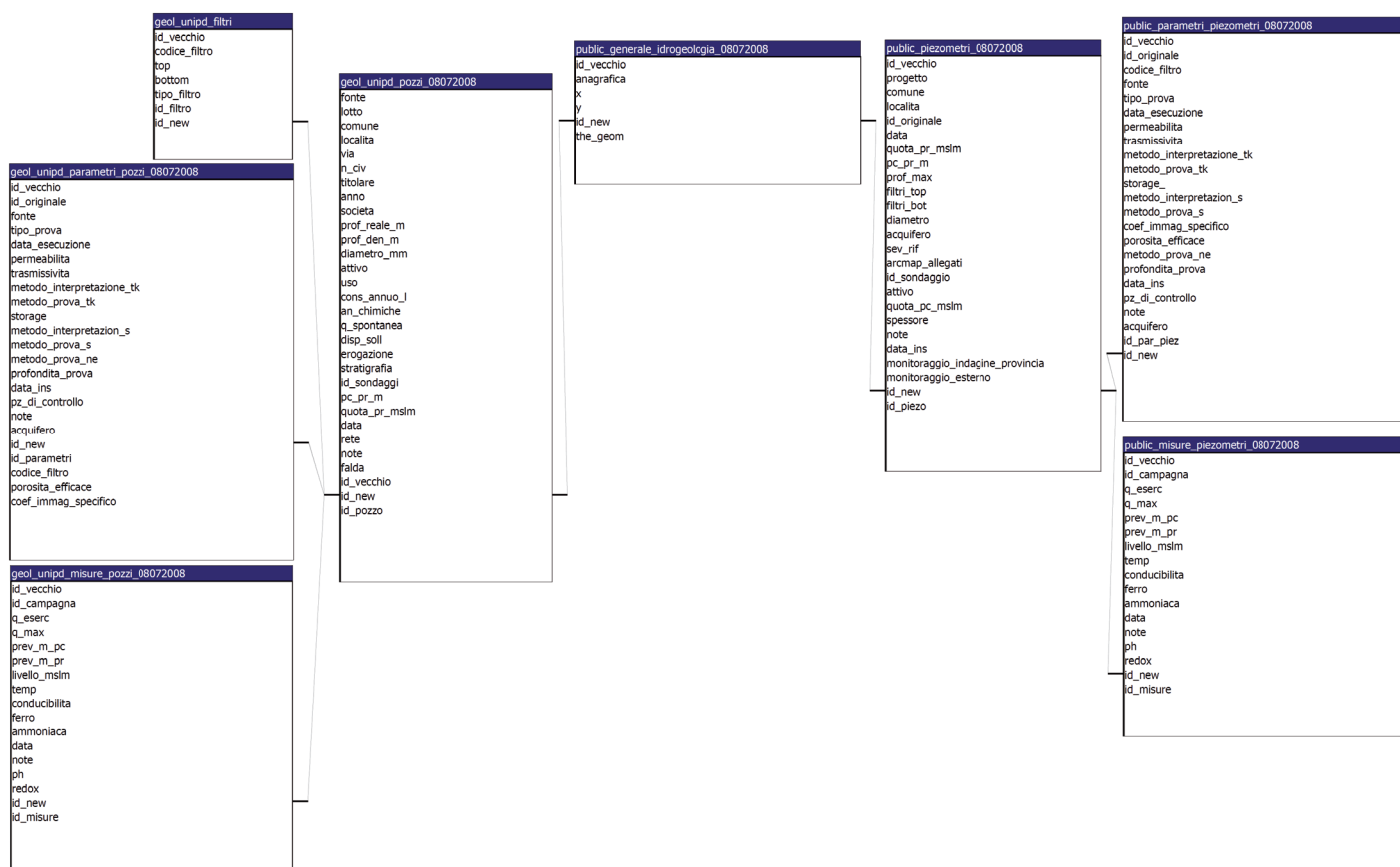


Fig. 3.16. Struttura della banca dati idrogeologica.

all'interno di un unico ambiente un'enorme mole di dati relativi alle risorse idriche sotterranee. Le informazioni idrogeologiche sono suddivise in due categorie principali:

- pozzi (sia ad uso privato, sia acquedottistici);
- piezometri.

Entrambi sono rappresentati da punti georeferenziati, analogamente a quanto visto per la banca dati delle indagini geologico-stratigrafiche (fig. 3.15)

La densità dei dati è particolarmente elevata all'interno del Sito di Interesse Nazionale di Porto Marghera, grazie all'implementazione effettuata durante l'indagine Idrogeologica di Porto Marghera con i dati relativi ai piezometri derivanti dai piani di caratterizzazione. Molto elevata è anche nell'area centro-settentrionale d'interesse dell'AATO Laguna di Venezia, dove detto Ente, in collaborazione con la Provincia di Venezia e il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, ha recentemente aggiornato il censimento dei pozzi, spingendosi anche nel territorio trevigiano di propria competenza, svolgendo migliaia di nuove misure su tali pozzi e implementando notevolmente la banca dati (Combruzzi *et al.*, 2010).

Le informazioni contenute nella banca dati idrogeologica sono strutturate in tabelle tra loro collegate tramite un codice identificativo (id\_new); questo codice è univoco e caratterizza ogni singolo punto.

Nella tabella generale sono contenute le informazioni relative all'ubicazione dei punti ed alla loro suddivisione in pozzi o piezometri (anagrafica). Tutti gli altri dati relativi ai pozzi e quelli relativi ai piezometri sono archiviati in tabelle separate in modo da formare due sottoinsiemi distinti (fig. 3.16).

Le informazioni raccolte in questa banca dati in riferimento ai piezometri si possono suddividere nelle seguenti categorie (fig. 3.17):

- informazioni relative all'identificazione ed ubicazione di ciascun piezometro;
- informazioni sull'origine del dato e sulle caratteristiche fisiche del piezometro;
- parametri idrogeologici dell'acquifero intercettato dal piezometro;

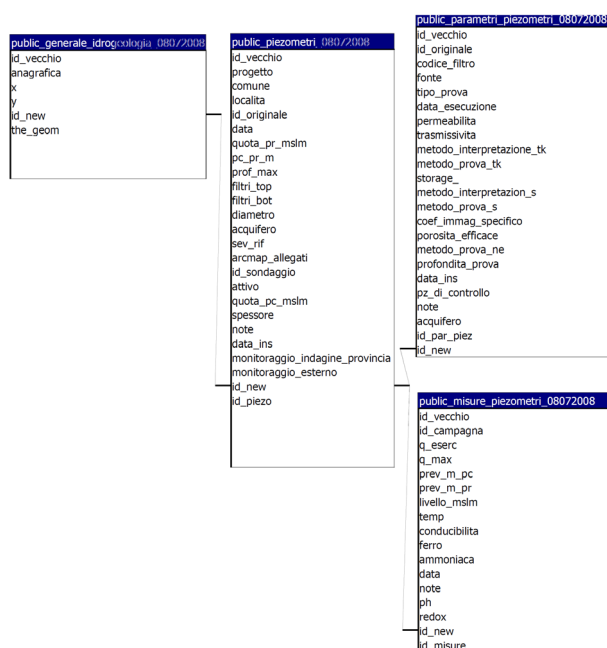


Fig. 3.17. Tabelle relative ai piezometri.

- misurazioni quantitative e qualitative delle acque intercettate dai punti d'indagine

Durante lo svolgimento del progetto è stata sviluppata la parte riguardante i piezometri ricadenti all'interno del territorio della provincia di Venezia, sia inserendo quelli di nuove realizzazione, sia con nuove informazioni riferite a piezometri già esistenti.

I dati inseriti provengono sia da misurazioni compiute in campagna dai geologi incaricati alla realizzazione del progetto, sia effettuate da altri enti pubblici e studi privati.

Di primaria importanza è stato l'inserimento in banca dati dei parametri idrogeologici ricavati da prove in sito o in laboratorio. In particolare è stata possibile la realizzazione della Tavola 5 nella quale sono stati mappati i valori di permeabilità in riferimento agli acquiferi presenti nel territorio provinciale.

La tabella seguente riporta alcuni dati di sintesi che sono stati inseriti nella banca dati idrogeologica nel periodo durante il quale si è sviluppato il progetto (da novembre 2008 a dicembre 2012):

	Novembre 2008	Dicembre 2012	incremento
PIEZOMETRI	2451	2652	201
MISURE DI PERMEABILITÀ	383	632	249

### 3.2. Metodi di elaborazione geologica

Con l'obiettivo di pervenire ad una ricostruzione tridimensionale del sottosuolo che permetta l'individuazione dei corpi acquiferi sabbiosi e ghiaiosi, si è svolta, sulla base dei dati disponibili nelle banche dati provinciali e di nuovi dati raccolti, una serie di attività di elaborazione tra loro consequenziali, così schematizzabili:

- analisi della distribuzione delle sabbie nelle tre dimensioni (metodo utile alla individuazione delle principali direttrici di sedimentazione, applicato solo alla parte centrale della Provincia);
- profili geologici per l'individuazione dei principali corpi sabbiosi e ghiaiosi (acquiferi);
- delimitazione tridimensionale dei principali corpi sabbiosi e ghiaiosi;
- zonazione in unità idrostratigrafiche;
- ricostruzione delle isobate del primo acquifero significativo;
- rappresentazione cartografica e tridimensionale di sintesi.

La realizzazione dei profili geologici, attività tanto fondamentale quanto complessa in un'area di bassa pianura, è partita dalla banca dati provinciale e si è sviluppata secondo il seguente percorso logico:

- analisi di tutti i sondaggi archiviati nella banca dati geologico-stratigrafica in possesso dei requisiti qualitativi minimi di completezza nella descrizione effettuata in cantiere;
- schematizzazione delle stratigrafie sulla base della definizione di classi granulometriche, graficamente rappresentate da retini e colori, la cui codifica è definita nel paragrafo 3.1 (fig. 3.6);
- integrazione con diagrammi di prove penetrometriche statiche interpretati<sup>1</sup>, per le aree con bassa densità di dati, da sondaggi diretti o di colonna stratigrafica di limitata profon-

1. Non si sono considerate le prove penetrometriche dinamiche e quelle prive dei requisiti qualitativi minimi di completezza.

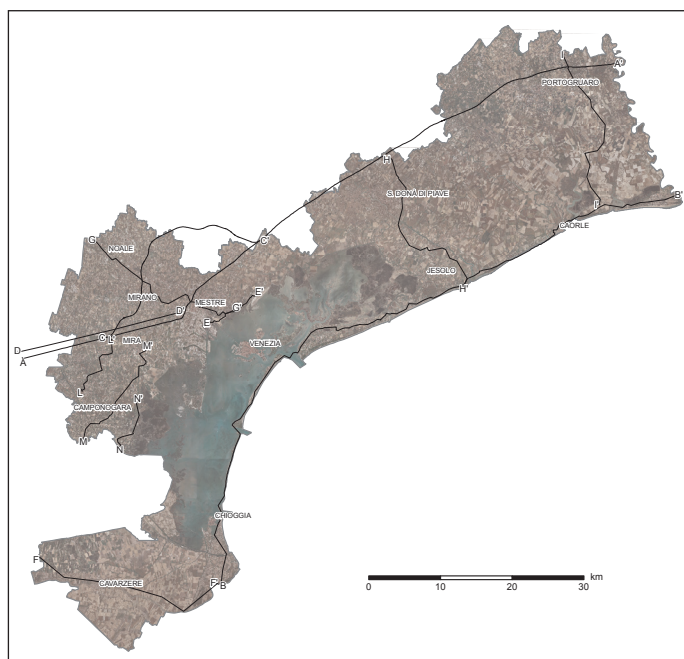


Fig. 3.18. Tracce dei profili idrostratigrafici (linee nere).

dità; i parametri usati per l'interpretazione della prova penetrometrica ai fini stratigrafici sono la resistenza alla punta e all'attrito laterale, e quando possibile i loro rapporti e il valore della coesione non drenata;

- definizione di profili geologici tracciati in base alla distribuzione dei dati stratigrafici validati e all'assetto dei sistemi sedimentari;
- utilizzo di un apposito programma per la creazione, a partire dalla banca dati stratigrafica provinciale, di colonne stratigrafiche lungo sezioni predefinite;
- interpretazione dell'andamento degli strati a diversa granulometria, correlando graficamente i limiti fra litotipi con caratteristiche omogenee e separando strati a granulometria più grossolana da quelli più fini; sono stati inoltre evidenziati i livelli torbosi significativi e gli orizzonti sovraconsolidati quando non coincidenti con la superficie topografica;
- schematizzazione in chiave idrogeologica dei litotipi mediante l'identificazione dei corpi permeabili e dei corpi semipermeabili o impermeabili con trasformazione dei profili geologici in profili idrostratigrafici.

La distribuzione delle indagini geologico-stratigrafiche all'interno del territorio provinciale è disomogenea e in ampie aree i sondaggi rappresentativi sono piuttosto scarsi per cui la ricostruzione del sottosuolo presenta differenti livelli di approfondimento. La disponibilità di una maggior densità di dati ha permesso di tracciare alcuni profili geologici lungo le grandi opere infrastrutturali presenti nel territorio. In particolare sono state prese in esame le indagini relative ai progetti per il Tunnel sotto la tangenziale di Mestre e la Romea Commerciale, e all'esecuzione dei cantieri per il Passante di Mestre, l'ampliamento della terza corsia della A4 (tratto Mestre - Latisana), l'Alta Velocità - Alta Capacità ferroviaria (tratte Padova - Mestre e Venezia - Trieste), la Metropolitana Regionale, il collegamento ferroviario fra la stazione di Mestre e l'aeroporto di Tessera. Altri profili sono stati realizzati in zone con presenza di stratigrafie e densità sufficiente.

Complessivamente, l'analisi comparata di circa 16.500 indagini (sondaggi e prove penetrometriche) inserite nella banca dati geologico-stratigrafica ha consentito l'elaborazione di una sintesi

interpretativa del sottosuolo del territorio provinciale. Di queste indagini, circa 1100 sono state selezionate per la realizzazione di 12 profili idrostratigrafici, rappresentati nelle Tavole 2a, 2b e 2c: otto profili hanno una direzione all'incirca perpendicolare all'andamento generale delle strutture sedimentarie che caratterizzano la bassa pianura veneta; altri quattro, invece, hanno una direzione circa parallela ad esse. Le tracce dei profili idrostratigrafici sono riportate in figura 3.18.

La densità dei sondaggi lungo i profili non è regolare, soprattutto per quelli più profondi di 15-20 m, e ci sono interruzioni in corrispondenza delle aree che non sono state interessate da opere o studi particolari. Perciò i profili presentano un diverso grado di approfondimento.

### 3.3. Metodi di caratterizzazione idrogeologica

In questa fase è stata effettuata la caratterizzazione idrogeologica dei corpi acquiferi individuati nella fase precedente.

I sistemi idrogeologici sono stati caratterizzati mediante test idrogeologici in situ, monitoraggi potenziometrici in continuo ed elaborazioni di misure idrogeologiche pregresse. Le elaborazioni hanno inoltre valutato gli altri elementi idrologici che possono influenzare il sistema di afflussi-deflussi ed il regime potenziometrico.

Tale lavoro è stato svolto soprattutto tramite attività di campo, integrate da elaborazioni di dati esistenti.

Le principali *attività di campo* svolte sono:

- selezione di piezometri in base alle caratteristiche idrogeologiche ed al grado di efficienza ed accessibilità, al fine di eseguire misure potenziometriche, test idrogeologici e monitoraggi in continuo;
- definizione, manutenzione ed aggiornamento di una rete di monitoraggio in continuo;
- livellazione topografica del piano di riferimento dei piezometri;
- esecuzione di test rapidi di acquifero (slug test) e, laddove attuabile, di altri test idrogeologici (prove di pozzo, prove di falda in configurazione "pozzo-piezometro", prove di diluizione, ...) per la determinazione della permeabilità e di altri parametri degli acquiferi;
- raccolta ed omogeneizzazione dei dati relativi agli elementi che potenzialmente possono influenzare la dinamica degli acquiferi (regime di marea, idrometrie, pluviometrie, gestione della rete di bonifica, ...).

Le principali *attività di elaborazione* svolte sono:

- analisi dei risultati dei test idrogeologici ottenuti con diverse metodologie ed analisi del grado di affidabilità dei diversi metodi nella situazione sito-specifica con calcolo dei parametri idrogeologici;
- cartografia della distribuzione dei parametri idrogeologici suddivisi in funzione dei corpi acquiferi;
- elaborazione delle misure potenziometriche in rapporto ai diversi fattori influenti (idrovore, corpi idrici superficiali, maree, ...) e loro elaborazione al fine della definizione della dinamica degli acquiferi (regime potenziometrico ed afflussi-deflussi);
- cartografia degli acquiferi superficiali con ricostruzione del quadro idrogeologico a scala provinciale.

#### 3.3.1. Parametri idrogeologici

La definizione della distribuzione nelle tre dimensioni dei para-

metri idrogeologici ha particolare rilevanza nella ricostruzione del quadro idrogeologico complessivo. Infatti la conoscenza dei parametri idrogeologici è necessaria per definire le modalità di deflusso delle acque sotterranee e, più in generale, per analizzarne il comportamento idrodinamico.

Ai fini pratici, la determinazione in campo ha riguardato soprattutto la permeabilità.

In sintesi il percorso logico utilizzato per la parametrizzazione degli acquiferi è il seguente:

- informatizzazione nella banca dati idrogeologica delle informazioni reperite in lavori pregressi;
- definizione della metodica di determinazione in campo;
- selezione dei piezometri per le indagini;
- esecuzione dei test idrogeologici (data la scarsità di dati pregressi, prevalentemente slug test);
- calcolo dei parametri ed informatizzazione dei dati;
- elaborazione dei dati di permeabilità in funzione della distribuzione dei corpi acquiferi.

I valori reperiti riguardano tutti i parametri idrogeologici provenienti da prove di campagna e di laboratorio relativi a studi pregressi. I dati sono stati inseriti in un'apposita tabella all'interno della banca dati idrogeologica.

L'eterogeneità della tipologia di prova eseguita, aggiunta all'incertezza sul livello investigato (in moltissimi casi non è riportata la profondità di esecuzione della prova in campagna), hanno permesso l'utilizzo di tali dati per la definizione di domini di permeabilità esclusivamente a grande scala. La caratterizzazione è stata quindi effettuata principalmente con misure effettuate direttamente dai geologi della Provincia, eseguendo numerose misure di permeabilità, in particolare sulle falde intercettate dai piezometri monitorati.

Come evidenzia la tabella 3.4, nello specifico è risultato di grande interesse l'applicazione del metodo, rapido ed economico, dello slug test, in relazione alla possibilità di un utilizzo estensivo. Il metodo è noto anche come "prove rapide d'acquifero".

Infatti, data la complessità geologica e la vastità dell'area da indagare, appare più significativo eseguire molte prove speditive che poche prove di grande dettaglio (prove di pompaggio in

configurazione pozzo-piezometro). Alcuni dati di prove di pompaggio sono comunque state reperite in studi pregressi ed altre sono state svolte nell'ambito del presente lavoro.

Lo slug test consiste nel provocare una variazione istantanea del livello potenziometrico all'interno del piezometro con l'introduzione o l'estrazione di un volume noto.

In questo modo a parità di volume immerso nel piezometro, la velocità di ripristino delle condizioni potenziometriche indisturbate è correlata con la permeabilità dell'acquifero.

Gli svantaggi risiedono nel fatto che l'area interessata dalla variazione di livello è limitata ad un piccolo intorno del punto investigato, pertanto va considerato come valore puntuale.

Il metodo richiede la conoscenza delle caratteristiche costruttive del piezometro. Per registrare i dati relativi alla variazione del livello si è utilizzato un data-logger con frequenza di registrazione di 0,5 secondi.

I dati registrati sono stati elaborati secondo la soluzione di Hvorslev (1951).

### 3.3.2. Monitoraggio potenziometrico in continuo e rilievo della quota dei piani di riferimento dei piezometri

Una fase molto importante dello studio ha riguardato il monitoraggio in continuo a scala provinciale, allo scopo di definire il regime della superficie potenziometrica di ogni corpo acquifero. Questo lavoro ha portato per la prima volta ad un monitoraggio sistematico dei livelli di questi acquiferi; non è quindi possibile un confronto con serie temporali più estese nel tempo.

Per le analisi di campo sono state utilizzate sonde con trasduttori di pressione collegati a data logger e sonde multiparametriche, con periodico scarico dei dati. Parte della strumentazione utilizzata per i rilievi è stata appositamente acquisita dalla Provincia per il progetto.

Si sono monitorati 40 piezometri nell'arco della indagine su un periodo di tempo complessivo di 4 anni. Va segnalato che nei quattro anni di monitoraggio ricadono due periodi con caratte-

**Tabella 3.4. Confronto delle metodologie di misura in sito della permeabilità di un acquifero.**

Metodo	Vantaggi	Svantaggi
<i>Slug test</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Economicità</li> <li>- Velocità e facilità di esecuzione (in caso di numerosi piezometri, possibilità di utilizzo estensivo)</li> <li>- Possibilità di esecuzione con attrezzatura semplice e in pozzi e piezometri non attrezzati</li> <li>- Non necessità di piezometri di osservazione</li> <li>- Possibilità di esecuzione su pozzi e piezometri con abbassamento specifico alto (ad es.: piezometri in sabbie limose)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coinvolge un volume di sottosuolo relativamente modesto attorno al pozzo</li> <li>- Impossibilità di determinare limiti ed eterogeneità dell'acquifero nell'intorno del punto di misura</li> <li>- Misura approssimativa</li> </ul>
<i>Prove tipo Lefranc (A.G.I., 1977)</i> - carico costante - carico variabile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Economicità</li> <li>- Possibilità di esecuzione in fase di avanzamento di carotaggio</li> <li>- Non necessità di piezometri di osservazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coinvolgono un volume di terreno relativamente modesto attorno al pozzo</li> <li>- Impossibilità di determinare limiti ed eterogeneità dell'acquifero nell'intorno del punto di misura</li> <li>- Misura approssimativa</li> </ul>
<i>Prove di falda (prova di pompaggio in configurazione pozzo-piezometro)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ampio volume di sottosuolo coinvolto</li> <li>- Studio quantitativo delle caratteristiche particolari dell'acquifero: condizioni ai limiti (conferma della distanza del pozzo dal limite, ...); struttura idrogeologica (eterogeneità, fattore di fuga, ...)</li> <li>- Precisione del dato</li> <li>- Stime di <math>n_e</math> (in falde freatiche)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo elevato</li> <li>- Tempi lunghi di esecuzione</li> <li>- Necessità di pozzi e piezometri opportunamente attrezzati</li> <li>- Necessità di gestire le acque emunte</li> </ul>

ristiche peculiari: l'autunno-inverno 2010, particolarmente piovoso, e l'estate 2012, particolarmente seccata.

L'elenco dei piezometri monitorati è riportato in allegato 1.

Il reperimento o la nuova realizzazione dei piezometri su cui effettuare i monitoraggi è proceduta da sud verso nord. Di conseguenza i piezometri dell'area nord-orientale hanno un periodo di monitoraggio inferiore.

I dati dei singoli monitoraggi sono riportati nelle schede monografiche dedicate a ciascun punto di monitoraggio con specifici approfondimenti puntuali a cui si rimanda (allegato 1).

Per poter riportare in quota assoluta (m slm) le misure della soggiacenza della falda acquisite nell'ambito del monitoraggio, è stato necessario quotare parte dei piezometri utilizzati.

Infatti solo una parte dei piezometri monitorati nell'ambito di questo progetto era già preesistente e quotata; si tratta in particolare:

- piezometri realizzati ed utilizzati nell'ambito del progetto ISES - Intrusione Salina e Subsidenza;
- piezometri realizzati per il monitoraggio ambientale del "Passante di Mestre";
- piezometri utilizzati nell'ambito dell'Indagine Idrogeologica di Porto Marghera;
- piezometro 13, realizzato dal "Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Magistrato alle Acque di Venezia" tramite il Concessionario Consorzio Venezia Nuova, e piezometro 3, realizzato per il monitoraggio della discarica ASVO S.p.a.

Gli altri piezometri, sia quelli disponibili da precedenti indagini geologico-tecniche, sia quelli realizzati dalla Provincia di Venezia nell'ambito del presente progetto, sono stati quotati attraverso strumentazione GPS e, per quanto riguarda i piezometri 30 e 31, utilizzando le quote del piano campagna acquisite attraverso il rilievo LIDAR dell'AATO Laguna di Venezia.

Il rilievo GPS è stato condotto attraverso l'utilizzo di strumentazione GPS differenziale a doppia frequenza e doppia costellazione (GPS + GLONASS) della Provincia di Venezia, utilizzando la metodologia del rilievo cinematico in modalità RTK. Le operazioni di campagna sono consistite nel posizionare un'antenna GPS (*master*) in un punto predefinito dell'area da rilevare in acquisizione continua durante tutto il periodo del rilievo (fig. 3.19).



Fig. 3.19. Stazione fissa "master".

Tabella 3.5. Quote dei piezometri rilevati

piezometro	quota p.c. (m slm)	quota b.p. (m slm)
1	0,79	0,70
2	3,57	3,50
4	3,66	3,51
5	-0,81	-0,96
6	2,94	2,88
7	-0,66	0,61
8	0,19	0,02
9	1,28	2,60
10	-0,77	-0,05
11	0,45	1,60
12	0,28	0,60
13	1,57	1,32
20	3,62	3,38
23	17,33	17,64
26	8,52	8,45
29	5,24	5,09
* 30	4,50	5,47
* 31	5,00	5,00

\* piezometri quotati utilizzando il rilievo LIDAR dell'AATO laguna di Venezia.

Contemporaneamente un'antenna mobile (*rover*) è stata utilizzata per acquisire i punti di dettaglio (fig. 3.20).

I dati rilevati dalla stazione master e dall'antenna rover, collegate via radio, vengono processati e registrati dal *controller* durante l'acquisizione; successivamente vengono scaricati, con apposito *software*, su *personal computer* e ne viene verificata la validità attraverso l'analisi di alcuni parametri significativi.

Infine, le coordinate geografiche relative al sistema di riferimento geocentrico WGS84 vengono riferite al sistema di riferimento nazionale Gauss-Boaga fuso est.



Fig. 3.20. Antenna mobile "rover".



Fig. 3.21. Rete di monitoraggio altimetrico IRMA istituita nel 2004 (da Carbognin *et al.*, 2011).



Fig. 3.22. Rete di monitoraggio altimetrico ERA istituita nel 2009 (da Carbognin *et al.*, 2011).

Relativamente alla terza dimensione del rilievo, va osservato che le quote misurate dal GPS sono riferite all'ellissoide geocentrico sopramenzionato; per riportare la quota del punto in m slm, si fa riferimento ad alcuni caposaldi appartenenti alle reti di monitoraggio altimetrico ISES, IRMA ed ERA relative rispettivamente alle aree meridionale (realizzata tra il 1999 e il 2002), nord-orientale (realizzata tra il 2004 e il 2006) e centrale (realizzata tra il 2008 e il 2010) della provincia di Venezia.

- Per quanto riguarda l'area nord-orientale della provincia, i caposaldi di riferimento utilizzati per il rilievo sono quindi quelli appartenente alle rete IRMA (fig. 3.21).
- Per quanto riguarda l'area centrale della provincia, i caposaldi di riferimento utilizzati per il rilievo sono sia quelli appartenente alle rete ERA (fig. 3.22), sia quelli appartenenti alla rete ISES (fig. 3.23).
- Per quanto riguarda l'area meridionale della provincia, i piezometri monitorati erano stati già quotati nell'ambito del

progetto ISES (i caposaldi utilizzati sono stati quelli della rete ISES - fig. 3.23).

La precisione verticale del rilievo GPS risulta centimetrica, mentre la precisione verticale del rilievo LIDAR risulta decimetrica. Nella tabella 3.5 vengono riportate le quote (m slm), riferite sia a bocca piezometro (b.p.) sia al piano campagna (p.c.) che sono state acquisite con il rilievo gps e con il rilievo LIDAR.

### 3.3.3. Dati idrologici di confronto

Le quote ed il regime potenziometrico, nelle condizioni degli acquiferi superficiali provinciali, sono controllati da un elevato numero di fattori influenti sia di carattere naturale che antropico. Di conseguenza, oltre a monitorare i livelli su un elevato numero di punti, si sono raccolti presso gli Enti competenti e successivamente elaborati i dati idrologici relativi agli elementi che potenzialmente possono influenzare i livelli stessi.

Schematicamente sono:

#### *naturali*

- marea
- pluviometria
- livelli idrometrici corsi d'acqua a regime naturale

#### *artificiali*

- bonifica idraulica (idrovoce e rete di drenaggio/irrigazione ad esse collegate)
- livelli idrometrici corsi d'acqua, soggetti a regimazione artificiale.

La figura 3.24. riporta la distribuzione e la tipologia dei punti di monitoraggio elaborati.

#### *Marea*

Nell'intera area costiera i livelli potenziometrici possono essere influenzati dal regime di marea, sia in relazione al ciclo di marea di 12 ore e 25 minuti sia in relazione al ciclo lunare (28 giorni). Le maree sono misurate in vari punti della laguna di Venezia e nel mare Adriatico.



Fig. 3.23. Rete di monitoraggio altimetrico ISES istituita nel 1999 (da Carbognin *et al.*, 2011).

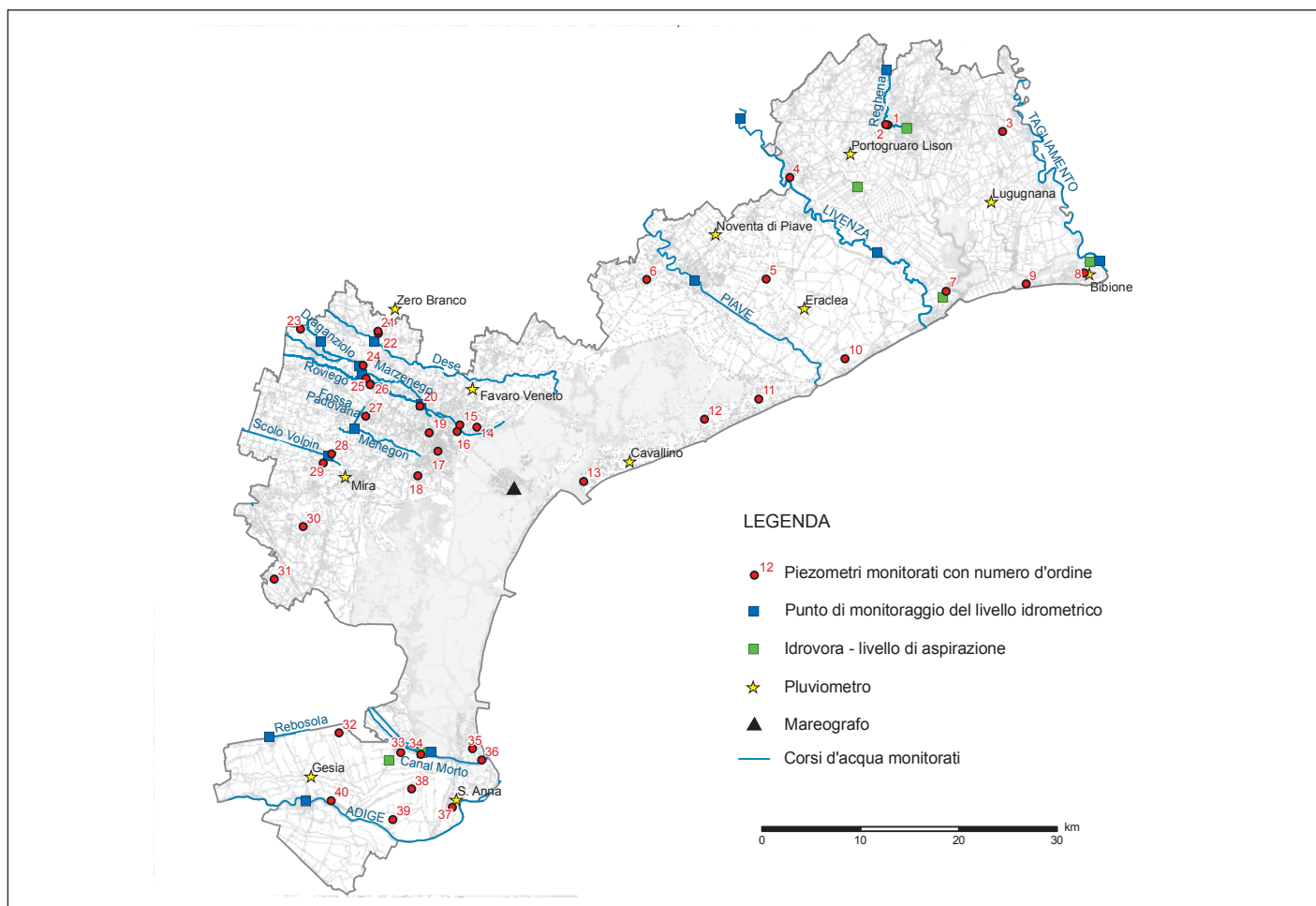


Fig. 3.24. Ubicazione dei punti di monitoraggio suddivisi per tipologia.

Nelle elaborazioni si sono utilizzati i monitoraggi con scansione oraria effettuati alla Punta della Salute a Venezia dal Centro Maree del Comune di Venezia.

È noto che il massimo ed il minimo di marea non si verifica in contemporanea all'interno della laguna di Venezia e lungo la costa adriatica. Vi è infatti un ritardo (detto "stabilimento di porto") legato al meccanismo di propagazione dell'onda di marea lungo i canali lagunari che può essere anche superiore all'ora all'interno della laguna di Venezia.

Per semplicità di elaborazione per tutti i piezometri costieri monitorati si è comunque effettuato il confronto con la stazione di misura di Punta Salute (con l'eccezione dei piezometri 34 e 9). I dati sono disponibili sul sito internet del comune di Venezia.

Si precisa inoltre che molti dei dati monitorati sono stati elaborati e confrontati con medie giornaliere. Il metodo, per confrontabilità del dato, è stato applicato anche alle misure mareografiche, pur essendo consci che il dato medio giornaliero è solo parzialmente rappresentativo del regime di marea. Tale elaborazione si è rilevata comunque sufficiente a verificare l'influenza del regime di marea del mese lunare su alcuni piezometri posti in area costiera.

#### Pluviometria

I dati pluviometrici utilizzati derivano dalla rete ARPAV. Per tutte le stazioni sono disponibili dati giornalieri (espressi in mm di pioggia) e, per alcune stazioni, anche i dati orari.

I dati di confronto utilizzati sono quelli giornalieri.

#### Livelli idrometrici

Il territorio provinciale è caratterizzato da numerosi corsi d'acqua (Adige, Bacchiglione, Brenta, Sile, Piave, Livenza, Tagliamento, etc.) e da una fitta rete di bonifica.

In Tavola 5 si riporta la cartografia della tipologia di scolo dove è evidente che ampie parti del territorio sono soggette a scolo meccanico.

La soggiacenza della falda nella maggior parte del territorio provinciale è inferiore ai 3 metri. Per questa ragione è presumibile una relazione diretta tra livelli idrometrici e livelli potenziometrici, in particolare nelle vaste aree poste al di sotto del livello medio del mare e quindi costantemente a scolo meccanico. In pratica l'altezza del pelo libero dell'acqua nella rete di bonifica spesso controlla il regime della falda superficiale (oggetto del presente studio) tramite il continuo drenaggio operato sulla falda stessa ad opera della rete di scolo. Le falde profonde non risentono di questo meccanismo.

Al fine di verificare la reciproca influenza dei livelli di falda ed idrometrici, si sono raccolti presso diversi Enti (Consorzi di Bonifica ed ARPAV) i dati disponibili.

Si hanno numerosi punti in cui tali dati vengono rilevati ma le modalità di raccolta non sono uniformi. Alcuni consorzi sono infatti dotati di reti con registrazione automatica dei dati. Vi è in particolare da rilevare, la scarsa disponibilità di dati idrometrici su alcuni corsi d'acqua e, per quanto riguarda la rete di bonifica, il fatto che gli strumenti di misura sono normalmente ubicati in funzione della gestione della rete (livelli idrovore, sicurezza idraulica) e non per un monitoraggio idrogeologico.

## 4.1. Profili idrostratigrafici

Partendo da quanto già noto dagli studi precedenti, la ricostruzione dell'assetto stratigrafico del territorio provinciale è stata studiata principalmente attraverso la realizzazione di numerosi profili geologici e mediante alcune elaborazioni geostatistiche basate sulla banca dati stratigrafica.

I 12 profili idrostratigrafici (profili A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', F-F', G-G', H-H', I-I', L-L', M-M', N-N'), elaborati nell'ambito del presente studio, sono rappresentati nelle Tavole 2a, 2b e 2c; di seguito si riporta la descrizione geologico-stratigrafica di ogni singolo profilo.

### *Profilo autostradale (profilo A-A')*

Il profilo è tracciato lungo l'autostrada A4 da Padova Est a Latisana, seguendo la deviazione A57 (tangenziale) presso Mestre, per uno sviluppo totale di circa 92 km. La banca dati stratigrafica conta, nelle immediate vicinanze del profilo, un set di dati di circa 280 record fra stratigrafie e prove penetrometriche, particolarmente significativi per ricchezza di informazioni, che sono stati analizzati e correlati.

Il profilo ha nella sua parte occidentale una direzione WSW-ENE parallela al profilo ferroviario Padova-Venezia, da cui dista circa 1 km verso sud. All'altezza della rotonda di Marghera, il profilo piega verso nordest mantenendo una direzione SW-NE fino al ponte sul fiume Sile.

Nella parte orientale il profilo ha una direzione costante SW-NE lungo tutto il percorso; di conseguenza, esso presenta direzioni differenziate sia rispetto all'andamento generale della bassa pianura, degradante verso ESE e SE, sia rispetto alla direzione delle principali direttrici fluviali, attuali e antiche.

Nel profilo idrostratigrafico, i corpi a granulometria più grossolana, prevalentemente sabbiosi e/o ghiaiosi, sono rappresentati con il colore giallo; i depositi prevalentemente fini sono, invece, caratterizzati dal colore marrone. All'interno di questi ultimi si evidenziano in nero i livelli torbosi localizzati a profondità variabili: in due fasce approssimativamente comprese fra -20 e -25 m slm e fra -35 e -40 m slm nel settore occidentale fino al Sile e a una quota maggiore di -25 m slm nel settore orientale dal Sile al Tagliamento.

Il grado di continuità laterale dei corpi sabbiosi principali è piuttosto variabile ma in genere si estende per più di 1 km. La larghezza dei corpi sabbiosi può risultare in parte distorta, in considerazione della direzione trasversale della traccia del profilo rispetto alle direttrici deposizionali.

Nel tratto padovano, la traccia del profilo mette in evidenza più corpi sabbiosi sovrapposti, con spessore massimo di circa 15 m ma che coinvolge nel complesso un pacco di strati di almeno 30-35 m. Nel tratto veneziano, il tracciato intercetta una serie di corpi sabbiosi con grandezze più limitate: larghezza attorno

al chilometro e spessore massimo compreso fra 10 e 15 m. I corpi principali giacciono nel sottosuolo in corrispondenza delle località Arino, Cazzago, Vetrego. In località Malpaga, il profilo segue in obliquo per circa 4 km una struttura sedimentaria, esagerando in questo modo la larghezza del corpo sabbioso, fino in prossimità del casello di Villabona.

A nordest della rotonda di Marghera e fino a quella del Terraglio, il sottosuolo presenta una fascia di ampie strutture sedimentarie, parzialmente sovrapposte e in connessione: constano di due corpi principali, di larghezza di almeno 1 km e spessore di circa 15 m, e una serie di corpi minori.

Più a nordest, verso il Sile, anche se il numero di stratigrafie è minore, appare evidente come i corpi di canale sabbioso si diradino e le loro grandezze siano più limitate.

I tetti delle strutture sono mediamente profondi almeno 5 m dal p.c., tranne il corpo posto in corrispondenza al corso attuale del Brenta e quello più orientale in corrispondenza del fiume Marzenego che presentano affioramenti in superficie. Il profilo mostra anche l'esiguità dei sedimenti sabbiosi più superficiali anche laddove correlati ai dossi morfologici principali.

A partire dal fiume Sile, il profilo topografico segue l'andamento determinato dalla costruzione, da parte dei sistemi deposizionali di Piave e Tagliamento, di due dossi fluviali lievemente elevati rispetto alla pianura circostante, fra i quali scorre in una bassura il fiume Livenza. Le quote più elevate si ritrovano pertanto in prossimità del corso dei due fiumi.

La traccia del profilo mette in evidenza corpi sabbiosi isolati, con spessore massimo di circa 7-8 m. Il grado di continuità laterale dei corpi è piuttosto variabile ma raramente supera 1 km. Un'eccezione è rappresentata dai corpi sabbiosi presenti in corrispondenza della fascia di territorio dove scorre attualmente il Piave che si presentano parzialmente sovrapposti fino a raggiungere spessori continui di più di 10 m.

Caratteristica di questa porzione della sezione geologica è la presenza di alcune incisioni fluviali tardoglaciali che raggiungono profondità diverse rispetto al piano campagna; quest'ultimo rappresenta invece l'antica superficie della pianura glaciale. Sul fondo delle incisioni si ritrovano ghiaie sabbiose, sepolte sotto sedimenti più fini che hanno progressivamente riempito le paleovalle fino a colmarle talora completamente.

I tetti delle strutture sedimentarie più grossolane sono, nella porzione di pianura intercettata dal profilo, mediamente profonde almeno 5 m dal p.c. tranne i corpi posti in corrispondenza al corso attuale del Piave e del Livenza che presentano affioramenti in superficie.

### *Profilo costiero (profilo B-B')*

La sezione è tracciata in prossimità della linea di costa, dal fiume Adige fino al Tagliamento, per uno sviluppo totale di circa 100 km.

Il profilo geologico è il risultato della correlazione di circa 280 sondaggi fra stratigrafie (200) e prove penetrometriche (80), scelti dalla banca dati stratigrafica provinciale per la loro significatività e completezza di informazioni.

La traccia del profilo mantiene una direzione NS partendo dalla foce dell'Adige fino alla bocca di porto di Malamocco, poi piega verso nordest mantenendo una direzione SSW-NNE fino al Lido e circa SW-NE fino alla foce del Tagliamento.

Lungo tutta la sua estensione, il profilo si sviluppa parallelo alla linea di costa intercettando, in superficie, depositi sabbiosi di ambiente litorale. In profondità prevalgono invece sedimenti più fini, legati a depositi trasgressivi e a depositi di piana alluvionale.

Il corpo sabbioso superficiale è affiorante per la maggior parte del profilo: le zone in cui le sabbie non affiorano, perché sepolte da depositi più fini, si trovano in corrispondenza di canali di marea (vedi ad esempio lungo il lido di Malamocco o lungo il litorale del Cavallino presso Treporti) o in prossimità della fascia costiera di Caorle. In quest'ultimo caso non è stato possibile intercettare il corpo sabbioso costiero data la sua limitata estensione verso monte: i pochi sondaggi profondi disponibili sono ubicati alle spalle del litorale di Caorle in un'area caratterizzata, in superficie, dalla sola presenza di depositi fini di ambiente lagunare/palustre.

Il corpo sabbioso costiero è stato convenzionalmente identificato con i depositi di ambiente litorale: il limite inferiore di questo corpo coincide, quindi, con la base delle sabbie litorali che chiudono la sequenza stratigrafica legata all'ingressione marina olocenica (nel profilo il limite è rappresentato dalla linea rossa). Questa scelta ha permesso di identificare un corpo sedimentario omogeneo dal punto di vista litologico, costituito da sole sabbie per uno spessore continuo di una certa rilevanza (mediamente maggiore di 5 m) in prossimità della linea di costa. Infatti, come si può osservare dal profilo, il corpo sabbioso superficiale presenta uno spessore massimo di circa 16 m presso Sottomarina per poi diminuire, spostandosi verso NE, fino a spessori minimi di 5-6 m. Solo la zona a ridosso di Caorle è caratterizzata dall'assenza di sabbie litorali.

In alcuni casi, l'andamento della base di questo corpo sabbioso evidenzia la presenza di paleocanali che incidono i depositi più fini sottostanti, in corrispondenza di antichi canali mareali o di bocche di porto attualmente disattivate. Queste forme sono state

rilevate, in particolare, nelle aree caratterizzate da una maggiore densità di sondaggi (ad esempio lungo il litorale di Pellestrina) che ha permesso di distinguere, talora, anche più di un paleo-canale. Nelle aree con un minor numero di sondaggi, queste forme, pur essendo presenti, non sono state riconosciute.

La porzione più profonda del profilo costiero, situata al di sotto della linea rossa, è contraddistinta dalla presenza di depositi più fini anche se, in dettaglio, la situazione non si presenta così omogenea come apparentemente indicata nella sezione geologica.

Infatti, i sedimenti depositati durante l'ingressione marina olocenica, situati tra il tetto delle alluvioni pleistoceniche (linea blu nel profilo), su cui poggiano in discordanza, e la base del corpo sabbioso costiero (linea rossa), sono eterogenei dal punto di vista litologico: sono costituiti da limi e argille torbose di retrobarriera su cui poggiano livelli di sabbia, con spessore massimo di 1-2 m, corrispondenti a depositi di spiaggia. Talora si riconoscono alternanze di livelli centimetrici di sabbie, argille e limi legati a depositi di prodelta.

Data l'estrema variabilità di questi depositi e il numero insufficiente di sondaggi, non è stato possibile identificare e, quindi, delimitare i singoli corpi sabbiosi all'interno del profilo. È importante comunque sottolineare il fatto che, a volte, questi corpi sono caratterizzati da una continuità laterale significativa dal punto di vista idrogeologico, oppure possono trovarsi in contatto con il corpo sabbioso costiero soprastante attraverso i paleo-canali precedentemente descritti.

Lo stesso discorso vale anche per i corpi sabbiosi di origine fluviale presenti all'interno dei depositi pleistocenici, limitati al tetto dalla linea blu (limite Pleistocene/Olocene). Nel profilo sono rappresentati solo i corpi di canale individuati dai sondaggi più profondi e, quindi, in numero molto minore rispetto alla situazione reale.

#### *Profilo Passante di Mestre (profilo C-C')*

Il profilo è tracciato in corrispondenza del Passante autostradale di Mestre, dallo svincolo di Roncoduro a sud, nelle vicinanze della frazione Cazzago di Pianiga, a quello di Quarto d'Altino a nord (fig. 4.1). Il tracciato disegna un arco attorno alla città di

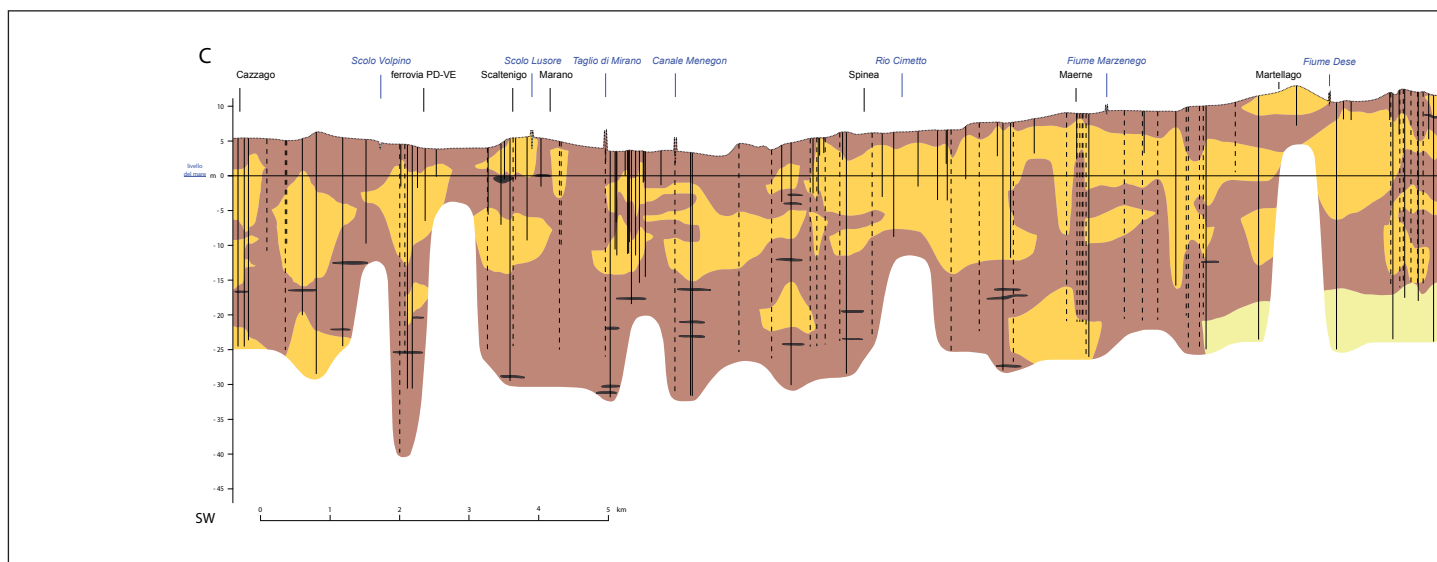


Fig. 4.1. Profilo C-C' rappresentato nella Tavola 2c. Il profilo si sviluppa lungo il tracciato del Passante Autostradale di Mestre (legenda in fig. 4.2).

Mestre per un totale di più di 30 km di sviluppo. La banca dati stratigrafica conta nelle immediate vicinanze del profilo circa 210 punti di indagine fra stratigrafie e prove penetrometriche, che sono state analizzate e correlate, anche grazie al rilevamento geologico, direttamente in sezioni di scavo durante la realizzazione dell'opera.

Il profilo ha una direzione sudovest-nordest da Roncoduro fino al Canale Menegon; gira verso nord fino a Cappella di Scorzè; piega verso est fino a Quarto d'Altino. Quindi il profilo presenta direzioni differenziate sia rispetto l'andamento generale della bassa pianura, degradante dolcemente verso ESE e SE, sia rispetto alla conseguente direzione delle principali direttrici fluviali, attuali e antiche.

Il grado di continuità laterale dei corpi è variabile ma in genere risulta maggiore di 1 km.

Nel tratto fino al Canale Menegon, nella parte meridionale del comune di Mirano, la traccia del profilo risulta perpendicolare alle direttrici fluviali e mette in evidenza corpi sabbiosi la cui sezione appare ben definita con chiusure laterali nette, di larghezza attorno al chilometro e spessore circa 10 m.

Oltre il Menegon, il tracciato piega verso nord risalendo la bassa pianura verso monte e intercettando più corpi interconnessi, con grandezze più consistenti. La loro larghezza, però, risulta in parte falsata poiché la direzione del profilo è parzialmente trasversale alle direttrici deposizionali, esagerando così la larghezza della fascia in cui il corpo persiste. Comunque, questo corpo sabbioso resta uno dei più importanti e interessa il sottosuolo della fascia di territorio che comprende la parte nord del comune di Spinea, quello sud di Salzano e Martellago, spingendosi verso il confine della provincia nella parte orientale del comune di Scorzè. In corrispondenza di Maerne e di Cappella di Scorzè, il tetto del corpo sabbioso si ritrova in posizione sub-superficiale. Qui è ramificato in due direttrici che rappresentano le ultime deposizioni pleistoceniche; lo spessore massimo è di circa 18 m. Il profilo mostra anche un corpo sabbioso superficiale più isolato in prossimità del corso attuale del Dese con un evidente morfologia a dosso.

I corpi sabbiosi verso nordest si diradano e la direzione del profilo permette di sondare una fascia di territorio poco ampia. Si notano, comunque, due corpi significativi che si riscontrano nel sottosuolo della provincia di Treviso in corrispondenza del

corso del fiume Zero e dello scolo Serva, nei pressi di Zerman. In particolare, il profilo segue per circa 5 km quest'ultima direttrice fluviale antica, il cui tetto, nella parte più orientale, si trova quasi in superficie.

Da notare, nella parte centrale del profilo, la presenza di ghiaie a partire dalla profondità di circa 25 m dal p.c., probabili depositi appartenenti al megafan del Piave di Montebelluna.

### *Profilo ferroviario (profilo D-D')*

Il profilo è tracciato in corrispondenza del percorso ferroviario Padova-Venezia, dalla stazione di Ponte di Brenta a quella di Mestre per un totale di più di 25 km. La banca dati stratigrafica conta nelle immediate vicinanze del profilo un set di dati di circa 100 punti di indagine fra stratigrafie e prove penetrometriche. Il profilo ha una direzione WSW-ENE presentando un andamento trasversale rispetto alla senso delle principali direttrici fluviali, attuali e antiche.

Il grado di continuità laterale dei corpi è variabile ma in genere la sezione perpendicolare si estende per più di 1 km.

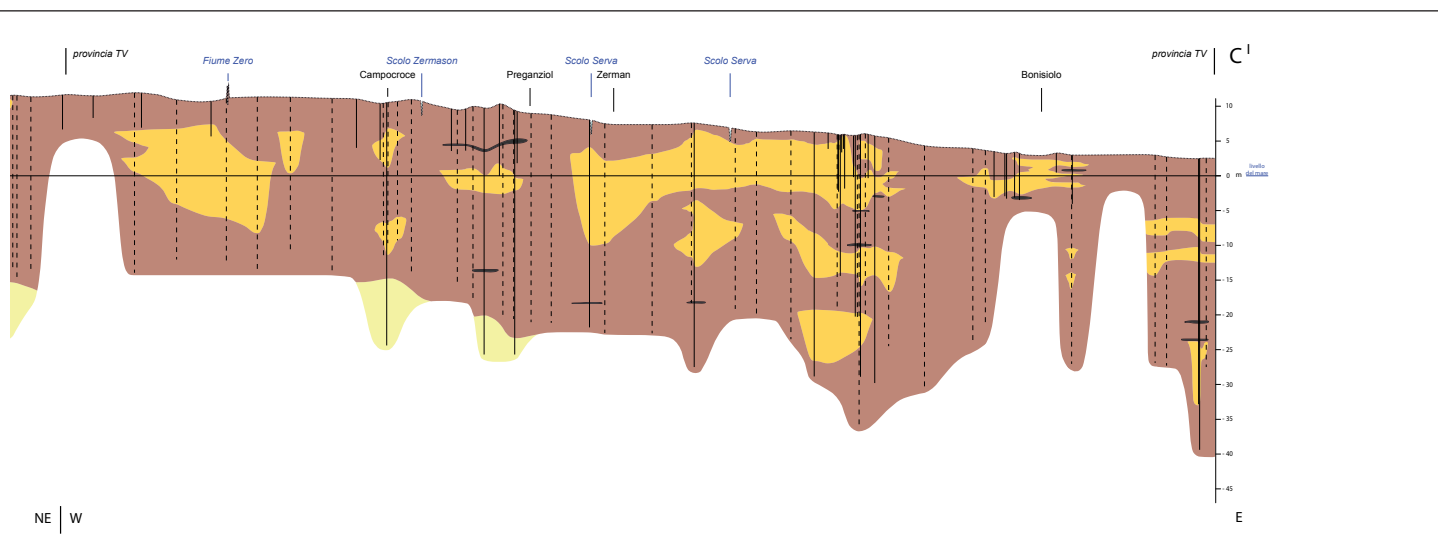
Nel tratto padovano, la traccia del profilo mette in evidenza due corpi sabbiosi sovrapposti, la cui sezione appare ben definita, con spessore massimo di circa 15 m.

Nel tratto veneziano, il tracciato intercetta una serie di corpi sabbiosi con grandezze più limitate: larghezza attorno al chilometro e spessore massimo compreso fra 10 e 15 m. I corpi principali giacciono nel sottosuolo in corrispondenza delle località Pianiga, Ballò, Vetrego, Marano, Malpaga, Chirignago.

I tetti delle strutture sono mediamente profondi, almeno 5 m dal p.c., tranne il corpo posto in corrispondenza al corso attuale del Brenta e quello più orientale nella periferia di Mestre che si presentano in posizione subsuperficiale. Il profilo mostra anche l'esiguità degli spessori dei sedimenti sabbiosi superficiali anche laddove correlati ai dossi morfologici principali.

### *Profilo Canal Salso–Aeroporto Marco Polo (profilo E-E')*

Il profilo geologico è tracciato lungo il bordo lagunare, dalla sponda meridionale del Canal Salso, in prossimità dell'area



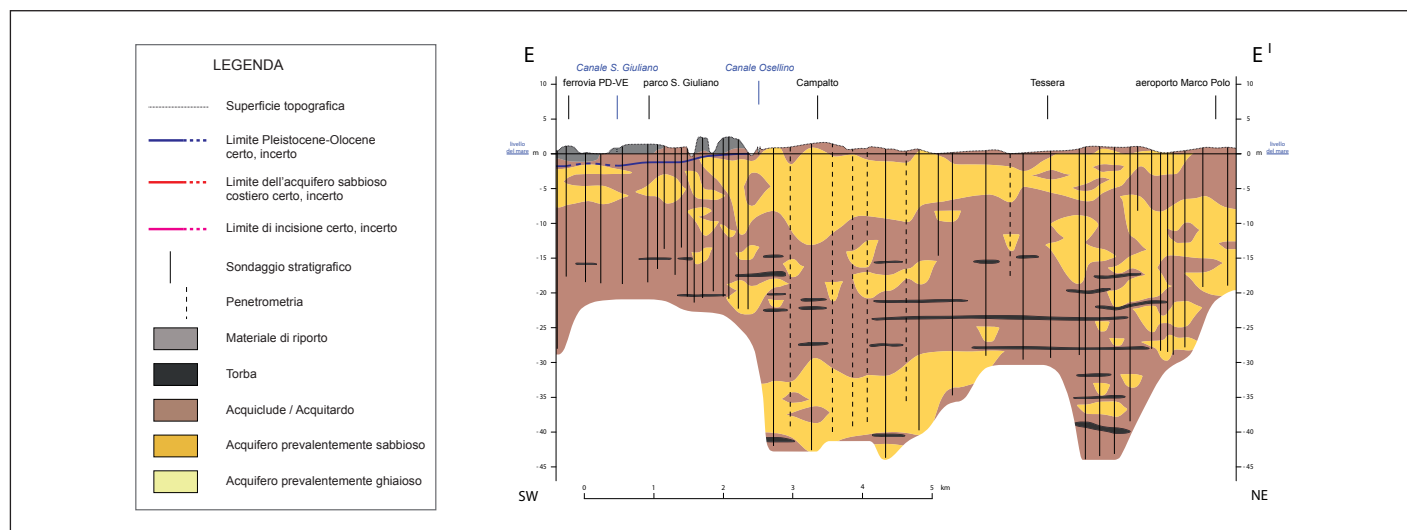


Fig. 4.2. Profilo E-E' rappresentato nella Tavola 2c. Il profilo è tracciato lungo il bordo lagunare dal Canal Salso fino all'aeroporto Marco Polo.

industriale di Porto Marghera, alle Officine aeronavali dell'aeroporto Marco Polo, per uno sviluppo totale di circa 9 km (fig. 4.2).

Il profilo è il risultato della correlazione di 46 sondaggi fra stratigrafie e prove penetrometriche, scelti dalla banca dati stratigrafica provinciale per la loro significatività e completezza di informazioni.

La traccia della sezione ha una direzione sudovest-nordest, quasi perpendicolare rispetto l'andamento generale della bassa pianura, degradante dolcemente verso est-sudest e sudest.

Il profilo intercetta una serie di corpi sabbiosi fra i quali si evidenzia la struttura parallela al tracciato per circa 5-6 km, in corrispondenza della località Campalto. Tale geometria è caratterizzata da uno spessore massimo pari a 15 m e una larghezza in parte distorta dalla direzione del profilo, trasversale e non perpendicolare alle direttrici deposizionali. Tale struttura è sovrapposta a un'altra più profonda ma con caratteristiche analoghe. Altri corpi principali giacciono all'estremità occidentale del profilo, probabile chiusura di una struttura che attraversa la parte settentrionale della zona industriale e della zona aeroportuale. Essi si presentano con grandezze minori delle precedenti.

Il tetto della struttura di Campalto è piuttosto superficiale, mediamente 1 m dal p.c., mentre gli altri giacciono a profondità maggiori di 5 m dal p.c.

Nelle sequenze fini di piana di esondazione vi sono numerosi livelli torbosi di origine palustre presenti a partire da -15 m slm e correlabili su distanze di alcuni chilometri.

#### Profilo Agna - foce Adige (profilo F-F')

La sezione geologica si sviluppa per una lunghezza di circa 30 km con direzione E-W, partendo dal confine con la provincia di Padova, nei pressi di Agna, fino alla foce dell'Adige (fig. 4.3).

Il profilo è il risultato dell'interpretazione di alcuni transeiti distribuiti lungo tutta la lunghezza della sezione, orientati trasversalmente rispetto all'asta fluviale dell'Adige, e dell'analisi di tutti i sondaggi presenti nell'area aventi una profondità maggiore di 10 m. È da sottolineare il fatto che la qualità e quantità di stratigrafie su cui si basa l'elaborazione di questo profilo geologico è inferiore rispetto a quello di altri profili precedentemente descritti, sia per il minor numero di indagini geognostiche che

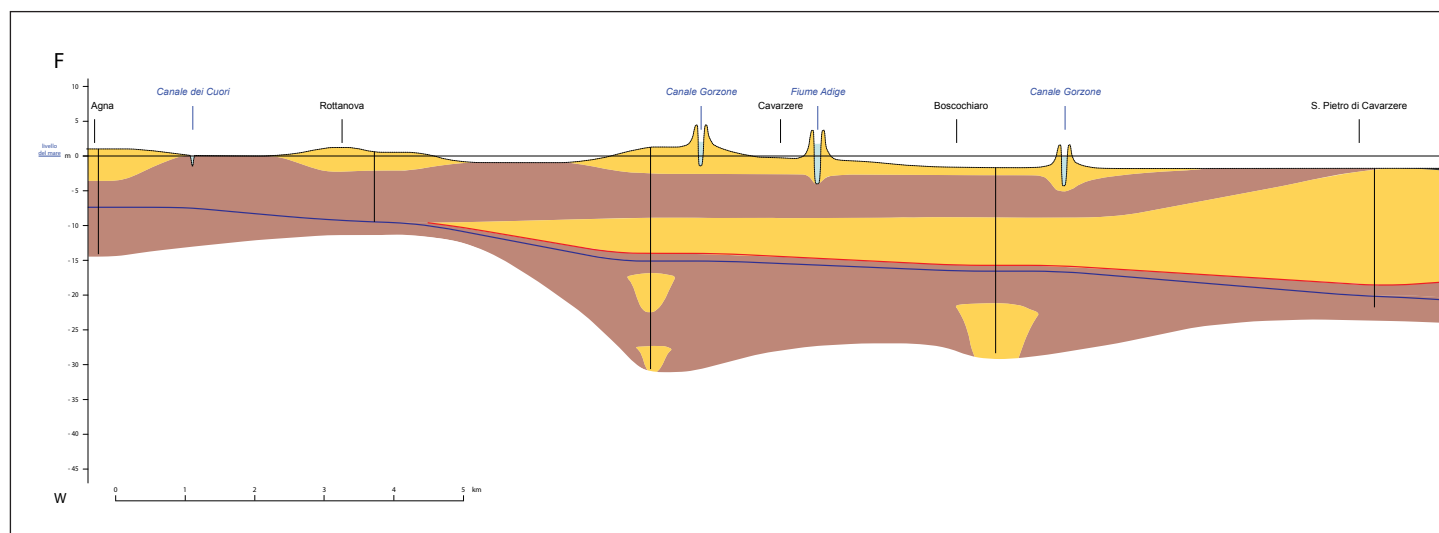


Fig. 4.3. Profilo F-F' rappresentato nella Tavola 2c. Il profilo è tracciato trasversalmente all'area meridionale della provincia (legenda in fig. 4.2).

caratterizza in generale tutta l'area meridionale della provincia di Venezia, sia per la minor profondità raggiunta dai singoli sondaggi (non a caso in questa zona mancano infrastrutture viarie di una certa importanza).

Osservando il profilo, per prima cosa si evidenzia la presenza di un corpo sedimentario sabbioso a geometria cuneiforme, caratterizzato da uno spessore massimo di circa 16 m in prossimità della costa. La chiusura del cuneo è individuata a monte di Cavarzere a una profondità di circa 10 m dal p.c.

Il tetto di questo corpo sabbioso affiora localmente verso est, in vicinanza della fascia costiera, mentre si approfondisce spostandosi verso ovest. La base del corpo, evidenziata dalla linea rossa nel profilo, corrisponde al passaggio di facies tra questa successione prevalentemente sabbiosa e i sottostanti depositi fini.

La difficoltà maggiore riscontrata nell'elaborazione di questo profilo è stata quella di riconoscere l'organizzazione latero-verticale delle varie facies sedimentarie che costituiscono il corpo sabbioso superficiale. Infatti, all'interno della successione stratigrafica individuata in quest'area corrispondente ai depositi costieri, sono stati riconosciuti livelli prevalentemente sabbiosi legati a depositi di spiaggia (formati sia durante la fase trasgressiva che quella regressiva) e a cordoni dunali; a depositi di prodelta e a locali intercalazioni più sottili, ma anch'esse talora sabbiose, di baia, laguna e palude costiera. I depositi di prodelta sono stati riscontrati nel settore più prossimo alla linea di costa, mentre i depositi lagunari/palustri si sono formati in zone di retrobarriera, a monte della linea di costa che dopo l'iniziale trasgressione è poi regredita. Come precedentemente accennato (vedi profilo B-B'), il limite inferiore del corpo sabbioso costiero è stato fatto coincidere convenzionalmente con la base della sabbie litorali s.s., anche se non sempre il limite di questa facies è stato riconosciuto con un dettaglio sufficiente.

In particolare non è stato possibile distinguere, sulla base dei soli dati disponibili, i depositi sabbiosi trasgressivi più profondi da quelli regressivi più superficiali, coalescenti tra loro nel settore più occidentale, in corrispondenza della parte più sottile del cuneo. Trattandosi comunque di sedimenti a granulometria grossolana, questi due tipi di depositi non presentano sostanziali differenze dal punto di vista idrostratigrafico e, quindi, sono stati cartografati entrambi all'interno del corpo sabbioso costiero.

Nel settore più orientale del profilo, invece, i depositi sabbiosi trasgressivi sono separati da quelli regressivi da una successione di sedimenti più fini, corrispondente ai depositi di prodelta, talora di spessore notevole (5-6 m). Tale sequenza è stata distinta dal corpo sabbioso più superficiale e classificata come acquitrando.

Anche i sedimenti fini corrispondenti ai depositi di retrobarriera sono stati uniformemente classificati come acquitrando. Questi ultimi poggiano in discordanza sui depositi alluvionali pleistocenici: la linea blu nel profilo evidenzia il limite Pleistocene-Olocene (coincidente con il livello guida denominato "caranto") e corrisponde al passaggio netto tra i depositi di ambiente fluviale più antichi e i soprastanti depositi costieri più recenti.

Dato l'esiguo numero di sondaggi, non è stato possibile cartografare in dettaglio i singoli corpi fluviali sabbiosi all'interno dei depositi alluvionali pleistocenici. I pochi corpi sabbiosi riportati nel profilo non rappresentano, quindi, il quadro idrostratigrafico nella sua reale complessità, ma solo alcuni esempi laddove riconosciuti.

Nella parte orientale del profilo, a monte di S. Pietro di Cavarzere, affiorano i depositi alluvionali di età olocenica. Di questi ultimi sono stati identificati i depositi più grossolani corrispondenti ai corpi di canale e agli argini fluviali dei corsi d'acqua principali (Adige e canale Gorzone), mentre i sedimenti più fini di piana di esondazione non sono stati distinti, dal punto di vista idrostratigrafico, dai sottostanti depositi fini di ambiente lagunare e palustre, fungendo entrambi da acquitrando o acquicludo.

### Profilo Noale - Mestre (profilo G-G')

Il profilo geologico segue all'incirca il percorso della linea ferroviaria Trento-Bassano-Venezia, dalla località Cappelletta di Noale a Mestre, e si prolunga fino al bordo lagunare in località Campalto, per uno sviluppo totale di circa 27 km.

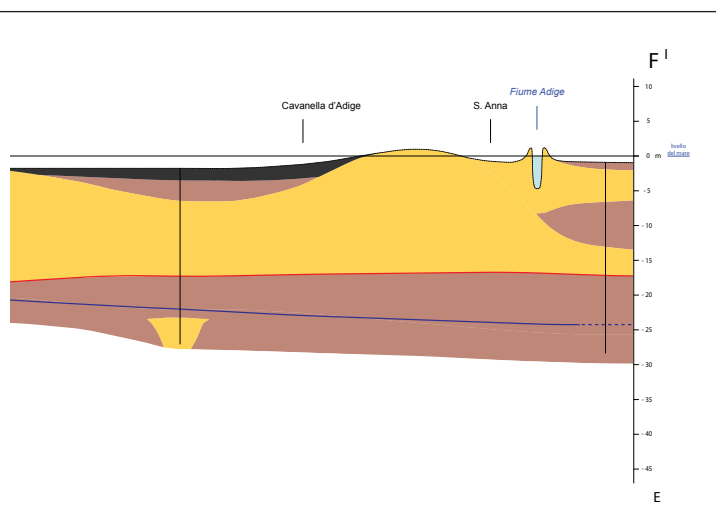
Il profilo è il risultato della correlazione di 41 sondaggi fra stratigrafie e prove penetrometriche, scelti dalla banca dati stratigrafica provinciale per la loro significatività e completezza di informazioni.

La traccia della sezione ha una direzione nordovest-sudest, l'unica fra i profili della parte centrale della provincia a essere circa parallela rispetto all'andamento generale della bassa pianura.

Il profilo segue un corpo sabbioso dalla sua comparsa nel sottosuolo del territorio provinciale, in corrispondenza di Noale, fino ai bordi lagunari di Mestre. Tale struttura sedimentaria, anche se non sempre rappresentata nel profilo lungo il suo filone principale, presenta uno spessore medio di circa 15 m e in corrispondenza dei dintorni di Asseggiano si sovrappone a un'altra, più profonda ma con caratteristiche analoghe. Il profilo, in corrispondenza della località Gazzera, si situa in posizione più decentrata rispetto all'asse del corpo e ne segue un ramo settentrionale che attraversa il centro di Mestre e si dirige verso Viale S. Marco mantenendo la rappresentazione dei valori medi di spessore (15 m). Verso il bordo lagunare, il profilo piega verso est per concludersi in corrispondenza delle barene prossime a Campalto. Da qui, il corpo prosegue sotto lo specchio lagunare.

Il tetto della struttura è sempre sub-superficiale, mediamente 1 m dal p.c., anche se non sempre la rappresentazione data dal profilo restituisce la situazione di affioramento completo.

Negli ultimi chilometri, il profilo mette in evidenza una fascia di sedimenti torbosi presenti in profondità nei depositi fini fra 20 e 25 m da p.c.



**Profilo Grassaga - foce del Piave (profilo H-H')**

Il profilo è tracciato da Grassaga, verso il confine con la provincia di Treviso, alla foce del Piave nei pressi della località Cortellazzo (a est di Lido di Jesolo), passando per S. Donà di Piave ed Eraclea (fig. 4.4).

L'estensione del profilo è di quasi 29 km e la banca dati stratigrafica comprende circa 30 stratigrafie nelle immediate vicinanze del profilo, particolarmente significative per ricchezza di informazioni.

La sezione ha una direzione circa N-S e si svolge nell'area dei dossi fluviali del Piave e di lineazioni di dune litorali. Il profilo topografico giace all'incirca attorno a quota 0 m slm da cui emergono i deboli rialzi dei dossi fluviali del Piave in località Passarella e a Eraclea e del sistema di dune costiere jesolane.

In corrispondenza dei dossi affiorano i sedimenti sabbiosi delle alluvioni recenti del Piave, con spessori contenuti al massimo a 5 m. Il profilo mostra anche corpi sabbiosi minori isolati e una serie di livelli torbosi immersi nelle deposizioni fini, largamente preponderanti in tutto il sottosuolo di questa parte del territorio.

Nella parte meridionale del profilo affiora la parte sommitale del sistema di dune litoranee, oggi quasi del tutto spianate ma che in profondità mostrano radici più estese, conseguenza delle fluttuazioni della linea di costa olocenica.

Infine, in corrispondenza di Lido di Jesolo, è evidenziata una valle fluviale incisa dall'attività del Piave postglaciale e sepolta da sedimenti più recenti, alla cui base giacciono sedimenti sabbiosi. L'incisione interrompe il marker stratigrafico costituito dai paleosuoli che marciano il passaggio fra Pleistocene e Olocene, semi-affiorante nella parte settentrionale del profilo e profondo circa 12 m in corrispondenza della costa.

**Profilo Teglio Veneto - Valle Vecchia (profilo I-I')**

Il profilo geologico è tracciato da Teglio Veneto, in prossimità del confine con la regione Friuli - Venezia Giulia, fino alla costa, nei pressi di Valle Vecchia fra Caorle e Bibione, passando per Fossalta di Portogruaro e le località Lugugnana e Brussa.

Lo sviluppo complessivo del profilo è di quasi 28 km e la banca dati stratigrafica conta nelle immediate vicinanze del profilo un set di 20 stratigrafie.

La sezione ha una direzione circa N-S e si svolge interamente all'interno di una valle fluviale incisa nella pianura pleistocenica da un ramo del Tagliamento tra il Tardoglaciale e l'Olocene superiore, sepolta da sedimenti più recenti. Il profilo topografico segue l'andamento generale della pianura attuale, compreso fra circa +10 m slm e quote inferiori a 0 m slm.

La base dell'incisione raggiunge una profondità compresa fra circa 15 e 30 m rispetto alla quota della pianura attuale.

La valle sepolta è riempita nella parte basale da sedimenti ghiaiosi prevalenti almeno fino alla località Castello di Brussa per lasciare il posto a sedimenti sabbiosi prevalenti nella parte finale del profilo verso sud. Sovrapposti a questi sedimenti basali giacciono sedimenti appartenenti ad altri episodi deposizionali più recenti, sia fluviali, rappresentati da ghiaie, sabbie e limi argillosi, sia lagunari/costieri, rappresentati da argille e sabbie. Deposizioni ghiaiose si fondono così nella metà di monte della sezione fino a formare un'unica sequenza spessa anche 15 m. Anche i sedimenti ghiaiosi più recenti sono sostituiti da sabbie verso valle, separati dai precedenti da una sedimentazione più fine. Nella porzione finale del profilo si rinvengono sequenze sabbiose spesse anche 10 m, di origine fluviale ma anche probabilmente costiera, direttamente contigue e indistinguibili allo stato attuale delle informazioni. Sedimenti fini di origine prevalentemente lagunare sigillano il tetto della sequenza.

**Profili Brenta (profili L-L'; M-M'; N-N')**

Si tratta di una serie di tre profili tracciati sulla fascia di territorio circa compresa fra il Naviglio Brenta, il fiume Brenta e la laguna, con direzioni circa parallele SSW-NNE: il profilo L-L' va da Fossò allo svincolo di Roncoduro dell'autostrada Venezia - Padova; il profilo M-M' da Piove di Sacco (provincia di PD) a Mira Porte; il profilo N-N' da Arzergrande (provincia di PD) a Lugo.

La banca dati stratigrafica conta nelle immediate vicinanze dei profili un set totale di dati di circa 50 punti di indagine fra stratigrafie e prove penetrometriche: il numero di sondaggi che costituisce le sezioni è quindi nettamente inferiore ad altri profili e il livello di informazioni più basso determina una maggiore soggettività di interpretazione. La disponibilità di dati permette quindi una ricostruzione discontinua dei corpi sabbiosi, con correlazioni limitate dal maggior grado d'incertezza.

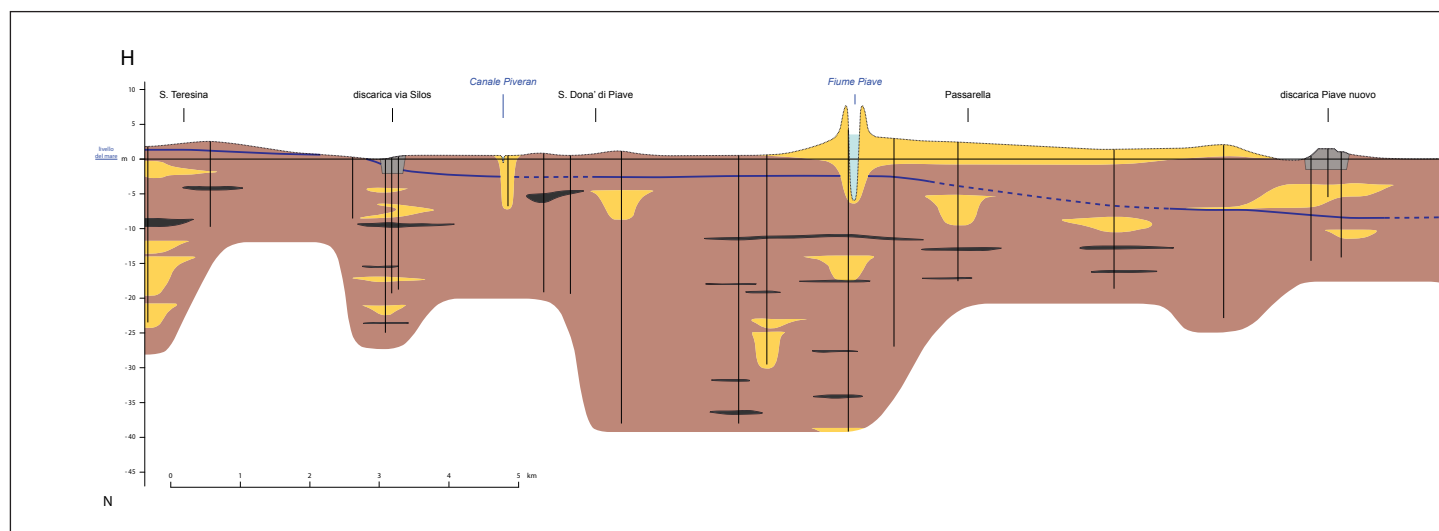


Fig. 4.4. Profilo H-H' rappresentato nella Tavola 2c. Il profilo è tracciato nell'area sandonatese, da Grassaga fino alla foce del Piave (legenda in fig. 4.2).

Nella Tavola 2c i tre profili sono accostati in maniera che le loro tracce siano nel complesso perpendicolari all'andamento generale della pianura e delle principali strutture sedimentarie sepolte. Tale approccio costituisce un ausilio all'interpretazione dei potenziali corpi sabbiosi e alla conseguente ricostruzione cartografica, in quanto i corpi non intercettati dai sondaggi esistenti lungo uno dei profili possono essere potenzialmente rilevati dagli altri due.

L'andamento dei corpi sabbiosi non è tuttavia così rettilineo e la sezione individuata sul profilo non corrisponde alle dimensioni della sezione reale della struttura. Di conseguenza i corpi sabbiosi attraversati dalle tracce dei profili non sono sempre distinguibili in maniera netta e univoca.

Per esempio nel profilo L-L' è evidente la presenza a sudovest di un corpo sabbioso, intercettato per un tratto di circa 6 km che però non corrisponde alla sua sezione reale ma dipende dalla direzione della traccia del profilo stesso che in quel punto coincide con l'andamento generale della struttura sedimentaria. Questo corpo si ritrova probabilmente nel profilo M-M', cioè circa 4,5 km più a valle, scisso in due componenti, la cui sezione più meridionale pari a circa 2 km potrebbe rappresentare quella più rispondente alle grandezze medie delle strutture sedimentarie di questa parte di bassa pianura.

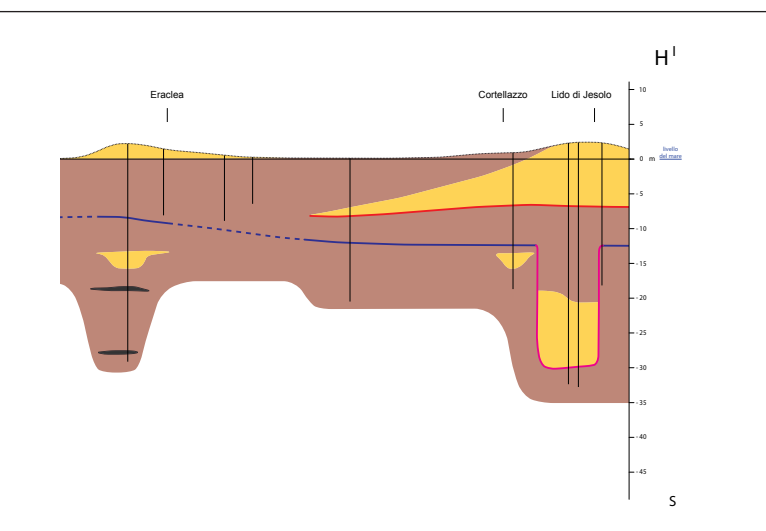
Altri corpi sabbiosi sono rappresentati in alcuni profili ma non sono rappresentabili in altri per mancanza di stratigrafie sufficienti: per esempio nel profilo M-M' è raffigurato un corpo sabbioso profondo che non ha un adeguato riscontro nel profilo N-N'.

Il profilo mostra anche l'esiguità della presenza di sedimenti sabbiosi in corrispondenza dei dossi fluviali del sistema legato al corso del Naviglio Brenta.

In genere, i tetti dei corpi sabbiosi giacciono a profondità compresa fra 1 e 5 m dal p.c. tranne uno, rilevato nella parte meridionale del profilo M-M', che è collocato a profondità maggiori di 10 m dal p.c.

## 4.2. Distribuzione della sabbia e dell'argilla nell'area centrale

Attraverso l'elaborazione dei dati stratigrafici presenti negli archivi informatizzati della Provincia di Venezia (banca dati delle indagini geologico-stratigrafiche) è stato possibile realizzare



nell'area centrale una serie di mappe nelle quali è rappresentata la distribuzione spaziale dei corpi sabbiosi e dei depositi argillosi, a vari intervalli di profondità dal piano campagna.

È stato possibile applicare questo tipo di elaborazione solamente all'area centrale della provincia di Venezia, sia per la notevole quantità di dati omogeneamente distribuiti presenti in questa zona, sia soprattutto per la tipologia deposizionale caratteristica di questo sistema idrogeologico.

Il metodo di interpolazione di dati puntuali per la realizzazione di una superficie continua presuppone infatti che i dati associati al territorio siano spazialmente dipendenti, cioè che il valore di ogni punto sia correlato ai valori dei punti circostanti; ciò rende possibile prevedere il loro valore in un punto dello spazio derivandolo dai punti noti.

Questa condizione è stata rispettata dal processo deposizionale avvenuto in quest'area: i depositi alluvionali sono qui costituiti da corpi sabbiosi di notevole estensione laterale spesso amalgamati tra loro così da produrre sequenze sabbiose spesse fino a un massimo di 30 m (paragrafo 7.2).

Sono state realizzate complessivamente le seguenti mappe:

- distribuzione della sabbia da 0 a 12 m dal piano campagna suddivisa in intervalli di 2 m; si sono ottenute 6 mappe;
- distribuzione dell'argilla da 0 a 12 m dal piano campagna suddivisa in intervalli di 2 m; si sono ottenute 6 mappe.

Queste mappe sono state realizzate considerando una profondità complessiva di 12 m dal piano campagna; al di sotto di questa profondità si è ritenuto che le stratigrafie non fossero in numero sufficiente per poter ottenere risultati soddisfacenti.

Le stratigrafie ricadenti nell'area centrale sono state quindi selezionate e suddivise in 6 livelli a seconda della loro profondità dal piano campagna; per ogni livello sono state selezionate solo le stratigrafie con profondità non inferiore al letto del livello considerato (tabella 4.1).

**Tabella 4.1. Stratigrafie selezionate**

Livello considerato (m da p.c.)	Profondità minima delle stratigrafie (m da p.c.)	N. di stratigrafie selezionate
0 - 2	2	5410
2 - 4	4	4441
4 - 6	6	3236
6 - 8	8	2460
8 - 10	10	2071
10 - 12	12	1613

Nell'area di Porto Marghera è presente più del 50% di tutte le stratigrafie ricadenti nell'area centrale.

Si ricorda che una parte dell'enorme mole di informazioni stratigrafiche presenti su quest'area è stata già elaborata tramite predizioni e simulazioni geostatistiche al fine di una ricostruzione di dettaglio della sola "Penisola della Chimica" (Trevisani & Fabbri, 2010).

Nel presente lavoro, per mantenere una uniformità di distribuzione dei dati coerente con la scala di analisi scelta si è deciso di utilizzare il 25% delle stratigrafie disponibili nell'area di Porto Marghera.

Infine, solo per Porto Marghera sono state realizzate ulteriori mappe a una scala di maggior dettaglio, utilizzando tutte le stratigrafie disponibili.

Sono state quindi realizzate anche le seguenti mappe:

- distribuzione della sabbia da 0 a 12 m dal piano campagna (area di Porto Marghera) suddivisa in intervalli di 2 m; si sono ottenute 6 mappe;
- distribuzione dell’argilla da 0 a 12 m dal piano campagna (area di Porto Marghera) suddivisa in intervalli di 2 m; si sono ottenute 6 mappe.

Un altro problema che è stato affrontato, sempre per quanto riguarda l’area di Porto Marghera, è il notevole spessore e l’ampia diffusione di depositi di origine antropica (fig. 4.5).

Infatti la distribuzione della sabbia e dell’argilla riportata nella tavola è stata riferita alla profondità dal piano campagna in tutta l’area di studio, ad esclusione dell’area di Porto Marghera.

L’area di Porto Marghera infatti è caratterizzata da una diffusa distribuzione di depositi di origine antropica, costituiti da materiali di riporto eterogeneo.

Questi materiali, oltre che da una vasta estensione areale, sono anche caratterizzati da un notevole spessore che mediamente è compreso tra 1 e 2 m, ma che può arrivare anche a 5-6 m e in qualche caso essere superiore a 6 m (fino 9-10 m) a causa del riempimento di canali industriali o di banchine di moli portuali. Per poter quindi correlare tra loro correttamente i corpi sabbiosi (e le aree argillose) dell’area centrale, individuati alle varie profondità, è stato necessario, per le indagini geologico-stratigrafiche ricadenti nell’area di Porto Marghera, utilizzare come piano campagna la base del riporto, ossia il piano campagna naturale.

Per tutte le indagini ricadenti in quest’area, la profondità di ogni strato è stata quindi ricalcolata partendo dalla base del riporto, a cui è stata assegnata una profondità uguale a zero.

In pratica quindi, per tutti le indagini ricadenti nell’area di Porto Marghera, il tetto e il letto di ogni strato è stato ricalcolato sottraendo lo spessore del riporto.

La procedura utilizzata è la seguente (fig. 4.6):

- ad ogni stratigrafia è stato associato il valore di spessore del riporto (questo valore risulta pari a 0 in caso di assenza di riporto);
- sottraendo lo spessore del riporto al tetto e al letto dei vari strati si ottengono i nuovi valori di tetto e letto da utilizzare nelle successive elaborazioni;

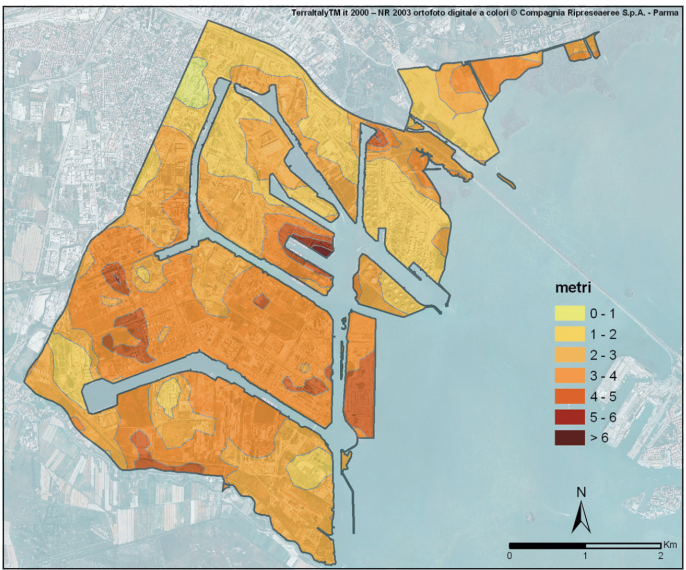


Fig. 4.5. Distribuzione dello spessore del riporto nell’area di Porto Marghera (tratto da Bondesan *et al.*, 2008).

Tabella 4.2. Esempio di conversione del codice litologico in composizione percentuale di sabbia e argilla

Codice litologico	Litotipo prevalente	% sabbia (A.G.I.)	% sabbia utilizzata	% argilla (A.G.I.)	% argilla utilizzata
3120	Sabbia con limo	50-75	62,5	0	0
2210	Limo argilloso	0	0	10-25	17,5
3400	Sabbia	100	100	0	0

- il tetto dello strato che si trova alla base del riporto indica il piano campagna “naturale” (valore 0).

Metodo di elaborazione dei dati

Una volta selezionate le stratigrafie e risolto il problema del riporto, il passo successivo è stato la loro elaborazione. Elemento fondamentale per poter elaborare i dati è la codifica litologica; ad ogni strato presente nella banca dati è associato un litotipo prevalente identificato da un opportuno codice numerico. Questo codice definisce la percentuale granulometrica dei suoi componenti secondo le classi previste dalle raccomandazioni A.G.I. (A.G.I., 1977).

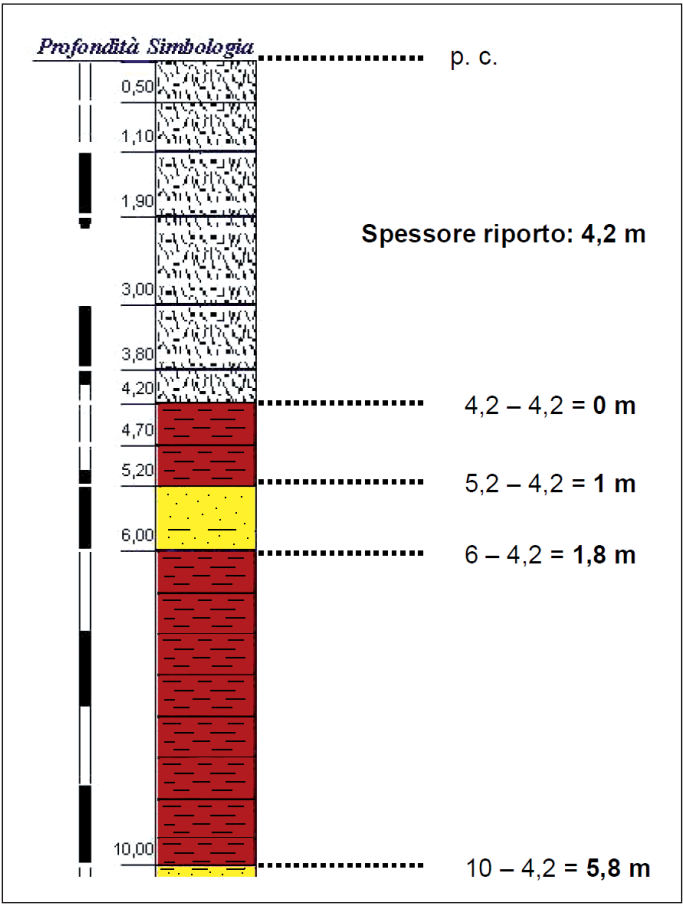


Fig. 4.6. In grassetto vengono riportati i valori ricalcolati del tetto e letto di ogni strato.

In sostanza quindi ad ogni strato, poiché esso è definito dal codice litologico, è stato possibile associare una definita percentuale di sabbia e di argilla (tabella 4.2).

Successivamente si è seguita la seguente metodologia (fig. 4.7 e tabella 4.3):

- sono stati selezionati tutti gli strati ricadenti totalmente o parzialmente nell'intervallo di profondità considerato;
- è stata calcolata la percentuale di sabbia e di argilla di ogni strato selezionato;
- di ogni strato o frazione di strato è stato calcolato lo spessore in metri e lo spessore percentuale rispetto allo spessore del livello analizzato (2 m).
- ad ogni strato o frazione di strato è stata assegnata la percentuale di sabbia e di argilla a seconda della sua percentuale di spessore.
- la percentuale di sabbia e di argilla è stata infine ricalcolata su tutto lo spessore del livello analizzato (2 m).

Oltre alle stratigrafie sono state utilizzate anche le informazioni derivanti dalle prove penetrometriche, i cui diagrammi sono stati analizzati ed interpretati al fine di individuare eventuali livelli di sabbia (paragrafo 3.1.1).

Agli intervalli individuati come sabbia (tetto e letto) è stato assegnato un valore di sabbia pari al 75%.

Queste informazioni sono state inserite in una tabella (tabella 4.4) ed utilizzate assieme ai sondaggi per la realizzazione delle mappe di distribuzione della sabbia.

Quindi, per ogni livello, sono stati utilizzati i dati provenienti:

- dalle sole stratigrafie per quanto riguarda la distribuzione dell'argilla;
- dalle stratigrafie e dalle penetrometrie per quanto riguarda la distribuzione della sabbia;

Infine, per ogni livello considerato, si è ottenuta una tabella contenente l'identificativo del punto di indagine, le sue coordinate di riferimento e la percentuale di sabbia e di argilla calcolata (tabella 4.5).

**Tabella 4.5. Tabella esemplificativa riferita a ciascun livello analizzato**

id	x	y	% sabbia	% argilla
1	x <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>
2	x <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>
3	x <sub>3</sub>	y <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	a <sub>3</sub>
4	x <sub>4</sub>	y <sub>4</sub>	s <sub>4</sub>	a <sub>4</sub>
5	x <sub>5</sub>	y <sub>5</sub>	s <sub>5</sub>	a <sub>5</sub>
6	x <sub>6</sub>	y <sub>6</sub>	s <sub>6</sub>	a <sub>6</sub>
7	x <sub>7</sub>	y <sub>7</sub>	s <sub>7</sub>	a <sub>7</sub>
8	x <sub>8</sub>	y <sub>8</sub>	s <sub>8</sub>	a <sub>8</sub>

**Tabella 4.3. Esempio relativo ad un singolo sondaggio (è stato considerato il livello da 2 a 4 m da p.c. della stratigrafia in fig. 4.7)**

codice sondaggio	numero strato	profondità tetto (m)	profondità letto (m)	spessore (m)	spessore strato o frazione di strato (m)		spessore strato (%)	codice litologico	% sabbia associata al codice geologico	% argilla associata al codice geologico	% sabbia calcolata per singolo strato o frazione di strato	% argilla calcolata per singolo strato o frazione di strato
24198	6	2,00	2,80	0,80	0,80	letto - 2 m	40	3220	82,5	0	33	0
24198	7	2,80	3,10	0,30	0,30	uguale al campo spessore	15	2130	37,5	0	5,63	0
24198	8	3,10	3,30	0,20	0,20		10	1320	0	95	0	9,5
24198	9	3,30	3,50	0,20	0,20		10	3430	100	0	10	0
24198	10	3,50	3,60	0,10	0,10		5	1320	0	95	0	4,75
24198	11	3,60	4,30	0,70	0,40	4 m - tetto	20	2013	25	25	5	5
<b>tot</b>					<b>2,00</b>		<b>100</b>				<b>53,63</b>	<b>19,25</b>

**Tabella 4.4. Livelli sabbiosi individuati attraverso l'analisi delle prove penetrometriche**

id dato	numero strato	x	y	profondità (m)	tetto (m)	letto (m)	spessore	% sabbia
224	1	2296985	5032445	15	2,20	11,20	9,00	75
227	1	2296995	5032448	20	6,80	9,00	2,20	75
227	2	2296995	5032448	20	9,80	12,00	2,20	75
227	3	2296995	5032448	20	12,80	14,60	1,80	75
248	1	2296817	5032742	15	5,00	7,60	2,60	75
248	2	2296817	5032742	15	9,00	10,20	1,20	75
248	3	2296817	5032742	15	10,80	12,20	1,40	75
...	...	...	...	...	...	...	...	...

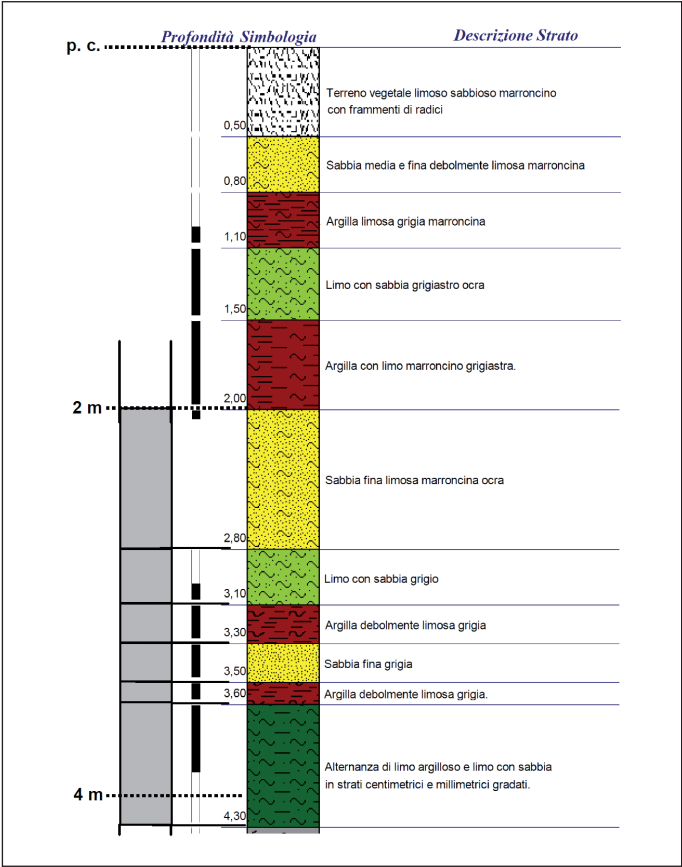


Fig. 4.7. Per il livello 2-4 sono stati selezionati (grigio) gli strati compresi completamente o parzialmente tra 2 e 4 m dal p.c.

Si possono così ottenere delle mappe puntuali tematizzate a seconda del valore di sabbia o argilla considerato, ossia delle mappe a classi di valori (figg. 4.8 - 4.9). La procedura di calcolo della percentuale di sabbia per ogni livello indagato è analoga a quella utilizzata per i sondaggi (tabella 4.2). Essendo stati riconosciuti inoltre solo i livelli sabbiosi e non

Tabella 4.6. Distribuzione della sabbia nell'area centrale

Livello	N. punti di indagine	Distanza media tra i punti di indagine (m)
1	3503	407
2	3211	426
3	2396	493
4	1822	565
5	1628	598
6	1309	667

Tabella 4.7. Distribuzione dell'argilla nell'area centrale

Livello	N. punti di indagine	Distanza media tra i punti di indagine (m)
0-2	3110	433
2-4	2818	454
4-6	2001	539
6-8	1416	641
8-10	1223	690
10-12	933	790

Tabella 4.8. Distribuzione della sabbia e dell'argilla nell'area di Porto Marghera

Livello	N. punti di indagine	Distanza media tra i punti di indagine (m)
0-2	3541	175
2-4	2574	206
4-6	1934	237
6-8	1636	258
8-10	1349	284
10-12	1097	315

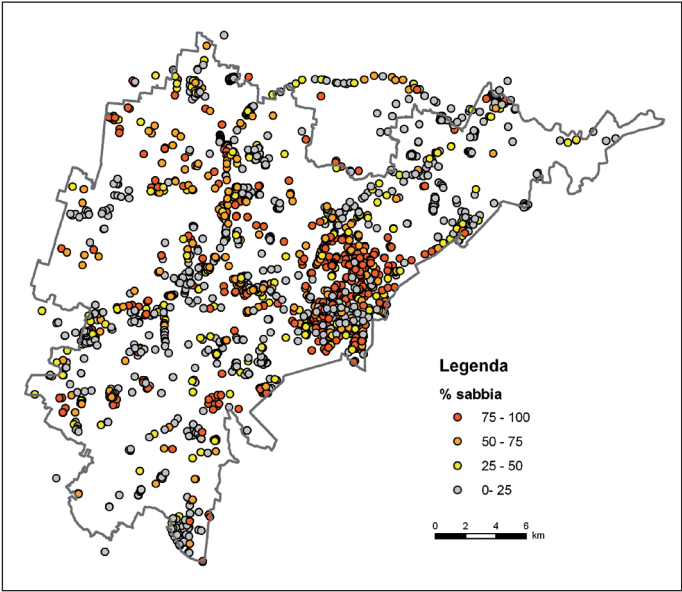


Fig. 4.8. Rappresentazione delle percentuali di sabbia calcolate nei sondaggi relativi all'area centrale, nell'intervallo 6-8 m da p.c.

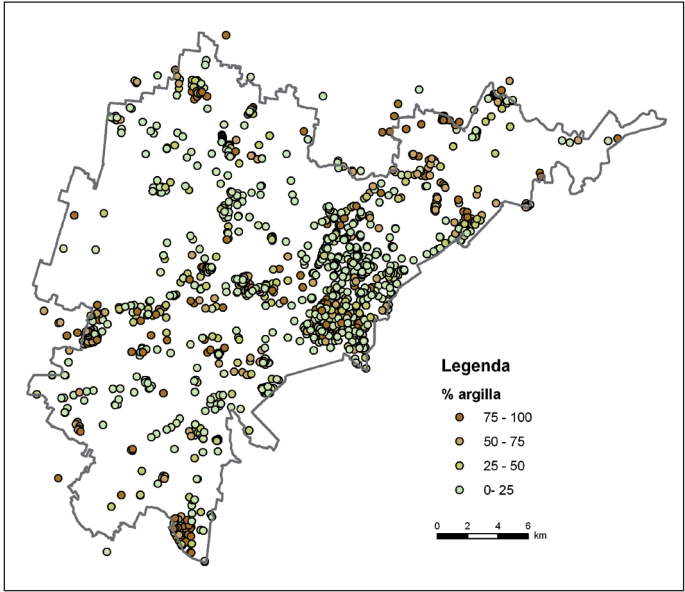


Fig. 4.9. Rappresentazione delle percentuali di argilla calcolate nei sondaggi relativi all'area centrale, nell'intervallo 6-8 m da p.c.

quelli argillosi, i dati provenienti dalla penetrometrie non sono stati utilizzati per la realizzazione delle mappe di distribuzione dell'argilla; sono state utilizzate 394 prove penetrometriche, tutte ubicate all'esterno dell'area di Porto Marghera.

Nelle successive tabelle di sintesi (tabelle 4.6 - 4.7 - 4.8), per ogni livello considerato, viene indicato il numero di indagini utilizzate e la loro distanza media all'interno dell'area di analisi considerata.

### Interpolazione dei dati puntuali

Per spazializzare i valori puntuali si è dapprima creata una griglia di dimensioni pari all'area di analisi, formata da una maglia fitta e regolare di celle.

Attraverso l'utilizzo di tecniche di interpolazione spaziale sono stati poi previsti i valori ad ogni nodo della griglia a partire dai dati puntuali distribuiti in modo irregolare sul territorio (punti di indagine).

Il metodo di interpolazione che è stato utilizzato per la realizzazione delle mappe è il kriging ordinario.

Questo metodo permette di ricostruire delle superfici continue tenendo in considerazione una possibile correlazione spaziale tra i dati, ossia che punti più vicini siano più simili rispetto a punti più lontani.

La realizzazione della superficie di previsione attraverso il metodo kriging è determinata dal variogramma, strumento che quantifica statisticamente la correlazione spaziale. Il procedimento di interpolazione quindi è consistito di due fasi:

- analisi della correlazione spaziale presente nella variabile oggetto di studio attraverso l'analisi variografica;
- utilizzo dei variogrammi teorici calcolati per la realizzazione delle superfici continue attraverso il previsore "kriging";

Il grafico di un variogramma sperimentale riporta il valore di variabilità dei punti nei confronti della loro distanza; rappresenta quindi il loro grado di correlazione spaziale (fig. 4.10).

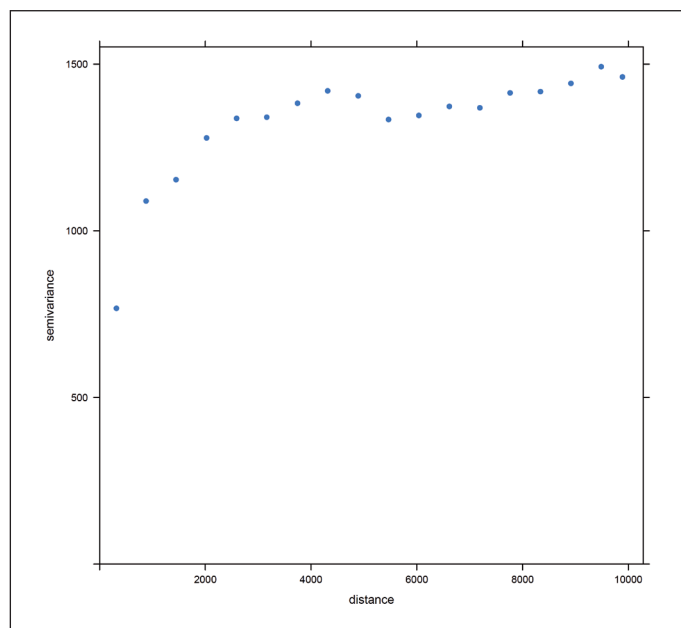


Fig. 4.10. Variogramma sperimentale relativo alla distribuzione della sabbia (livello 6-8 m - area centrale).

Esso deve poi essere fittato con un variogramma teorico al fine di ottenere i parametri necessari da utilizzare per la previsione della variabile studiata (fig. 4.11).

Attraverso l'analisi variografica inoltre è stato possibile individuare eventuali anisotropie spaziali ossia la presenza di una diversa correlazione spaziale a seconda della direzione considerata.

In particolare per questo scopo sono stati utilizzati:

- variogramma di superficie;
- variogrammi direzionali.

Nella figura 4.12 viene riportato il variogramma di superficie relativo al livello 6-8 (distribuzione della sabbia nell'area centrale)

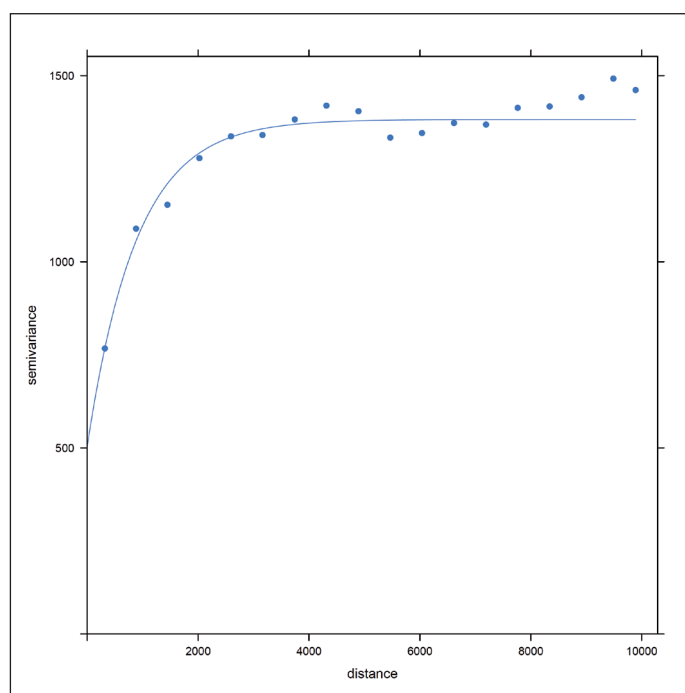


Fig. 4.11. Variogrammi sperimentale e teorico relativi alla distribuzione della sabbia (livello 6-8 m - area centrale).

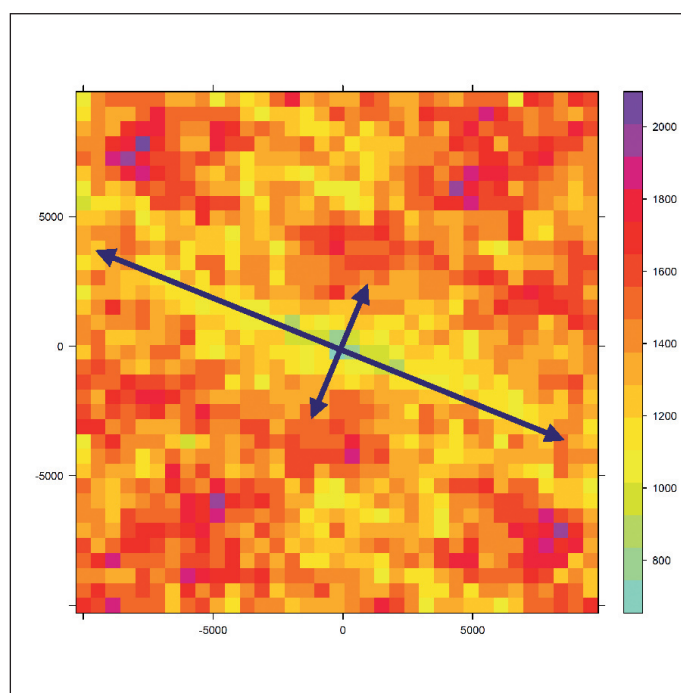


Fig. 4.12. Variogramma di superficie relativo alla distribuzione della sabbia (intervallo 6-8 m da p.c. - area centrale).

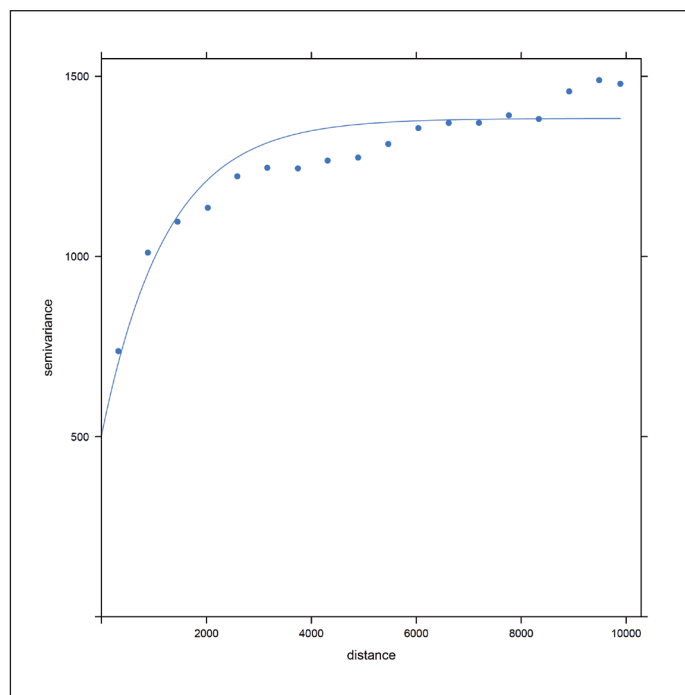


Fig. 4.13. Variogramma direzionale sperimentale e teorico N 110° E relativo alla distribuzione della sabbia lungo la direzione di massima continuità (livello 6-8 m - area centrale).

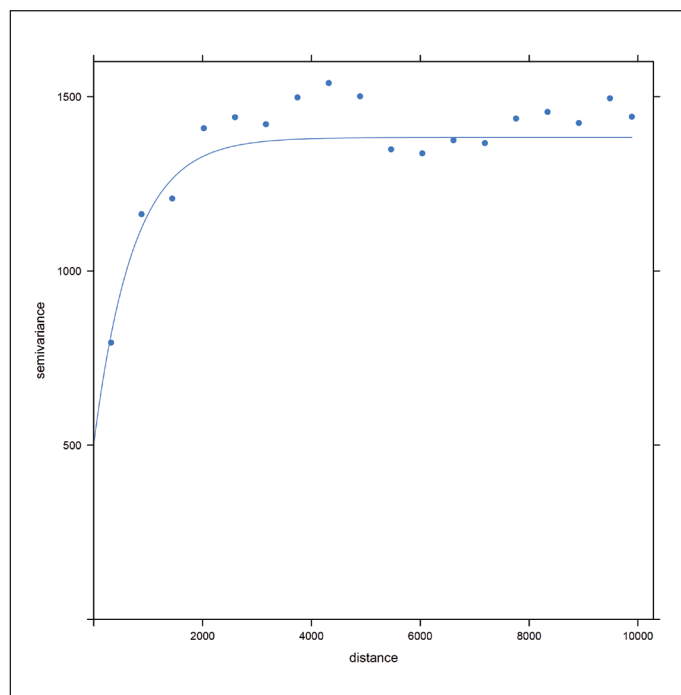


Fig. 4.14. Variogramma direzionale sperimentale e teorico N 20° E relativo alla distribuzione della sabbia lungo la direzione di minima continuità (livello 6-8 m - area centrale).

dove la lunghezza delle frecce indica la direzione di maggiore (110°) e minore (20°) continuità.

Questa anisotropia viene evidenziata anche dai variogrammi direzionali in cui la distanza (*range*) alla quale si stabilizza il modello (*sill*) varia a seconda della direzione considerata (figg. 4.13 - 4.14).

Nella tabella 4.9 vengono riportati i valori ricavati dall'analisi variografica utilizzati nel kriging per la previsione della mappa della distribuzione della sabbia relativamente al livello 6-8 m dell'area centrale.

Per la realizzazione di queste superfici, quindi, la procedura che si è seguita per ogni livello è stata la seguente:

- realizzazione di una griglia regolare estesa all'area studio costituita da celle quadrate (25 x 25 m);
- analisi del variogramma di superficie per evidenziare eventuali anisotropie (fig. 4.12);
- studio del variogramma omnidirezionale (o direzionali in presenza di eventuali anisotropie) per acquisire i parametri relativi alla correlazione spaziale della variabile (figg. 4.13 - 4.14);

**Tabella 4.9. Metodo di interpolazione kriging ordinario - parametri utilizzati (livello 6-8 - distribuzione della sabbia nell'area centrale)**

Modello	Esponenziale
direzione 110° - range massimo	1232
direzione 20° - range minimo	720
rapporto anisotropia geometrica	0,58
sill	1383
nugget	504

- previsione dei dati puntuali attraverso il kriging ordinario (tabella 4.9).

#### Guida alla lettura e analisi dei risultati della Tavola 4

I risultati ottenuti dall'interpolazione dei dati puntuali sono stati rappresentati nella Tavola 4.

Nelle mappe di distribuzione delle sabbie (lato sinistro della tavola) la crescente percentuale di sabbia viene rappresentata con delle tonalità graduali di colore dal verde all'arancio.

Nelle mappe di distribuzione dell'argilla (lato destro della tavola) la crescente percentuale di argilla viene rappresentata con delle tonalità graduali di colore dal grigio al marrone.

La scelta di una scala di colori graduale è dovuta al fatto che i punti utilizzati per ottenere queste superfici continue, come descritto in questo paragrafo, sono stati soggetti a delle elaborazioni che hanno reso necessaria una serie di semplificazioni tali da non consentire di definire dei limiti precisi per i valori di sabbia ed argilla calcolati.

Queste mappe quindi evidenziano soprattutto la presenza di corpi sabbiosi e di aree argillose e la loro persistenza alle varie profondità considerate.

Inoltre, al fine di poterne valutare l'attendibilità in ogni sua parte, ad ogni mappa è sempre associato un riquadro dove vengono riportate le ubicazioni delle indagini geologico-stratigrafiche utilizzate.

Le carte di distribuzione delle sabbie evidenziano che nei primi 2 m dal piano campagna sono prevalenti granulometrie fini e quindi non sono presenti veri e propri corpi sabbiosi.

A partire da 2 m dal piano campagna è evidente una serie di corpi sabbiosi più o meno definiti aventi direzioni legate alle principali direttrici di deflusso del Brenta pleistocenico.

Questi corpi, a seconda della profondità considerata, risultano avere ubicazioni, dimensioni e direzioni diverse; essi infatti cor-

rispondono a potenti strati di sabbia risultanti dalla sovrapposizione di più corpi di canale che hanno interessato nel tempo la medesima area (paragrafo 7.1)

È evidente comunque la persistenza del corpo sabbioso lungo una direttrice all'incirca NW-SE (Noale-Martellago-Mestre) che raggiunge il suo massimo sviluppo tra 6 e 8 m dal piano campagna. Accanto alle mappe di distribuzione delle sabbie sono state anche riportate le mappe di distribuzione delle argille; quest'ultime evidenziano come i depositi fini non appartenenti a corpi sabbiosi non siano generalmente costituiti da argilla, se non

localmente e solo a determinate profondità; si evidenzia soprattutto l'alta percentuale di argilla presente nel comune di Marcon, nell'area costiera a nord di Venezia tra 6 e 8 m dal piano campagna e al confine sud dell'area centrale tra 6 e 10 m dal piano campagna.

Dalla lettura di queste mappe si deduce quindi che i corpi sabbiosi rappresentati nelle mappe di distribuzione delle sabbie non siano necessariamente separati da depositi impermeabili, ma al contrario possono risultare interconnessi e separati da depositi per lo più limosi.



# Modello idrostratigrafico e sistemi idrogeologici

## 5.1. Modello idrostratigrafico

L'esame dei profili ha condotto all'individuazione di quattro settori della provincia, ciascuno dei quali caratterizzato da un diverso schema idrostratigrafico che, come illustrato successivamente, è rappresentativo di uno specifico sistema idrogeologico. Essi si differenziano per la geometria dei corpi acquiferi e per i loro rapporti stratigrafici.

Nel settore nord-orientale e centrale del territorio, l'analisi dei 7 profili longitudinali (A-A', C-C', D-D', E-E', L-L', M-M', N-N') e dei 4 profili trasversali (F-F', G-G', H-H', I-I'), e il confronto con le conoscenze acquisite attraverso studi precedenti ha permesso di differenziare le principali strutture morfo-sedimentarie.

Sono stati individuati tre settori caratterizzati da una diversa architettura sedimentaria evidenziata dalla geometria e dalle dimensioni dei corpi sabbiosi e ghiaiosi: nel profilo A-A' il tratto di pianura compreso tra i fiumi Brenta e Dese si differenzia dal tratto successivo fino al Tagliamento. Mettendo a confronto anche il profilo C-C' si osserva che lo stile sedimentario riscontrato tra Brenta e Dese continua fino al fiume Sile, in quanto, qui, l'apparente mancanza di corpi sabbiosi di una certa rilevanza tra Dese e Sile nel profilo A-A' è legata principalmente alla scarsità di dati stratigrafici in quel tratto.

L'analisi di tutte le indagini geologico-stratigrafiche della banca dati presenti nella zona ha confermato questa suddivisione permettendo di individuare un primo limite (coincidente con il corso del Sile) tra due diversi schemi idrostratigrafici, successivamente identificati come **Sistema Idrogeologico Nord-orientale** e **Sistema Idrogeologico Centrale**. Un ulteriore schema idrostratigrafico è riscontrabile dal profilo F-F' nella porzione occidentale del settore meridionale della provincia di Venezia, denominato **Sistema Idrogeologico Meridionale**.

L'analisi dei profili B-B', F-F' e H-H' e dei dati derivanti da studi pregressi ha consentito di riconoscere un corpo sedimentario sabbioso, presente con continuità lungo tutta la fascia costiera del territorio provinciale, costituito da depositi di origine litorale. L'area caratterizzata dalla presenza di questo corpo sabbioso è stata circoscritta e identificata come **Sistema Idrogeologico Costiero**.

### *Schema idrostratigrafico del Sistema Idrogeologico Nord-orientale*

Lo schema idrostratigrafico di figura 5.1 è rappresentativo del settore nord-orientale del territorio provinciale.

Questa porzione di pianura è costituita per la maggior parte da sedimenti depositati dal Piave e dal Tagliamento durante l'Ultimo Massimo Glaciale (LGM). L'analisi dei profili descritti nel paragrafo 4.1 ha evidenziato la presenza di estese sequenze sedimentarie formate da limi argillosi, limi e sabbie limose di piana di esondazione con all'interno corpi di canale, di modeste

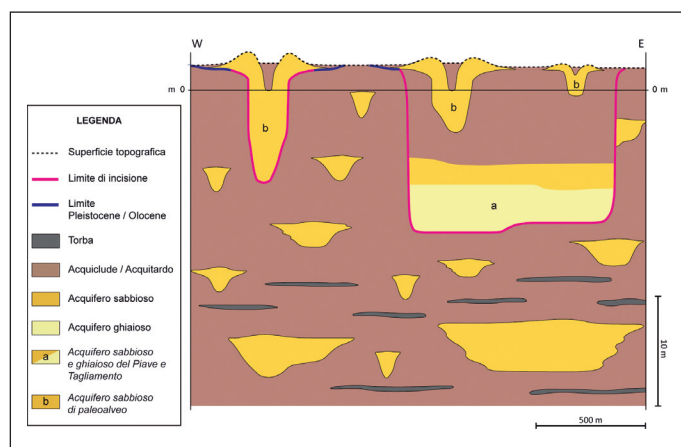


Fig. 5.1. Schema Idrostratigrafico del Sistema Idrogeologico Nord-orientale.

dimensioni (dell'ordine di 2 - 3 m, raramente superiore a 5 m). Si tratta di corpi sabbiosi fini, la cui continuità laterale è molto limitata; solo a profondità maggiori di 25 m assumono una certa continuità laterale e spessori superiori a 5 m.

Questa porzione di pianura è caratterizzata, inoltre, dalla presenza di alcune valli fluviali (ampiamente descritte in studi precedenti) che incidono la pianura LGM fino a 20 - 30 m di profondità (a in fig. 5.1). I depositi basali di riempimento delle incisioni sono costituiti da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie con spessori talora notevoli (10 - 15 m) e larghezze variabili tra 500 e 2000 m. I corpi ghiaiosi e sabbiosi (*Acquiferi sabbiosi e ghiaiosi del Piave e del Tagliamento post-LGM*) sono coperti da sedimenti fini depositati durante la fase di disattivazione dei fiumi e da successivi depositi lagunari che hanno riempito parzialmente, nel settore a monte, o totalmente, in prossimità della costa, le incisioni.

Infine, la sedimentazione tardo olocenica del Piave e del Tagliamento ha sepolto modesti settori della pianura pleistocenica con la formazione di dossi fluviali sabbioso-limosi che si elevano di 2 - 5 m rispetto alla piana di esondazione (b in fig. 5.1). I corpi di canale ad essi associati (*Acquiferi sabbiosi di paleovalve*) sono costituiti da sabbie fini limose e sono generalmente profondi 5 - 7 m. Talora le direttrici fluviali oloceniche hanno seguito le depressioni della pianura che si sono formate in corrispondenza delle incisioni, colmandole con i loro depositi.

### *Schema idrostratigrafico del Sistema Idrogeologico Centrale*

Nel tratto di pianura compreso tra il fiume Brenta e il fiume Sile, dal limite provinciale settentrionale fino al margine lagunare, sono state riconosciute, e rappresentate nei profili, alcune prin-

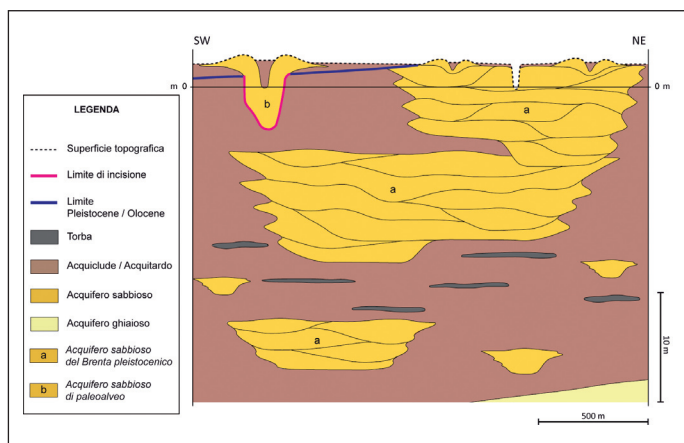


Fig. 5.2. Schema Idrostratigrafico del Sistema Idrogeologico Centrale.

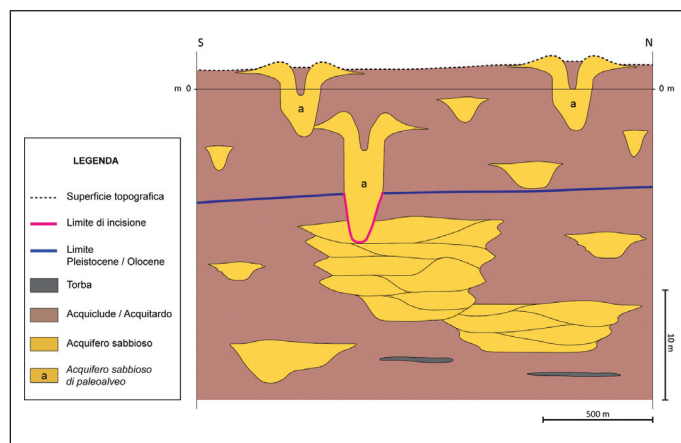


Fig. 5.3. Schema Idrostratigrafico del Sistema Idrogeologico Meridionale.

cipali strutture morfo-sedimentarie a granulometria grossolana. La forma in sezione dei corpi si adegua ai modelli di deposizione in canali fluviali di tipo *braided-wandering* riconosciuti in letteratura, in cui una serie di eventi di sedimentazione sabbiosa, in parte erosivi su depositi precedenti, si succede in una fascia relativamente ristretta della pianura alluvionale (a in fig. 5.2). Tali sedimenti si ritrovano nella parte più dinamica di una sezione fluviale; determinati da eventi deposizionali che si sommano impilandosi fino a formare strutture morfo-sedimentarie in prevalenza sabbiose. La sommità di queste strutture si trova così a quote complessivamente più elevate di qualche metro rispetto alla pianura circostante. La disattivazione della struttura avviene in genere per rotta fluviale e la deposizione di sedimenti più grossolani prosegue in un'altra fascia della pianura alluvionale, più o meno adiacente alla precedente.

Queste strutture sono state individuate convenzionalmente sulla base della presenza di una successione continua di sabbie e sabbie limose che forma singoli corpi sabbiosi di spessore maggiore di 5 m (*Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico*).

La granulometria è variabile tra limo sabbioso e sabbia medio-grossa, con una netta prevalenza delle sabbie fini e medio-fini, più o meno limose. I corpi sono interrotti lateralmente da tratti a prevalente deposizione fine e possono chiudersi piuttosto nettamente o mantenere una continuità laterale con spessori via via più modesti.

Infine, la sedimentazione tardo olocenica del Brenta ha sepolto modesti settori della pianura pleistocenica con la formazione di dossi fluviali sabbioso-limosi che si elevano di 2 - 5 m rispetto alla piana di esondazione (b in fig. 5.2). I corpi di canale ad essi associati (*Acquiferi sabbiosi di paleoalveo*) sono costituiti da sabbie fini limose e sono generalmente profondi fino a 5 m.

#### Schema idrostratigrafico del Sistema Idrogeologico Meridionale

La figura 5.3 riporta lo schema idrostratigrafico del sistema idrogeologico meridionale. Tale schema sintetizza la posizione e i rapporti reciproci tra i vari acquiferi.

Si individuano verticalmente due settori principali, separati dal limite Pleistocene-Olocene, che mostrano caratteristiche diverse dal punto di vista stratigrafico.

Il settore più superficiale, relativo ai depositi alluvionali di età olocenica, è caratterizzato dalla presenza di corpi sabbiosi di dimensioni modeste situati in corrispondenza di paleoalvei per lo

più isolati o scarsamente interconnessi, identificati con il nome di *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* (a in fig. 5.3).

Il settore situato più in profondità, relativo ai depositi alluvionali pleistocenici, è contraddistinto dalla presenza di sequenze a granulometria grossolana con spessori talora rilevanti. In questo caso, però, la scarsa disponibilità di dati non ha permesso una caratterizzazione dettagliata dei singoli corpi sabbiosi.

Sulla base di pochi dati puntuali, risultanti dall'analisi di sondaggi profondi isolati, si presume che la deposizione in quest'area, durante le fasi finali del Pleistocene, sia stata simile a quella riscontrata nel sistema centrale con la formazione, quindi, di corpi fluviali giustapposti tra loro che hanno dato luogo a sequenze sabbiose di notevole spessore (10-20 m).

#### Schema idrostratigrafico del Sistema Idrogeologico Costiero

Lungo tutto il settore costiero, dal Tagliamento all'Adige, è stato individuato un corpo sabbioso continuo, a geometria cuneiforme, di spessore e larghezza variabile da NE a SW.

Esso è stato identificato con il nome di *Acquifero sabbioso costiero olocenico* (a in fig. 5.4). Le sabbie sono affioranti presso la linea di costa mentre verso l'entroterra si trovano a una profondità sempre maggiore e il loro spessore diminuisce fino quasi ad annullarsi in corrispondenza della linea di massima ingressione marina olocenica. Il tetto dell'acquifero, quando non è affio-

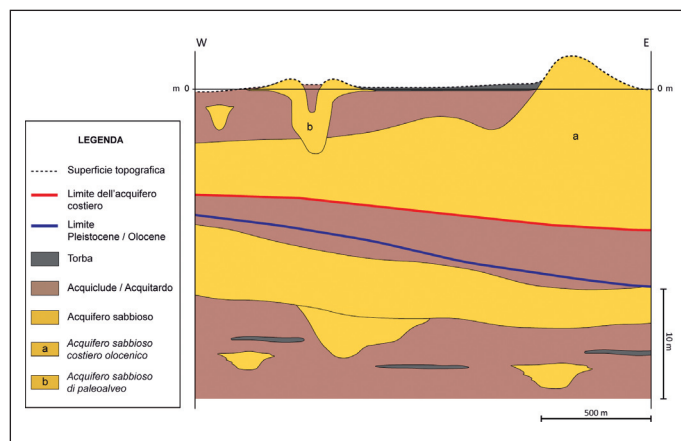


Fig. 5.4. Schema Idrostratigrafico del Sistema Idrogeologico Costiero.

rante, è costituito da depositi fini di origine lagunare/palustre e alluvionale.

I depositi alluvionali sono caratterizzati dalla presenza di corpi di canale a granulometria più grossolana, sabbiosi o limoso-sabbiosi, con dimensioni variabili identificati come *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* (b in fig. 5.4).

Il settore situato più in profondità, relativo ai depositi alluvionali pleistocenici, è contraddistinto dalla presenza di acquiferi sabbiosi di dimensioni apparentemente rilevanti. In questo caso, infatti, la scarsa disponibilità di dati non ha permesso una definizione dettagliata dei singoli corpi sabbiosi, che possono avere però spessori notevoli (talora maggiori di 10 m).

## 5.2. Sistemi idrogeologici

In base al modello idrostratigrafico descritto nel paragrafo 4.2 il territorio provinciale è stato ripartito in quattro sistemi idrogeologici: Nord-orientale, Centrale, Meridionale e Costiero.

I quattro sistemi sono rappresentati nella fig. 5.5, riportata anche nel riquadro a margine della Tavola 1 "*Sistemi idrogeologici - Acquiferi presenti fino a 30 m di profondità*".

In particolare

- il **Sistema Idrogeologico Nord-orientale**, rappresentato con colore viola, si estende dal Tagliamento al Sile, comprendendo anche una porzione settentrionale della Laguna di Venezia;
- il **Sistema Idrogeologico Centrale**, rappresentato con colore verde, si estende dal Sile al confine meridionale con la provincia di Padova e comprende gran parte della laguna di Venezia;
- il **Sistema Idrogeologico Meridionale**, rappresentato con colore marrone, interessa gran parte del comune di Cona e la parte occidentale di Cavarzere;
- il **Sistema Idrogeologico Costiero**, rappresentato con colore arancio, occupa tutta la fascia costiera comprendendo anche parte della laguna di Venezia.

I colori utilizzati per i quattro sistemi idrogeologici sono stati richiamati nell'ambito delle carte e nel testo al fine di contestualizzare le varie elaborazioni agli schemi idrostratigrafici di riferimento (paragrafo 5.1).

Come già detto nell'enunciazione dei limiti del lavoro, la complessità del sistema di acquiferi superficiali presenti nel sottosuolo veneziano si è tradotta nella difficoltà della sua rappresentazione in carta.

Individuata la geometria tridimensionale e la distribuzione spaziale dei vari acquiferi è stato necessario procedere ad una schematizzazione dei modelli idrogeologici e all'adozione di convenzioni per la loro rappresentazione planimetrica e per la costruzione della legenda: le quattro aree relative ai sistemi idrogeologici individuati potevano essere cinque o sei se si consideravano il sistema lagunare e quello palustre. Nell'economia dello studio tali aree si sono ritenute idrogeologicamente meno significative in ragione anche degli spessori e delle litologie e sono state accorpate ad altre. Analogamente la separazione tra il sistema idrogeologico dell'area meridionale e del sistema costiero è stata guidata dalla presenza o assenza dell'acquifero costiero olocenico, anche quando di spessore modesto e ad una certa profondità, in quanto ritenuto idrogeologicamente più significativo.

La Tav. 1 riporta come tematismo principale, alla scala 1:100.000, la distribuzione planimetrica dei principali acquiferi riconosciuti dall'analisi dei profili (paragrafo 4.1) fino a 30 m di profondità.

Nel **Sistema Idrogeologico Nord-orientale** sono stati rappresentati:

- *Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi del Piave e Tagliamento post-LGM* costituiti da depositi di riempimento delle incisioni fluviali, di spessore compreso tra 5 e 20 m e larghezza complessiva da 500 m a 3500 m. Si tratta di acquiferi in gran parte non affioranti: la profondità del tetto dei vari acquiferi viene rappresentata con fasce colorate in varie tonalità di viola in base ai diversi intervalli di profondità. Per tali acquiferi è stata chiaramente distinta con apposito retino la presenza di depositi di canale costituiti da ghiaie e sabbie ghiaiose, laddove riconosciuti. Infatti la presenza delle ghiaie è maggiormente diffusa nelle porzioni di monte di questi acquiferi, dove possono essere anche affioranti, mentre a valle predominano le sabbie. Questi corpi acquiferi sono caratterizzati da limiti laterali molto netti rispetto a quelli degli altri acquiferi presenti nel territorio provinciale, costituiti da pareti di erosione subverticale di decine di metri. Basta uno spostamento di pochi metri per avere due stratigrafie totalmente diverse: con ghiaie e sabbie all'interno dell'acquifero, e con terreni coesivi e praticamente impermeabili appena fuori dall'acquifero stesso. Questi acquiferi sono quindi decisamente isolati e non comunicanti tra loro in questa parte del territorio.
- *Acquiferi sabbioso-ghiaiosi di paleoalveo* in corrispondenza di corpi di canale superficiali, con spessore rilevante (generalmente superiore a 5 m) e larghezza significativa (generalmente da 50 a 150 m).
- *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* in corrispondenza di corpi di canale superficiali, con spessore rilevante (generalmente superiore a 5 m) e larghezza significativa (generalmente da 50 a 100 m).
- Aree con elevata probabilità di presenza di acquiferi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di paleoalveo, di argine e di rotta fluviale.
- Aree costituite da prevalenti sedimenti a granulometria fine, con presenza di corpi acquiferi sabbiosi di modesto spessore (2 - 3 m, raramente fino a 5 m), discontinui e caratterizzati da geometrie lentiformi. Si evidenzia che in aree a bassa densità di dati è possibile la presenza di corpi acquiferi significativi che vanno indagati nell'ambito di studi specifici a carattere locale.

Nel **Sistema Idrogeologico Centrale** sono stati rappresentati:

- *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico* in corrispondenza di corpi di canale interconnessi, di spessore complessivo tra 5 e 30 m e larghezza media di 2000 - 3000 m. Si tratta di acquiferi in gran parte non affioranti: la profondità del tetto dei vari acquiferi viene rappresentata con fasce colorate in varie tonalità di verde in base ai diversi intervalli di profondità. E' da notare che sono stati convenzionalmente rappresentati solo i corpi sabbiosi più spessi di 5 m, come indicato nel paragrafo 5.1 dove vengono anche ampiamente illustrate le motivazioni. Così facendo non si trovano riportati in carta alcuni acquiferi di minor spessore, alcuni dei quali con modesta significatività, ma anche altri di una certa importanza (ad esempio l'acquifero a doppia falda dell'area della Penisola della Chimica di Porto Marghera). Essi sono comunque evidenti dall'esame delle sezioni geologiche riportate nelle tavole e nelle figure del testo.

- *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* in corrispondenza di corpi di canale superficiali, con spessore rilevante (generalmente superiore a 5 m) e larghezza significativa (generalmente da 50 a 150 m).
- Aree con elevata probabilità di presenza di acquiferi sabbiosi di paleoalveo, di argine e di rotta fluviale.
- Aree costituite da prevalenti sedimenti a granulometria fine, localmente con corpi acquiferi sabbiosi di modesto spessore (2 - 4 m, raramente fino a 5 m), discontinui e caratterizzati da geometrie lentiformi. Si evidenzia che in aree a bassa densità di dati è possibile la presenza di corpi acquiferi significativi che vanno indagati nell'ambito di studi specifici a carattere locale.

Nel **Sistema Idrogeologico Meridionale** sono stati rappresentati:

- *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* in corrispondenza di corpi di canale superficiali, con spessore rilevante (generalmente superiore a 5 m) e larghezza significativa (generalmente da 100 a 200 m).
- Aree con elevata probabilità di presenza di acquiferi sabbiosi di paleoalveo, di argine e di rotta fluviale.
- Aree costituite in superficie da prevalenti sedimenti a granulometria fine, con presenza di corpi acquiferi sabbiosi di modesto spessore (2 - 3 m, raramente fino a 5 m), discontinui e caratterizzati da geometrie lentiformi. A partire da 7 a 10 m dal piano campagna, sono presenti acquiferi sabbiosi individuati in corrispondenza di corpi di canale con spessore dell'ordine di una decina di metri.

Nel **Sistema Idrogeologico Costiero** sono stati rappresentati:

- *Acquifero sabbioso costiero olocenico* costituito da depositi litoranei, a geometria cuneiforme e spessore fino a 16 m in corrispondenza della costa. L'acquifero affiora principalmente nella sua porzione orientale, più vicino alla costa: la posizione verticale, ed in particolare la profondità del tetto dell'acquifero stesso, viene rappresentata con fasce colorate in varie tonalità di arancio (dal rosso - affiorante - al giallo), in base ai diversi intervalli di profondità.
- *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* in corrispondenza di corpi di canale superficiali, con spessore rilevante (generalmente superiore a 5 m) e larghezza significativa (generalmente da 100 a 200 m). Il profilo geologico F-F' della tavola 2c mostra che talora le sabbie che costituiscono questi acquiferi sono in diretto contatto con quelle dell'acquifero costiero sottostante.
- Aree con elevata probabilità di presenza di acquiferi sabbiosi di paleoalveo, di argine e di rotta fluviale.

Si evidenzia che, per quanto riguarda gli acquiferi di paleoalveo, presenti con caratteristiche geometriche e granulometriche diverse nei vari sistemi idrogeologici, sono rappresentati solo i paleoalvei direttamente indagati in questo studio. Nel riquadro a margine della Tavola 1 "Tracce di corsi fluviali abbandonati" viene rappresentata la reale diffusione ed estensione dei paleoalvei nel territorio provinciale, riconosciuti principalmente da fotointerpretazione.

Si richiama l'attenzione sul fatto che essi possono potenzialmente essere sede di analoghi acquiferi, in quest'ambito non indagati per ragioni di poca disponibilità di dati in relazione alla scala dello studio. Per questo, per tutti i sistemi idrogeologici, sono state riportate le aree con elevata probabilità di presenza di acquiferi sabbiosi di paleoalveo, di argine e di rotta fluviale,

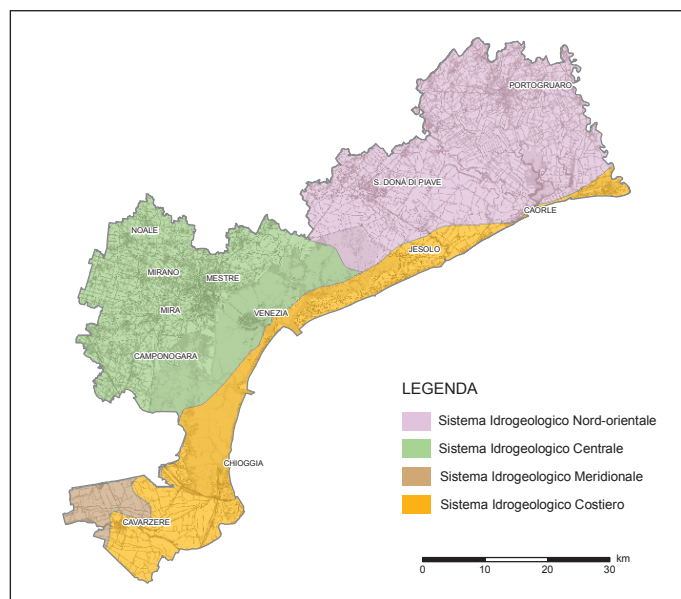


Fig. 5.5. Suddivisione del territorio provinciale in quattro sistemi idrogeologici.

così da richiamare l'attenzione sul fatto che è necessario un approfondimento di carattere locale quando si affronta l'analisi di queste porzioni di territorio.

Nel seguito vengono illustrate le caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi individuati fino a 30 m di profondità e rappresentati nella Tavola 1, con riferimento al sistema idrogeologico di appartenenza in relazione all'assetto deposizionale e idrostratigrafico del sottosuolo in cui si trovano inseriti.

### 5.3 Tetto e spessore degli acquiferi

Nella Tavola 3 vengono riportate delle mappe che rappresentano:

- quota del tetto (m slm) e spessore (m) delle sabbie litorali appartenenti all'*Acquifero sabbioso costiero olocenico* del Sistema Idrogeologico Costiero;
- quota del tetto (m slm) degli *Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi* che si trovano in corrispondenza delle incisioni fluviali del Tagliamento appartenenti al Sistema Idrogeologico Nord-orientale;
- quota del tetto (m slm) degli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico* del Sistema Idrogeologico Centrale;

Nella Tavola 1 inoltre sono riportate anche:

- profondità del tetto (m dal piano campagna) delle sabbie litorali appartenenti all'*Acquifero sabbioso costiero olocenico* del Sistema Idrogeologico Costiero;
- profondità del tetto (m dal piano campagna) degli *Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi* che si trovano in corrispondenza delle incisioni fluviali del Tagliamento appartenenti al Sistema Idrogeologico Nord-orientale;
- profondità del tetto (m dal piano campagna) degli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico* del Sistema Idrogeologico Centrale;

Per la realizzazione di queste mappe è stato necessario individuare all'interno della banca dati geologico-stratigrafica:

- i punti di indagine ricadenti nelle aree studiate;

- il tetto dell'intervallo sabbioso o ghiaioso-sabbioso che delimita l'acquifero per ogni punto d'indagine; dove la profondità delle indagine lo consentiva (*Acquifero costiero*) è stato individuato anche il letto.

In particolare sono state individuate:

- le stratigrafie ubicate nel Sistema Idrogeologico Costiero in cui sono presenti livelli di sabbia litorale;
- le stratigrafie ubicate in corrispondenza della parte settentrionale delle incisioni fluviali del Tagliamento (solo in quest'area sono in numero sufficiente per poter realizzare questo tipo di mappe);
- le penetrometrie e parte delle stratigrafie ubicate nel Sistema Idrogeologico Centrale (in questo caso è stato considerato un campione delle migliaia di stratigrafie disponibili).

Per ogni punto di indagine selezionato è stato determinato il tetto dell'acquifero, sia come quota (m slm), sia come profondità dal piano campagna e, solo per le sabbie litorali, anche lo spessore (m).

Nella tabella 5.1 viene riportato il numero di punti di indagine utilizzati per la realizzazione di queste mappe.

Tabella 5.1. Numero di punti di indagine utilizzati

Tipologia di mappa	Tipo di informazione	N. di punti d'indagine
Acquifero sabbioso costiero	Quota del tetto (m slm) e profondità del tetto (m da p.c.)	395
	Spessore (m)	360
Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi del Sistema Idrogeologico Nord-orientale	Quota del tetto (m slm) e profondità del tetto (m da p.c.)	138
Acquiferi sabbiosi del Sistema Idrogeologico Centrale	Quota del tetto (m slm) e profondità del tetto (m da p.c.)	237

Interpolazione dei dati puntuali

Per rappresentare i livelli puntuali con delle superfici continue è stato necessario dapprima creare una maglia fitta e regolare di celle e poi, sempre attraverso l'utilizzo di tecniche di interpolazione spaziale, prevedere i valori di ogni nodo della griglia a partire dai dati puntuali distribuiti in modo irregolare sul territorio (punti di indagine).

Ad eccezione della mappa della profondità del tetto (m dal piano campagna) degli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico*, riportata nella Tavola 1, per la quale è stato utilizzato il kriging ordinario secondo la metodologia descritta nel paragrafo 4.2, il metodo di interpolazione utilizzato per la realizzazione di queste mappe è stato un kriging di tipo universale.

L'utilizzo del kriging universale si è reso necessario per il fatto che in questi dati è presente una variazione regolare nello spazio della variabile studiata, ossia un trend.

In questo caso per studiare la correlazione spaziale della variabile analizzata è necessario filtrare i valori dal loro trend (in questo caso lineare) che è dipendente dalla posizione dei campioni.

L'utilizzo del kriging universale permette di modellizzare il trend con una funzione matematica (in questo caso una retta) e di procedere a un'analisi variografica sul dato detrendizzato (residuo).

Il procedimento di interpolazione è consistito quindi di tre fasi:

- individuazione di un trend;
- analisi della correlazione spaziale presente nella variabile oggetto di studio attraverso l'analisi variografica sul residuo (valore detrendizzato);
- utilizzo dei risultati dello studio del variogramma teorico per la previsione del kriging sui residui, ai quali viene aggiunto il trend in un secondo momento.

L'individuazione del trend è stato possibile attraverso:

- grafici a dispersione;
- mappe a classi di valori;
- variogramma sperimentale.

Nelle figure 5.6 e 5.7 vengono rappresentati i grafici a dispersione del valore della quota del tetto dell'acquifero costiero (settor SW) e la retta di regressione (linea continua), rispettivamente lungo la direzione W-E e S-N.

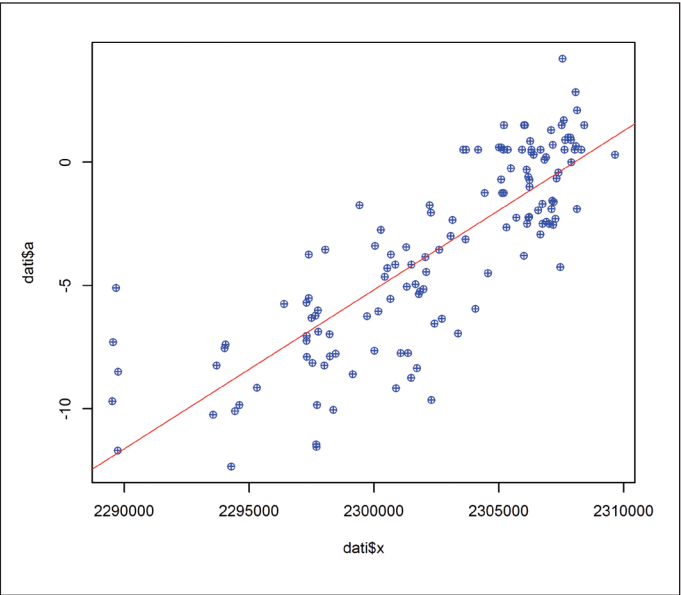


Fig. 5.6. Grafico a dispersione lungo la direzione W-E (x) della quota del tetto dell'acquifero costiero (settor SW) con la rispettiva retta di regressione.

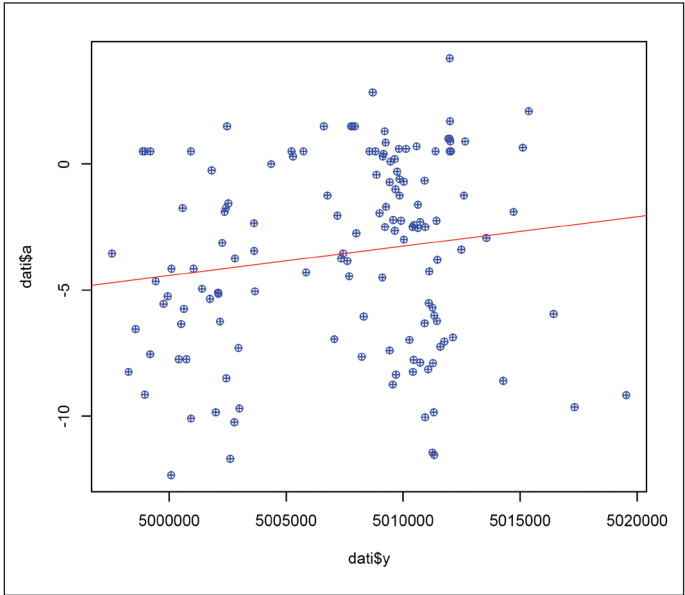


Fig. 5.7. Grafico a dispersione lungo la direzione S-N (y) della quota del tetto dell'acquifero costiero (settor SW) con la rispettiva retta di regressione.

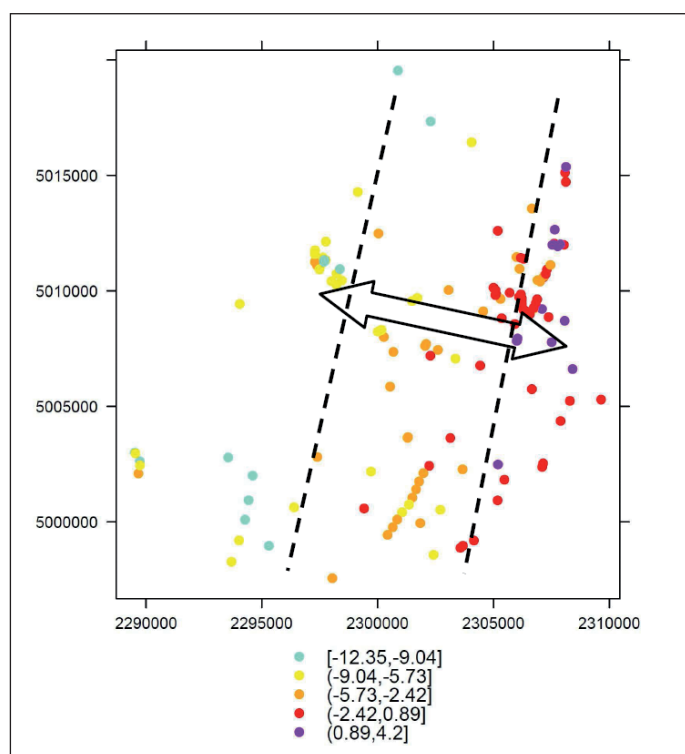


Fig. 5.8. Mappa a classe di valori della quota del tetto dell'acquifero costiero (settore SW) con evidenziata la direzione del trend.

Evidente risulta la correlazione positiva (presenza di trend) tra il valore e la direzione W-E.

Anche attraverso la realizzazione di una mappa a classe di valori si può visualizzare la direzione del trend (fig. 5.8)

L'analisi del variogramma sperimentale mi indica ancora una volta la presenza di un trend (figg. 5.9 - 5.10) lungo la direzione W-E.

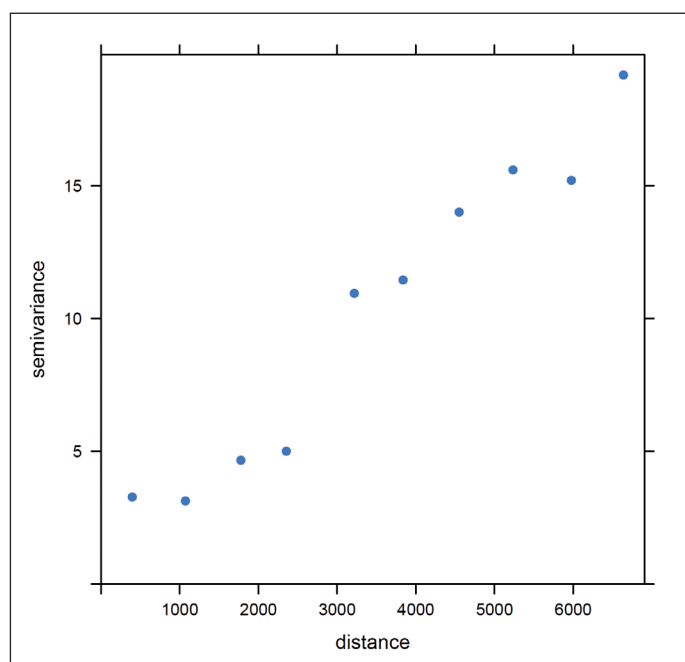


Fig. 5.9. Variogramma sperimentale direzionale (ovest-est) in cui l'andamento parabolico indica la presenza di un trend (quota del tetto dell'acquifero costiero - settore SW).

Una volta individuata la presenza e la direzione di un trend si è proceduto con l'analisi variografica sui residui.

Infine è stata effettuata la previsione dei dati puntuali sulla griglia spaziale attraverso il kriging universale e considerando un trend lineare di 1° ordine.

### *Guida alla lettura e analisi dei risultati della Tavola 1 e della Tavola 3*

I risultati ottenuti dall'interpolazione dei dati puntuali sono stati rappresentati nella Tavola 1 e nella Tavola 3.

Nella Tavola 1 viene rappresentata la profondità in metri dal piano campagna del tetto degli acquiferi attraverso delle fasce colorate; sono state utilizzate scale cromatiche diverse a seconda del Sistema Idrogeologico in cui ricade l'acquifero descritto. Viene riportata una prima fascia di 1 m di profondità (0-1), che rappresenta la parte di acquifero affiorante, seguita da fasce di 2 m di profondità ciascuna.

Nel Sistema Idrogeologico Centrale, non essendoci acquiferi affioranti, la prima fascia (0-1) non è presente.

Nella Tavola 3 viene rappresentata la quota del tetto degli acquiferi in m s.l.m. Nel caso dell'acquifero costiero viene riportato anche lo spessore.

Viene utilizzata una scala cromatica per il tetto e una per lo spessore, entrambe a tonalità graduale di colore, con associate le isolinee a spaziatura metrica.

Anche in questa tavola, al fine di poterne valutare l'attendibilità in ogni sua parte, ad ogni mappa è sempre associato un riquadro dove vengono riportate le ubicazioni delle indagini geologico-stratigrafiche utilizzate.

I punti di indagine utilizzati per la realizzazione delle mappe della quota del tetto in m s.l.m. sono gli stessi utilizzati per la realizzazione delle profondità del tetto in m degli acquiferi di Tavola 1, per cui in quest'ultima tavola, le ubicazioni delle indagini geologico stratigrafiche utilizzate non sono state riportate.

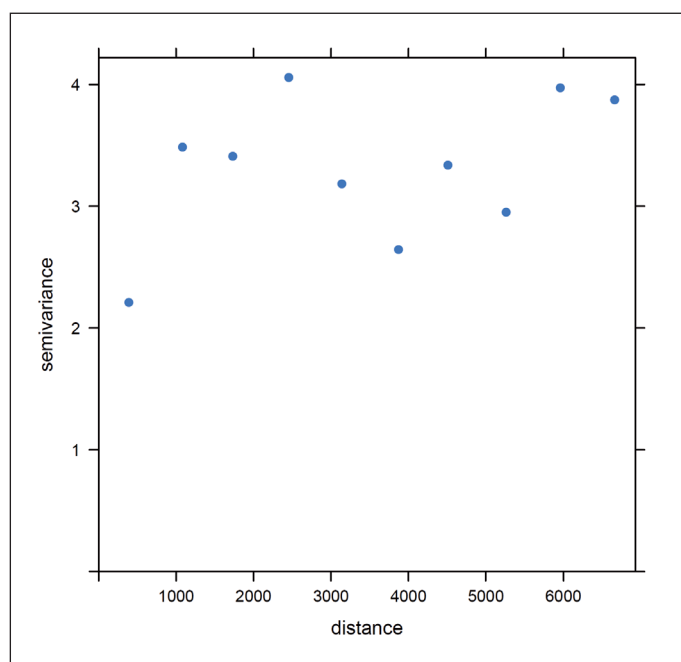


Fig. 5.10. Variogramma sperimentale direzionale (sud-nord) in cui non viene evidenziata la presenza di un trend (quota del tetto dell'acquifero costiero - settore SW).

Per quanto riguarda l'*Acquifero sabbioso costiero*, viene evidenziata un'area affiorante lungo quasi tutta la costa con estensione variabile e massimo spessore (tra i 14 e i 16 m) che tende ad approfondirsi e ad assottigliarsi verso l'entroterra.

Per quanto riguarda gli *Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi del Tagliamento*, si evidenzia un approfondimento del tetto degli acquiferi da nord, dove risultano anche affioranti, a sud dove possono arrivare oltre 17 m di profondità dal piano campagna come si può vedere in Tavola 1.

Nella Tavola 1 infatti viene riportata anche la profondità del tetto degli *Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi del Tagliamento* nel tratto di incisione che da Lugugnana arriva a Valle Vecchia; è da sotto-

lineare però che questo tratto è stato tracciato attraverso pochi punti di indagine.

Relativamente agli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico* è evidente la presenza di una deposizione lungo la direttrice nordovest-sudest, messa in evidenza dal trend riscontrato nell'elaborazione delle quote del tetto in m s.l.m., probabilmente correlato alla topografia.

Tale trend non viene evidenziato nella mappa della profondità del tetto dal piano campagna in quanto in questo caso, lungo la direzione nordovest-sudest, la profondità del tetto dal piano campagna rimane piuttosto costante.



## 6.1. Inquadramento geologico

Il settore nord-orientale della provincia di Venezia compreso fra il Tagliamento e il Sile, a esclusione di una sottile fascia costiera, è costituito entro i primi 30 m di profondità da depositi alluvionali, palustri e lagunari.

I depositi alluvionali appartengono ai sistemi formati dai megafan del Tagliamento (Fontana, 2006; Fontana *et al.*, 2008) e del Piave (Bondesan *et al.*, 2004); dalle diramazioni di quest'ultimo verso nordest, che si uniscono alle correnti sedimentarie recenti del fiume Livenza, e quelle verso sudovest, a cui si sovrappongono i depositi del fiume Sile; e, infine, dalle deposizioni recenti dei fiumi di risorgiva.

I sedimenti palustri e lagunari si sono depositi negli ambienti palustri d'acqua dolce e salmastra presenti fino agli inizi del 1900 lungo la fascia interna a ridosso della costa veneziana.

Lo studio che la Provincia di Venezia ha svolto in collaborazione con il Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova, edito nel 2008 con il titolo *"Le unità geologiche della provincia di Venezia"* (Bondesan *et al.*, 2008), distingue tali depositi in base al bacino fluviale di alimentazione e al sistema geolitologico di pertinenza. Sono quindi individuate unità geologiche di valore cronostratigrafico che corrispondono a macroaree omogenee dal punto di vista geologico sia per provenienza dei sedimenti sia per tipologia dei processi genetici.

Queste suddivisioni sono state la base su cui procedere per limitare, durante il corso del presente studio, gli ambiti di definizione dei sistemi idrogeologici e dei relativi acquiferi.

Nella *"Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia"*, i depositi alluvionali pertinenti all'area nord-orientale sono attribuiti all'unità di Lison del megafan del Tagliamento e all'unità di Meolo del megafan del Piave, attivi nel Pleistocene superiore e affioranti al margine settentrionale del territorio, verso il confine con la provincia di Treviso e la regione Friuli-Venezia Giulia. Sull'unità di Lison giacciono le unità pleistoceniche di Torresella, quelle post-LGM di Cinto Caomaggiore e quelle oloceniche di Alvisopoli, Lugugnana, Concordia e Latisana. Sull'unità di Meolo giacciono le unità oloceniche di Grassaga, Losson, Cittanova, Piavon, Portegradi e Torre di Mosto.

Le sequenze di depositi di origine alluvionale sono caratterizzate da un'estrema variabilità litologica sia in senso orizzontale che verticale.

Nel settore di bassa pianura pertinente al megafan del Tagliamento e del Piave, la superficie riferibile al LGM è caratterizzata dalla presenza di blandi dossi separati da estese piane di esondazione argilloso-limose. I corpi di canale sono formati da sabbie fini e medie, talora limose; hanno mediamente spessori di 2-3 m e talvolta possono raggiungere i 5 m. L'estensione laterale dei corpi è limitata ed essi sono scarsamente interconnessi tra loro, separati dai sedimenti argilloso-limosi della piana di esondazione. Raramente i corpi di canale sono coalescenti fino a produrre sequenze di litologie permeabili spesse anche 10-12

m; sulla base dei dati disponibili, solo all'interno dei depositi del Piave alcuni sondaggi riportano sequenze maggiori.

Durante la fase finale del LGM (definita anche "periodo cataglaciale") si verificò un processo di terrazzamento nell'alta pianura friulana che ebbe come conseguenza il trasporto a valle di materiale grossolano all'interno di stretti canali incisi sulla pianura (Fontana, 2008). Durante la fase di ritiro del ghiacciaio, nel settore di bassa pianura, il Tagliamento ha formato dossi fluviali caratterizzati dalla presenza di canali ghiaioso-sabbiosi riconoscibili fino all'attuale frangia lagunare. Nella carta delle unità geologiche della provincia di Venezia questi depositi corrispondono all'unità di Torresella. Gli alvei, con andamento a larghi meandri poco sinuosi (di tipo wandering), sono larghi mediamente 60-100 m e sono riempiti totalmente da ghiaie o sabbie ghiaiose con spessore di circa 3-4 m fino a massimi di 5 m.

A partire dal Tardoglaciale fino all'Olocene medio, la marcata tendenza erosiva evidenziata dai fiumi alpini ha avuto come conseguenza la formazione di incisioni profonde tra 5 e 25 m rispetto alla superficie della pianura LGM. Questo processo erosivo è stato particolarmente evidente nel settore distale del megafan del Tagliamento dove sono state riconosciute alcune incisioni molto ampie e profonde (Fontana, 2004; 2006). La riattivazione di queste morfologie durante periodi successivi ha causato l'aggradazione interna delle incisioni e il loro conseguente riempimento fino alla quasi totale scomparsa dell'originale topografia. Solo nei casi in cui è avvenuta una precoce disattivazione dell'incisione e il riutilizzo di quest'ultima da parte dei fiumi di risorgiva, è riconoscibile in superficie una morfologia depressa come, ad esempio, nel caso delle bassure del Reghena e del Lemene. I sedimenti depositi dai canali fluviali tardoglaciali alla base delle incisioni sono costituiti principalmente da ghiaie e sabbie ghiaiose; le ghiaie sono rappresentate da clasti sub-arrotondati, con un diametro medio di 2-3 cm. Nella carta delle unità geologiche della provincia di Venezia questi depositi corrispondono all'unità di Cinto Caomaggiore.

La superficie della pianura formata durante il LGM è caratterizzata da un suolo che presenta caratteristiche relativamente omogenee in tutto il territorio provinciale (Fontana, 2008). Nelle aree più rilevate e meglio drenate, come ad esempio presso gli argini naturali sabbiosi, il suolo presenta evidenti fenomeni di rubefazione contraddistinti dai tipici colori marrone-giallastri. Nelle zone dove la superficie è meno elevata e i sedimenti sono progressivamente più fini, la presenza della falda e la minore permeabilità dei depositi hanno formato estesi orizzonti ricchi di concrezioni carbonatiche. Nel sottosuolo della laguna di Venezia questi orizzonti sovraconsolidati sono noti con il nome di "caranto" (Gatto & Previatello, 1974; Mozzi *et al.*, 2003).

A seguito della massima ingressione marina, avvenuta in quest'area circa 7500-6000 anni fa, lungo la costa veneziana e friulana si formarono le prime lagune. In tutto il settore compreso tra Tagliamento e Piave sono presenti sedimenti lagunari che ricoprono la pianura pleistocenica. Questi depositi (corri-

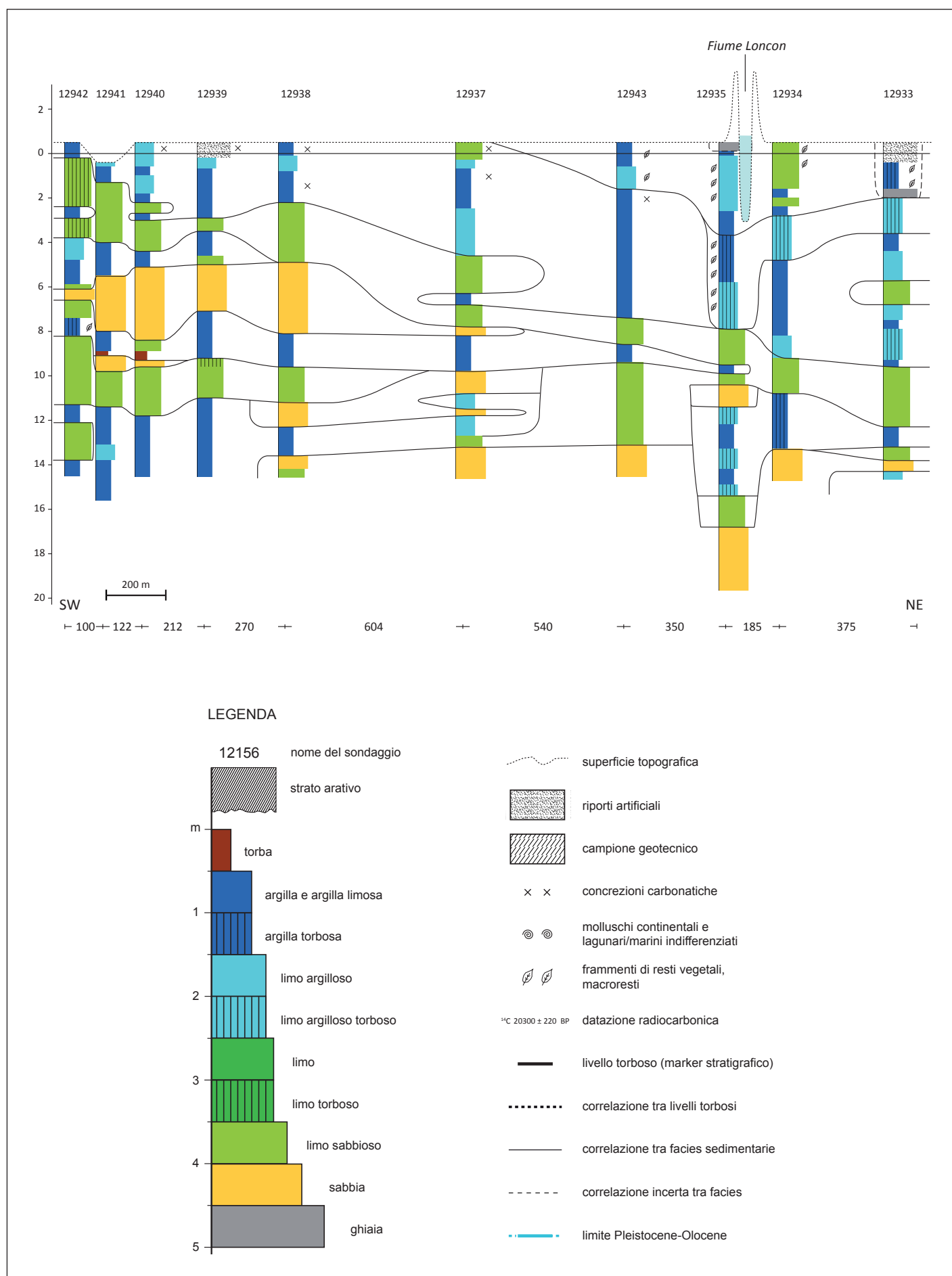


Fig. 6.1. Transetto "Idrovora Lison" rappresentativo dell'unità di Lison (tratto da Bondesan *et al.*, 2008).

spendenti all'unità di Caorle) hanno spessore massimo in corrispondenza della costa (fino a 10-12 m) e si chiudono a cuneo verso monte.

I sedimenti lagunari sono costituiti da limi argillosi, argille e limi sabbiosi; sovente organici a causa dell'alta percentuale di resti vegetali (frammenti di canna palustre) o torbosi, talora con resti di molluschi. Le opere di bonifica intraprese dagli inizi del 1900, abbassando la falda, hanno messo questi sedimenti a contatto con l'aria, avviando un processo di decomposizione aerobica che ha ridotto la massa generando un fenomeno di subsidenza a volte anche marcata.

Nell'area nord-orientale, la risalita marina e la conseguente espansione dei sistemi lagunari sono state guidate dalla morfologia della pianura preesistente (Fontana, 2008). In particolare, le acque salmastre si sono incuneate lungo le incisioni del Tagliamento permettendo così alla laguna di lambire zone molto arretrate rispetto alle aree circostanti. Ad esempio, lungo l'incisione ora occupata dal Lemene, la laguna arrivò fino all'altezza di Portogruaro.

È possibile che questo sia avvenuto anche in altri settori del territorio provinciale, ma i dati finora raccolti non hanno permesso il riconoscimento di situazioni simili a quelle del portogruarese. Dopo la fase di incisione fluviale, durante il post-LGM i fiumi alpini sono stati caratterizzati da una scarsa capacità sedimentaria. Solo verso 3000-4000 anni fa, in quest'area c'è stata un'inversione di tendenza con la ripresa della sedimentazione e la conseguente aggradazione della pianura tardo olocenica. I dossi fluviali che si sono formati durante gli ultimi millenni sono molti diversi rispetto a quelli del LGM, per dimensioni e caratteristiche geometriche.

I dossi più recenti sono alti fino a 2-5 m rispetto alla piana di esondazione ed hanno una larghezza compresa tra 500 e 2000 m; i corpi di canale possono essere profondi fino a 5-7 m. Talora la sedimentazione tardo olocenica dei fiumi ha interessato le incisioni precedentemente abbandonate, come nel caso del Tagliamento dell'unità di Concordia, di Lugugnana e del suo corso attuale.

Nella figura 6.1 è riprodotto un profilo geologico tracciato nei pressi dell'Idrovora Lison in comune di S. Stino di Livenza, dove sono rappresentate le facies più significative dell'unità di Lison, cioè dei depositi che costituiscono la pianura pleistocenica. In particolare, si osserva la presenza dominante di sedimenti limosi e argillosi e quella secondaria di sabbie fini, strutturata in corpi sparsi di spessore limitato, con scarse interconnessioni. Gli orizzonti torbosi o limoso organici sono concentrati in corrispondenza del corso attuale del fiume Loncon e rappresentano, invece, i sedimenti peculiari dell'unità di Loncon, di origine palustre.

Nella figura 6.2 è riprodotto un profilo geologico tracciato a est di Concordia Sagittaria dove sono riconoscibili i riempimenti della valle fossile sepolta, formata da un ramo del Tagliamento tra il Tardoglaciale e l'inizio dell'Olocene. I depositi sono costituiti da ghiaie e sabbie ghiaiose basali (unità di Cinto Caomaggiore), cui si sovrappongono torbe palustri legate all'abbandono della valle e all'instaurazione di un ambiente di palude d'acqua dolce, a loro volta sepolte da depositi lagunari fino a 4-5 m di profondità (unità di Caorle).

Al di sopra di questi sedimenti ci sono sabbie e limi sabbiosi di argine naturale e di ventaglio di rotta, che hanno uno spessore di 3-4 m, e limi e limi argillosi di piana d'esondazione, con frammenti vegetali e di gasteropodi continentali, che hanno portato al totale riempimento dell'incisione preesistente e alluvionato anche la pianura pleistocenica prossima ad essa (unità di Concordia).

Nella figura 6.3 è riprodotto un profilo geologico tracciato perpendicolarmente al corso attuale del Piave, a sud di S. Donà e Musile di Piave dove sono rappresentati i depositi superficiali corrispondenti agli odierni dossi del Piave di Cortellazzo e del canale Taglio del Re, debolmente sviluppati (1-2 m) dopo che, durante il XVI e il XVII secolo, furono trasformati in nuovi percorsi del Piave. I nuovi alvei, con i relativi rilevati arginali, furono creati ex novo, tagliando la piana paludosa che si estendeva a valle di S. Donà, come si evince dalle torbe e dai depositi fini. Le sequenze sedimentarie mostrano anche l'unità di Caorle e la sottostante unità di Meolo, quest'ultima caratterizzata dalla presenza di corpi di canale sabbiosi. In particolare, quello presente verso nord tra i -14 e i -26 m è costituito probabilmente dalla sovrapposizione di più corpi fluviali diversi ai cui lati si sono sviluppate sequenze di piana alluvionale a tessitura prevalentemente fine.

I sottili livelli torbosi sono parte di orizzonti correlabili data la loro notevole estensione laterale.

## 6.2. Caratterizzazione idrostratigrafica

Attraverso l'analisi dei profili idrostratigrafici descritti nel paragrafo 4.1 si è potuto giungere a una rappresentazione cartografica schematica delle principali strutture del Sistema Idrogeologico Nord-orientale, distinguendo i corpi acquiferi più importanti o le aree con maggiore probabilità di presenza di acquiferi potenziali (vedi Tavola 1). Tra i corpi acquiferi principali si riconoscono i depositi di riempimento delle incisioni fluviali e i corpi di canale superficiali sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi.

I depositi di riempimento delle incisioni fluviali presenti nei sistemi del Piave e del Tagliamento costituiscono, almeno nelle parti a granulometria più grossolana, gli *Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi del Piave e del Tagliamento post-LGM*.

I depositi di riempimento consistono in ghiaie basali che segnano il primo evento sedimentario dopo la fase erosiva. In genere, alle ghiaie si sovrappongono sabbie e limi, talora organici, che chiudono la fase attiva dell'aggradazione.

Si riconoscono incisioni fluviali provenienti dal territorio friulano e trevigiano che interessano l'area del portogruarese e del sandonatese (fig. 6.4).

Nell'area nord-orientale del territorio provinciale sono state individuate tre incisioni sepolte aventi direzione circa N-S, la più orientale delle quali segue il corso attuale del Tagliamento.

Spostandosi verso ovest si incontra la seconda incisione: si tratta in realtà di due rami distinti (uno proveniente da Morsano (PN) e l'altro da Teglio Veneto) che confluiscono in corrispondenza di Fossalta di Portogruaro. Più a valle, l'incisione attraversa la parte orientale del comune di Portogruaro, la località Lugugnana fino a giungere in prossimità di Valle Vecchia.

Affiancata verso ovest e parallela alla precedente, c'è un'altra incisione sepolta la cui traccia è seguita dal percorso attuale dei fiumi Lemene e Reghena a causa della bassura che in certi tratti ancora l'accompagna e sottolineata da un sistema di scarpate fluviali. L'incisione attraversa quindi Portogruaro e Concordia Sagittaria dove spicca il lembo della pianura fluvioglaciale risparmiato dall'erosione e su cui sorge parte della città archeologica e storica. L'incisione prosegue verso sud sepolta dal Sistema Idrogeologico Costiero a sud di Caorle.

Un altro sistema di incisioni sepolte di probabile direzione NW-SE, dello stesso genere di quelle presenti nel portogruarese, esiste anche lungo il corso attuale del fiume Livenza, rilevata da sondaggi a S. Stino di Livenza e in corrispondenza del tracciato

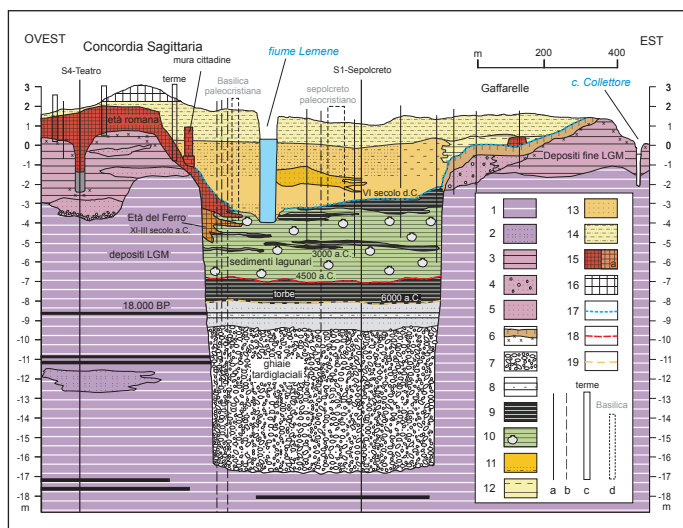


Fig. 6.2. Sezione dell'incisione sepolta posta a est di Concordia Sagittaria. Legenda: a) sondaggi; b) proiezione di sondaggi poco distanti dalla traccia della sezione; c) scavi archeologici editi, presenti lungo la sezione; d) proiezione di scavi archeologici; 1 ) piana pleniglaciale limoso-argillosa; 2 ) canale pleniglaciale sabbioso; 3) piana cataglaciale limoso-argillosa; 4) canale cataglaciale sabbioso-ghiaioso (diam. max 1 -2 cm); 5) canale cataglaciale sabbioso; 6) suolo sepolto della superficie LGM con abbondanti concrezioni; 7) ghiaie medie (2-5 cm) tardoglaciale o dell'Olocene iniziale trasportate dal Tagliamento che formò la valle (unità di Cinto Caomaggiore); 8) sabbie e limi dell'Olocene iniziale; 9) torbe e depositi organici ricchi di frammenti vegetali; 10) sedimenti lagunari e palustri (limi argillosi e limi con frammenti di molluschi lagunari e frammenti vegetali); 11) depositi di rottura e canale fortemente idromorfi (limi sabbiosi e sabbie fini); 12) depositi di tracimazione (limi e limi argillosi con frammenti vegetali e di gasteropodi continentali); 13) depositi di canale (sabbie medie disposte in stratificazione incrociata e parallela); 14) depositi di dosso (sabbie limose e sabbie); 15) depositi antropici legati alla frequentazione romana; 15a) preromani; 16) depositi antropici moderni e attuali; 17) discontinuità tra i depositi lagunari-fluviali e quelli del Tagliamento del VI secolo d.C.; 18) discontinuità tra i depositi torbosi e lagunari olocenici; 19) discontinuità tra i depositi fluviali del Tagliamento che incise la valle e il riempimento fluvio-lagunare olocenico (tratto da Fontana, 2006).

autostradale. Tale sistema, in cui la larghezza media dei rami è circa 400 m, potrebbe riunirsi al di sotto dell'alveo attuale del Livenza all'altezza di Torre di Mosto e confluire verso la costa nella valle sepolta del Lemene.

Infine, la presenza di incisioni è documentata da sondaggi nel sandonatese, in un tratto studiato in territorio dei comuni di Meolo e Fossalta di Piave. A valle, il rilevamento delle incisioni diventa troppo incerto: una valle sepolta è stata riconosciuta a sud di S. Donà e in località Cortellazzo.

Gli *Acquiferi sabbioso-ghiaiosi e sabbiosi di paleoalveo* sono presenti in corrispondenza di corpi di canale superficiali. Tali corpi si trovano sparsi nel sistema nord-orientale e rappresentano esempi indagati in dettaglio di un assetto geologico più diffuso, condiviso anche da altri corpi sedimentari simili in lembi del territorio poveri di informazioni. La loro genesi è legata ad attivazioni di breve durata di rami dei corsi d'acqua principali staccatisi per avulsione dall'alveo attivo, a cui possono succedere fasi di abbandono o di canale residuale, con eventuali depositi fini e organici.

Tali acquiferi sono stati rilevati in: paleoalvei ghiaioso-sabbiosi di tipo wandering situati in corrispondenza della località Torresella, in comune di Concordia Sagittaria, nei quali la morfologia del

contesto è di dosso fluviale; paleoalvei ghiaioso-sabbiosi di tipo meandriforme situati nella zona di Teglio Veneto e della località Alvisopoli; paleoalvei sabbiosi di tipo meandriforme situati in sinistra e destra Livenza all'altezza, rispettivamente, di Torre di Mosto e della località S. Giorgio di Livenza in comune di Caorle, nei quali la morfologia del contesto è di dosso fluviale; paleoalvei sabbiosi di tipo meandriforme situati nell'area sandonatese in sinistra Piave in località Grassaga, Cittanova, Stretti e in destra Piave nelle località Caposile, al margine della laguna di Venezia, e Losson della Battaglia, verso il confine con la provincia di Treviso.

Le aree di dosso fluviale sono, in genere, aree con un'elevata probabilità di presentare acquiferi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di paleoalveo, argine e rotta fluviale in quanto questi ambienti sono i più favorevoli alla deposizione di sedimentazione grossolana perché collegati alle attività più dinamiche dei corsi d'acqua. I dossi fluviali sono elevati mediamente da 2 a 5 m rispetto alla piana d'esondazione che è formata quasi esclusivamente da sedimenti fini. Nelle aree più elevate, la deposizione raggiunge uno spessore massimo di 4-6 m poiché il fondo dei canali è di tipo erosivo sulle precedenti sedimentazioni. La bassa densità di sondaggi non permette di raggiungere il medesimo dettaglio di altre aree.

#### 6.2.1. Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi del Piave e del Tagliamento post-LGM

I depositi di riempimento delle incisioni fluviali presenti nei sistemi del Piave e Tagliamento sono stati riconosciuti, almeno nelle parti a granulometria più grossolana, come acquiferi ghiaiosi e sabbiosi. Si elencano di seguito le principali peculiarità delle incisioni riconosciute all'interno del Sistema Idrogeologico Nord-orientale (fig. 6.5).

**Incisione lungo il corso attuale del fiume Tagliamento:** al di sotto dei depositi alluvionali della direttrice attuale del fiume sono presenti ghiaie con diametro massimo di 3 cm, che sembrano proseguire in profondità per vari metri. È probabile che i sedimenti più grossolani depositi al fondo dell'alveo attuale del Tagliamento si siano sovrapposti alle ghiaie di riempimento di una precedente incisione ora completamente sepolta.

La larghezza dell'incisione è di circa 1200 m all'altezza dell'abitato di S. Giorgio al Tagliamento, dove il tetto delle ghiaie giace a circa 4 m di profondità, mentre l'attuale disponibilità di dati non permette di conoscerne lo spessore. Più a nord, lungo il profilo autostradale A-A', una prova penetrometrica effettuata nei pressi del Tagliamento ha segnalato la presenza di ghiaie a partire da 12,5 m di profondità dal p.c. fino ad almeno 20 m. Le figure 6.6 e 6.7 rappresentano la sezione dell'incisione in due punti distanti tra loro circa 3 km, uno situato più a nord (fig. 6.6) e l'altro più a sud (fig. 6.7).

**Incisione Teglio Veneto - Valle Vecchia:** a partire dal confine con la regione Friuli - Venezia Giulia, nei pressi di Teglio Veneto è stata individuata un'incisione fluviale, legata all'attività tardoglaciale e olocenica antica del Tagliamento, il cui percorso è stato ricostruito fino alla linea di costa in località Valle Vecchia (Fontana, 2006; 2008; Fontana *et al.*, 2008). La valle fluviale è larga tra 600 e 1500 m ed è incisa fino a 25 - 30 m di profondità rispetto alla superficie LGM. I depositi che si trovano alla base dell'incisione sono costituiti da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie e sono ricoperti da sedimenti più fini legati alla disattivazione di

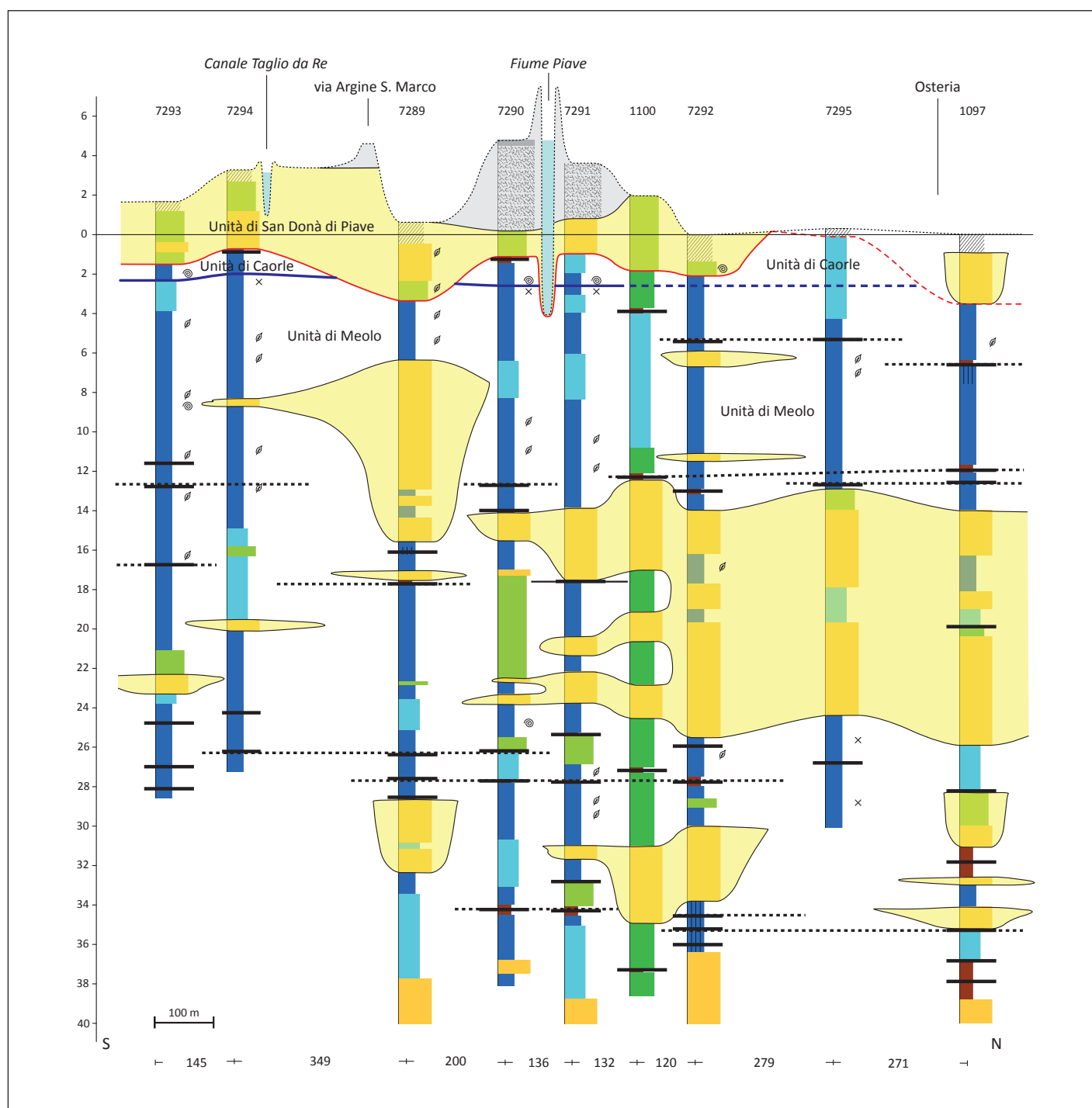


Fig. 6.3. Transetto "Taglio della Piave" rappresentativo dell'unità di S. Donà di Piave (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). La legenda è riportata in fig. 6.1.

questa antica direttrice fluviale. Successivamente il Tagliamento ha rioccupato l'incisione depositando limi sabbiosi, sabbie e ghiaie sabbiose lungo i paleoalvei (unità di Lugugnana): la deposizione di questi sedimenti ha causato il riempimento dell'originaria valle fluviale.

Nella prima parte dell'incisione, le ghiaie dell'unità più recente si sovrappongono a quelle più antiche dando luogo ad un unico corpo ghiaioso che ha uno spessore di circa 10 - 15 m (fig. 6.8). Il tetto delle ghiaie è subaffiorante fino all'altezza dell'autostrada A4; si trova a circa 3 - 5 m di profondità presso Fossalta e a 8 - 10 m presso Vado. A valle di Fossalta di Portogruaro i due corpi ghiaiosi sono separati da depositi fini con spessore minimo di 2 - 3 m fino a un massimo di 7 - 8 m.

A partire dalla località Villavera la deposizione ghiaiosa è sostituita progressivamente da sequenze sabbiose spesse anche 10 m (fig. 6.14).

Sempre a partire dal confine regionale è stata identificata un'ulteriore valle fluviale, situata a est dell'incisione di Teglio Veneto, che si unisce a quest'ultima nei pressi di Vado. Il profilo idrostratigrafico A-A', tracciato lungo l'autostrada, ha intercettato le ghiaie di riempimento di questa incisione a una distanza di circa 3 km rispetto al bordo orientale della valle di Teglio Veneto, in una posizione molto vicina al corso attuale del Tagliamento (fig. 6.6). Dal profilo di figura 6.9 si nota, invece, la notevole diminuzione della distanza tra le due valli fino alla loro confluenza, punto in cui l'incisione raggiunge una larghezza massima di circa 3800 m.

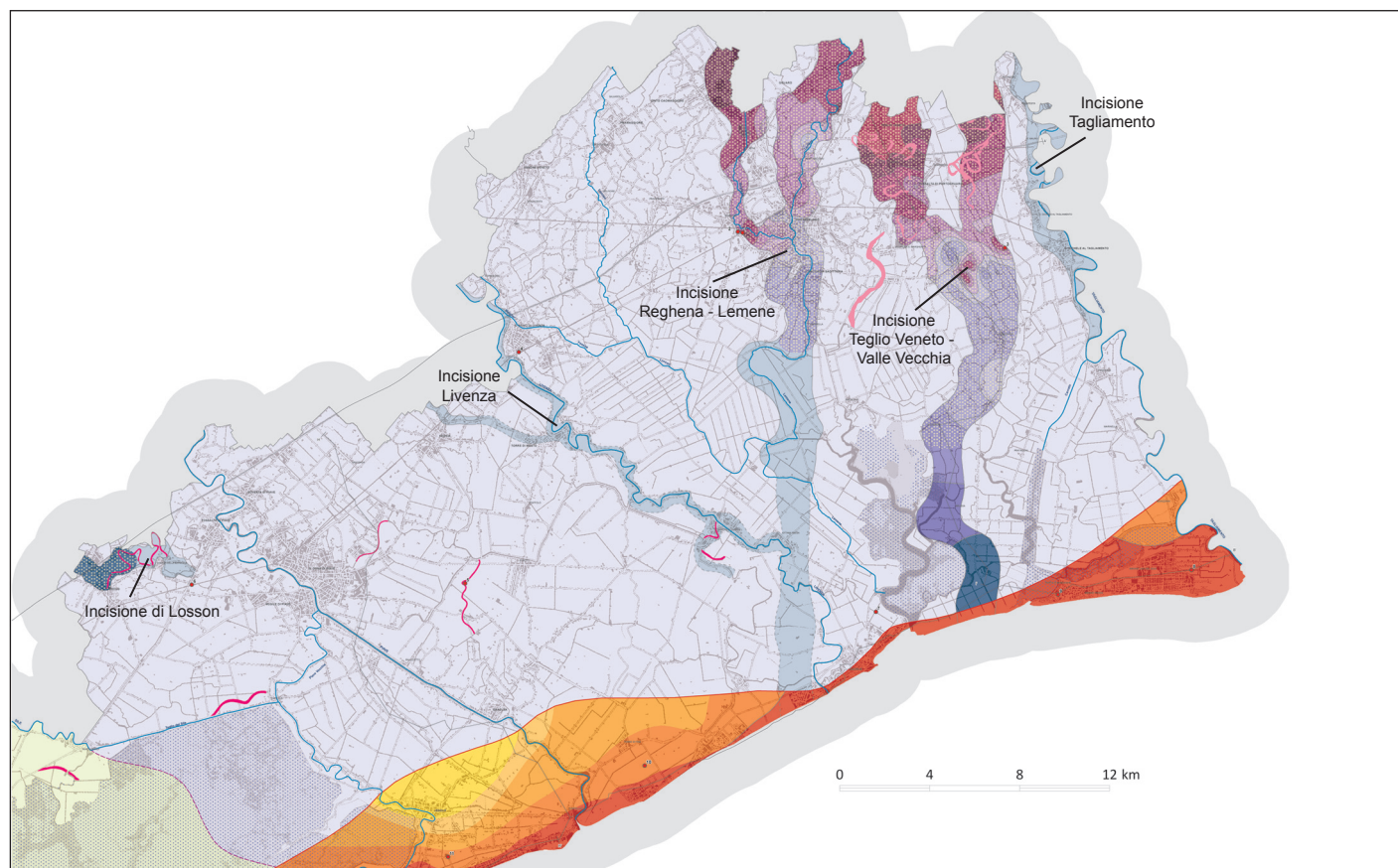


Fig. 6.4. Sistema Idrogeologico Nord-orientale (stralcio della Tavola 1) con indicate le incisioni del Tagliamento e del Piave post-LGM.

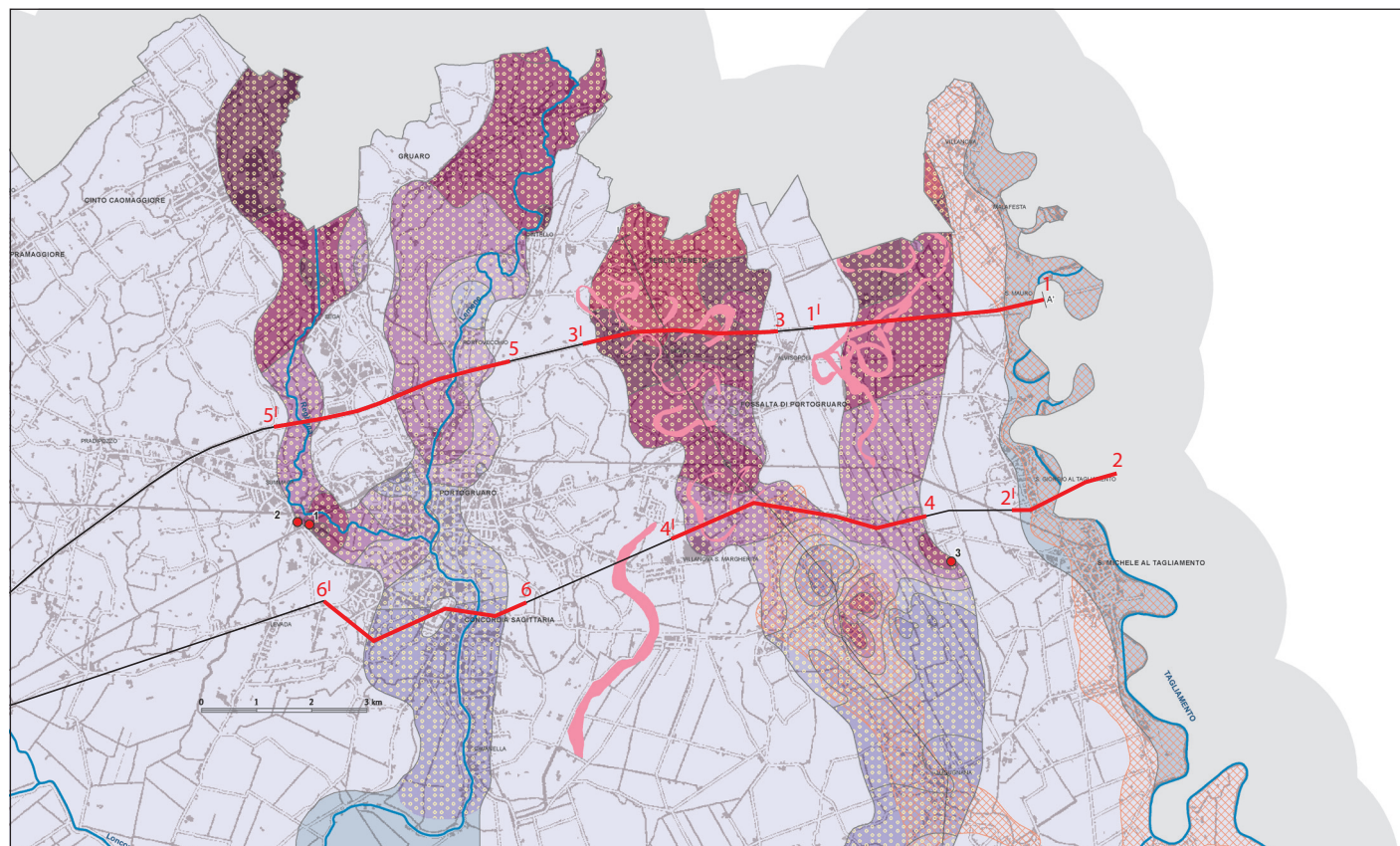


Fig. 6.5. Particolare della Tavola 1 che rappresenta il tratto a monte delle incisioni del Tagliamento post-LGM. In nero sono riportate le tracce del profilo A-A' (profilo a nord) e del profilo tratto dal foglio 107-CARG Portogruaro (Fontana et al., 2012) posto più a sud. In rosso sono evidenziate le tracce dei profili parziali riportati nelle figg. da 6.6 a 6.13.

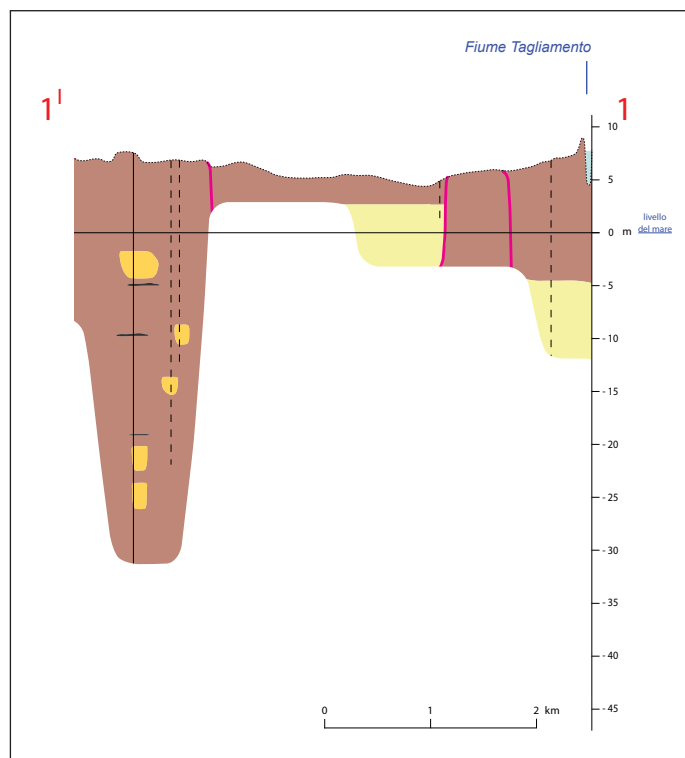


Fig. 6.6. Particolare del profilo A-A' (Tavola 2b) con evidenziata l'incisione lungo il corso attuale del Tagliamento e quella proveniente da Morsano (PN).

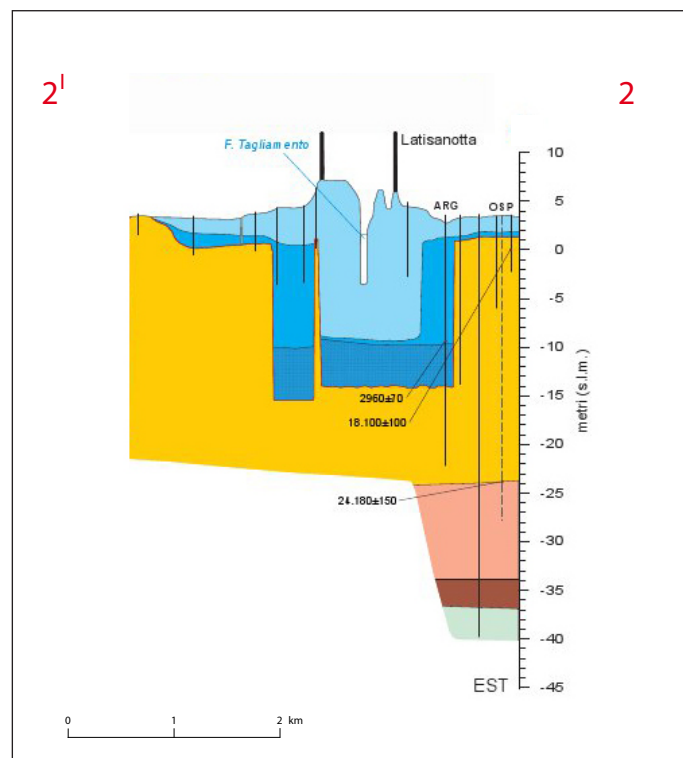


Fig. 6.7. Particolare del profilo foglio 107-CARG Portogruaro (Fontana et al., 2012) con evidenziata l'incisione lungo il corso attuale del Tagliamento.

**Incisioni lungo il corso attuale dei fiumi Reghena e Lemene:** i corsi dei fiumi di risorgiva Reghena e Lemene scorrono all'interno di due bassure legate alla presenza di due valli fluviali sepolte (Fontana, 2006; 2008; Fontana et al., 2008) che si

uniscono all'altezza di Portogruaro (fig. 6.10 - 6.11). I depositi basali di riempimento delle incisioni sono costituiti da ghiaie, in questo caso a granulometria media con diametro compreso fra 2 e 5 cm, e sabbie ghiaiose. Alle ghiaie si sovrappongono sabbie

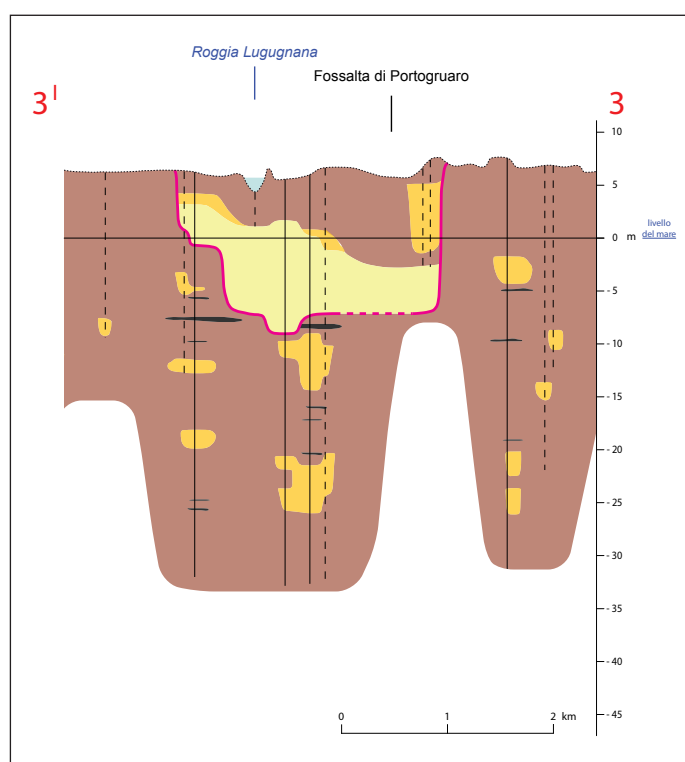


Fig. 6.8. Particolare del profilo A-A' (Tavola 2b) con evidenziata l'incisione Teglio Veneto - Valle Vecchia.

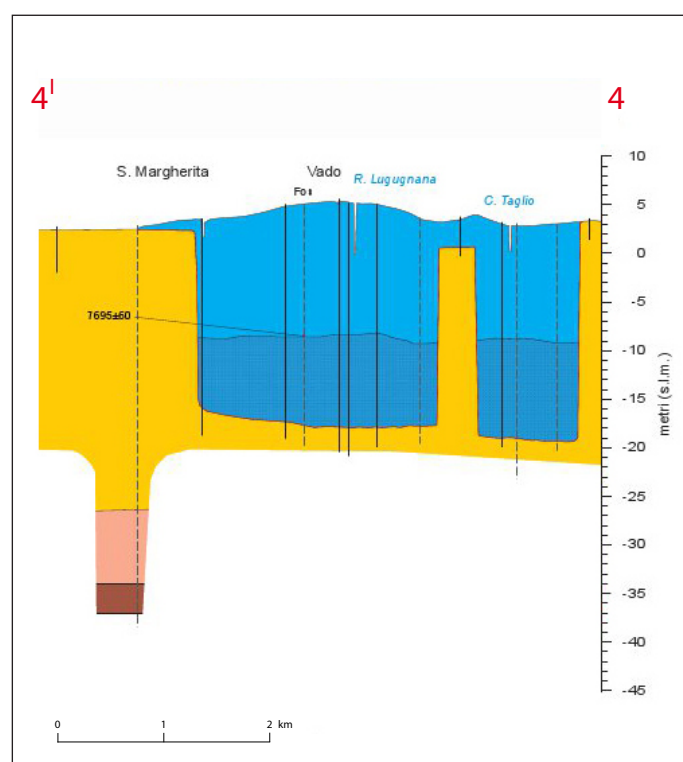


Fig. 6.9. Particolare del profilo foglio 107-CARG Portogruaro (Fontana et al., 2012) con evidenziata l'incisione Teglio Veneto - Valle Vecchia.

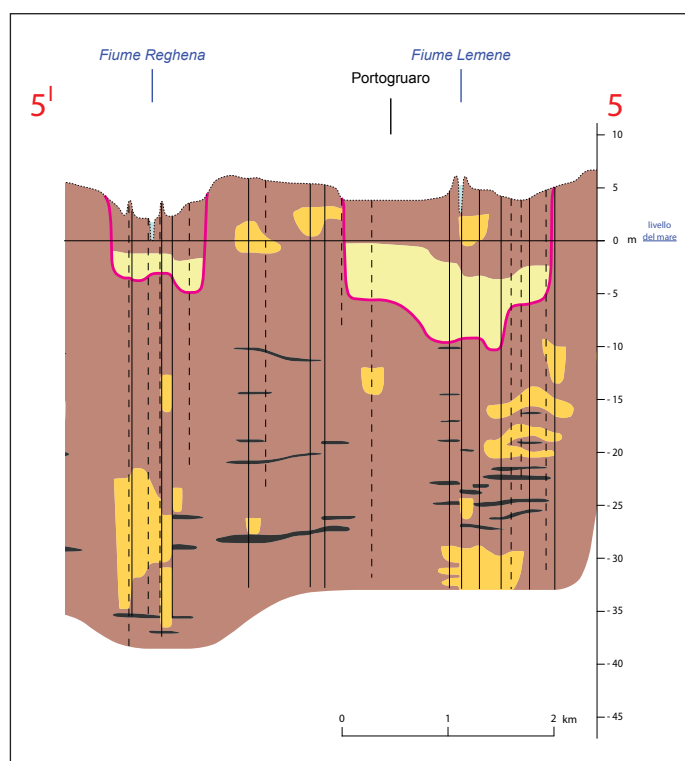


Fig. 6.10. Particolare del profilo A-A' (Tavola 2b) con evidenziata l'incisione lungo il corso attuale del Reghena e del Lemene.

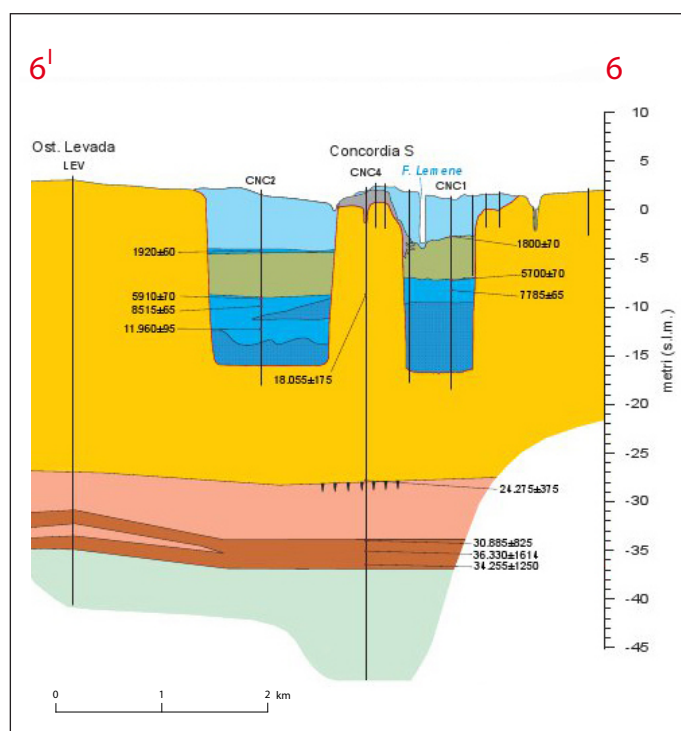


Fig. 6.11. Particolare del profilo foglio 107-CARG Portogruaro (Fontana et al., 2012) con evidenziata l'incisione lungo il corso attuale del Reghena e del Lemene.

e limi, talora organici, che rappresentano la fase di disattivazione dell'antica direttrice fluviale e, a loro volta, sono sepolti da depositi lagunari fino a 4 - 5 m di profondità a partire da Portogruaro. La larghezza media delle incisioni è circa 1 km per il ramo del Reghena e 2 km per quello del Lemene. In corrispondenza del tracciato autostradale, lo spessore delle ghiaie alla

base è rispettivamente circa 4 e 8 m e la profondità raggiunta è rispettivamente di 12 e 19 m dal p.c. Quest'ultimo valore è mantenuto all'incirca anche all'altezza dell'attuale linea di costa dove la superficie della pianura LGM si trova a circa -12 m slm.

**Incisione lungo il corso attuale del fiume Livenza:** al di sot-

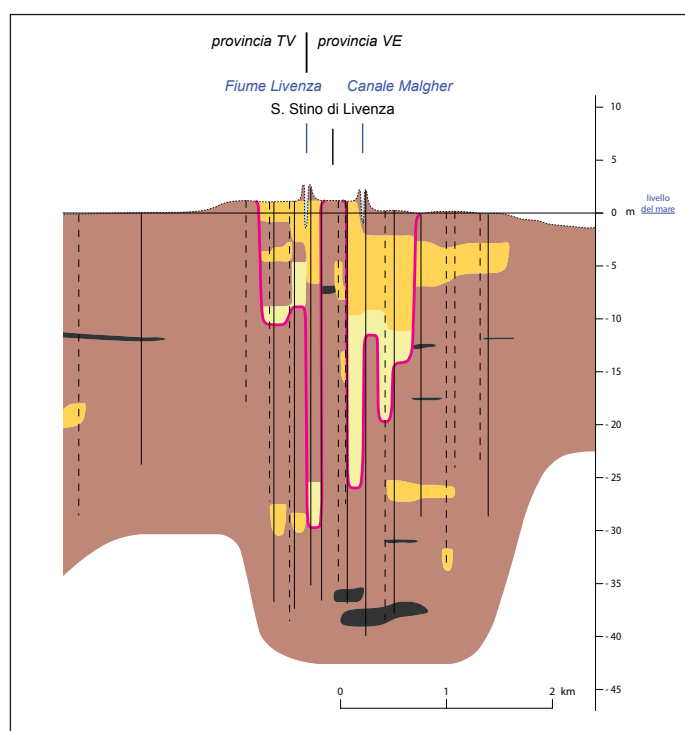


Fig. 6.12. Particolare del profilo A-A' (Tavola 2b) con evidenziata l'incisione lungo il corso attuale del Livenza.

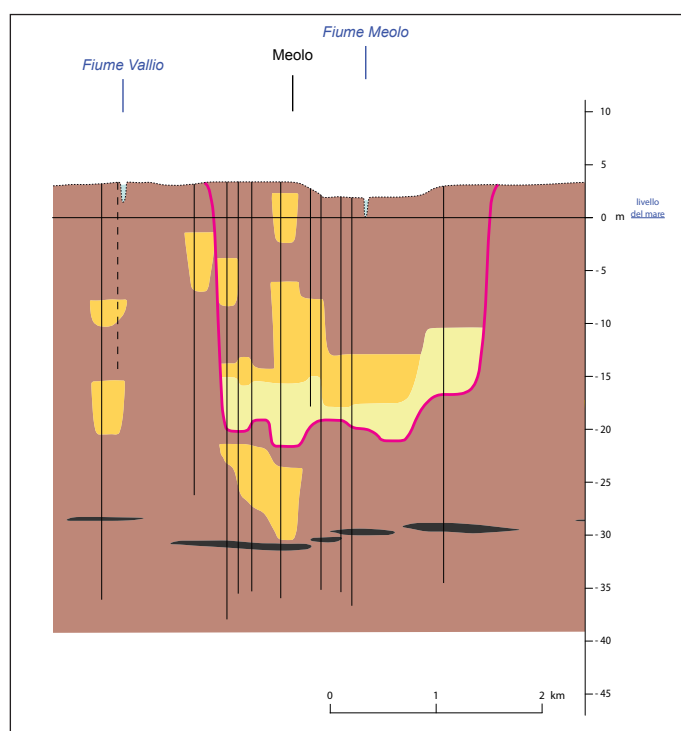


Fig. 6.13. Particolare del profilo A-A' (Tavola 2b) con evidenziata l'incisione di Losson.

to dei depositi attuali del Livenza e dei sedimenti sabbioso-limosi deposti da un antico ramo del Piave, si rinvenivano ghiaie e sabbie con sequenze di deposizione e profondità confrontabili con quelle che sono state individuate nell'area del portogruarese.

Si potrebbe trattare, quindi, di una serie di corpi sabbioso-ghiaiosi corrispondenti a depositi di riempimento di incisioni post-LGM analoga a quelle riscontrate per il Tagliamento. In particolare, i depositi ghiaiosi riconosciuti lungo l'attuale corso del Livenza sembrano appartenere a una valle fluviale sepolta confluyente nell'incisione del Lemene, anche se la scarsità di dati presenti nell'area ha impedito di cartografarne i limiti in dettaglio. La larghezza media dei rami è di circa 400 m, la profondità massima raggiunta è circa 30 m dal p.c. all'altezza del tracciato dell'autostrada Venezia-Trieste. In quest'ultimo sito, lo spessore di depositi grossolani (ghiaie e sabbie) alla base dell'incisione è compreso fra circa 8 e 20 m, anche se in quest'ultimo valore sono incluse le deposizioni più recenti. La granulometria della sabbia va da fine a grossa; le ghiaie hanno clasti arrotondati con diametro massimo di 2 cm (fig. 6.12).

**Incisione di Losson:** in un tratto rilevato del territorio dei comuni di Meolo e Fossalta di Piave, in corrispondenza del tracciato autostradale, è stata individuata un'incisione la cui direzione complessiva è circa W-E: sono state rilevate ghiaie al fondo della valle sepolta per uno spessore massimo di 6 m su cui sono sovrapposte sequenze sabbioso-limose di potenza massima pari a 8 m.

La ghiaia è sub-arrotondata; prevalentemente medio-grossa, con diametro massimo di 5 cm, e abbondante fine; rari i ciottoli con diametro massimo di 7 cm mentre la matrice è sabbioso-limosa. La sabbia è limosa o con limo, con granulometrie medie e fini. La profondità massima della valle sepolta è circa 21 m e la larghezza media è circa 900 m (fig. 6.13).

A valle, il rilevamento dell'incisione diventa troppo incerto: una valle sepolta è stata riconosciuta in un sondaggio eseguito a valle di S. Donà e in località Cortellazzo; dati troppo esigui per tracciare un'ipotetica prosecuzione della traccia.

Altre tracce di erosione profonda della pianura LGM, riempita però solo con sedimenti sabbiosi, si trovano in un sondaggio eseguito presso l'argine del F. Sile che fa ipotizzare l'esistenza di una valle sepolta in corrispondenza di quel tratto di fiume (Bondesan *et al.*, 2004).

### 6.2.2. Acquiferi sabbioso-ghiaiosi e sabbiosi di paleoalveo

Acquiferi sabbioso-ghiaiosi e sabbiosi di paleoalveo sono pre-

senti in corrispondenza di corpi di canale superficiali correlabili ad attivazioni di breve durata di direttrici di Piave, Livenza e Tagliamento. Tali corpi sono rilevabili solo per tratti incompleti (alcuni chilometri) del loro corso intero e rappresentano, comunque, acquiferi assai circoscritti date le loro dimensioni limitate e per la maggior parte senza importanti connessioni con altre strutture sedimentarie.

Tali acquiferi sono stati rilevati in:

- paleoalvei di tipo wandering situati in corrispondenza della località Torresella, in comune di Concordia Sagittaria, nei quali la litologia è ghiaioso-sabbiosa e dove la larghezza è compresa fra 60 e 150 m e lo spessore dei corpi 4-5 m;
- paleoalvei di tipo meandriforme situati nella zona di Teglio Veneto e della località Alvisopoli, con litologie prevalenti ghiaioso-sabbiose, larghezza massima circa 200 m e spessore complessivo di circa 8 m;
- paleoalvei di tipo meandriforme situati in sinistra e destra Livenza all'altezza, rispettivamente, di Torre di Mosto e della località S. Giorgio di Livenza in comune di Caorle, in cui la litologia è sabbioso-limosa e la ghiaia si presenta solo in tracce nella parte basale del corpo, la larghezza massima 100 m e lo spessore di circa 5 m;
- paleoalvei sabbiosi di tipo meandriforme situati nell'area sandonatese in sinistra Piave in località Grassaga, Cittanova, Stretti e in destra Piave nelle località Caposile, al margine della laguna di Venezia, in cui la larghezza massima è 150 m e lo spessore massimo 4-5 m, e Losson della Battaglia, verso il confine con la provincia di Treviso, in cui la larghezza massima è 150 m e la profondità circa 5-6 m.

## 6.3. Caratterizzazione idrogeologica

Come descritto più estesamente nel paragrafo 6.2, gli acquiferi del Sistema Idrogeologico Nord-orientale sono di due tipologie:

- *Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi del Piave e Tagliamento post-LGM* costituiti da depositi di riempimento delle incisioni fluviali: si tratta di acquiferi generalmente confinati
- *Acquiferi sabbiosi e ghiaiosi di paleoalveo*: si tratta di acquiferi generalmente non confinati o semiconfinati

Gli acquiferi ghiaiosi e sabbiosi del Piave e Tagliamento interessano un'area complessiva di 175 km<sup>2</sup> ed il loro volume stimato è di circa 1.200 Mm<sup>3</sup> (corrispondente ad un volume d'acqua gravifica, ipotizzando una porosità efficace di 0,15, di 180 Mm<sup>3</sup>). Più complessa risulta la stima dimensionale degli acquiferi sabbiosi e ghiaiosi di paleoalveo. Una stima di massima porta ad un volume sostanzialmente inferiore pari a circa 250 Mm<sup>3</sup> ed

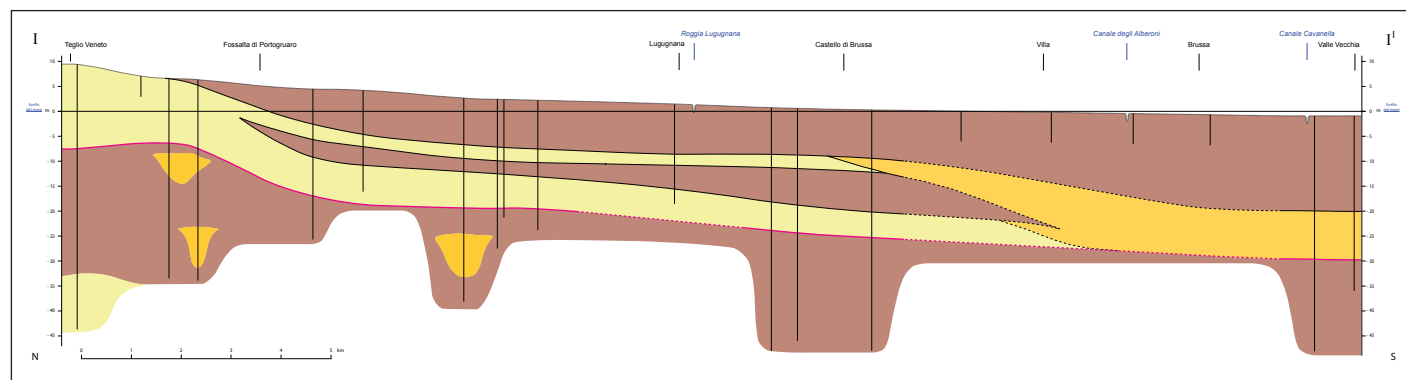


Fig. 6.14. Profilo I-I' rappresentato nella Tavola 2c. Il profilo è tracciato longitudinalmente all'incisione Teglio Veneto - Valle Vecchia.

un volume d'acqua gravifica di 20-30 Mm<sup>3</sup>. Le due suddette tipologie di acquifero si distinguono nettamente, oltre che per il meccanismo sedimentario che ha originato il corpo permeabile, anche per spessore, profondità di tetto e letto, geometria e, come vedremo, parametri idrogeologici.

La caratterizzazione idrogeologica del Sistema Idrogeologico Nord-orientale si basa su un numero di punti di misura e monitoraggio inferiore a quella utilizzata negli altri sistemi idrogeologici. Ciò deriva da una scarsa disponibilità di punti preesistenti su cui eseguire rilievi. La Provincia, per incrementare la densità dei dati, ha quindi appositamente eseguito alcuni piezometri a debole profondità, in punti localizzati in funzione della distribuzione dei principali corpi acquiferi.

### Permeabilità

Nella banca dati provinciale (vedi Tavola 5) sono disponibili 35 prove. Di queste 10 (su 9 punti) sono relative agli acquiferi costituiti dai materiali ghiaiosi e sabbiosi di riempimento delle incisioni. Due prove sono disponibili sugli acquiferi sabbiosi di paleoalveo, mentre gli altri valori risultano sparsi sul territorio. In figura 6.15 è diagrammata la frequenza dei valori e la percentuale cumulativa. Si precisa, da un punto di vista statistico, che l'elaborazione si basa su un numero modesto di dati (10).

Si osserva la frequenza di misure con permeabilità aventi ordine di grandezza di 10<sup>-4</sup> m/s. Valore nettamente superiore a quello che si riscontra negli altri acquiferi del territorio provinciale.

Elaborando i soli dati relativi agli acquiferi delle incisioni risulta la seguente distribuzione della permeabilità (m/s):

Percentile 10	Percentile 25	Mediana	Percentile 75	Percentile 90
5,2E-06	1,1E-05	1,2E-04	7,9E-04	9,7E-04

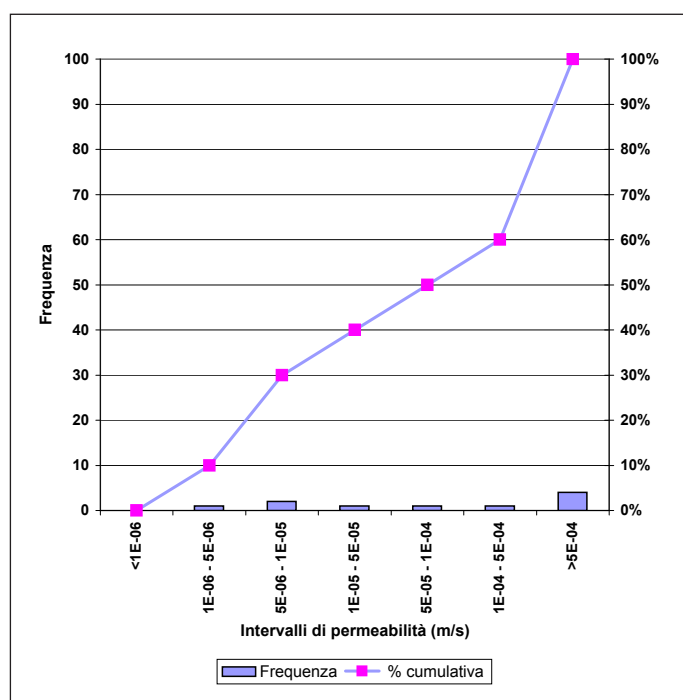


Fig. 6.15. Frequenza dei valori e percentuale cumulativa delle misure di permeabilità in sito (acquiferi ghiaiosi e sabbiosi di riempimento delle incisioni).

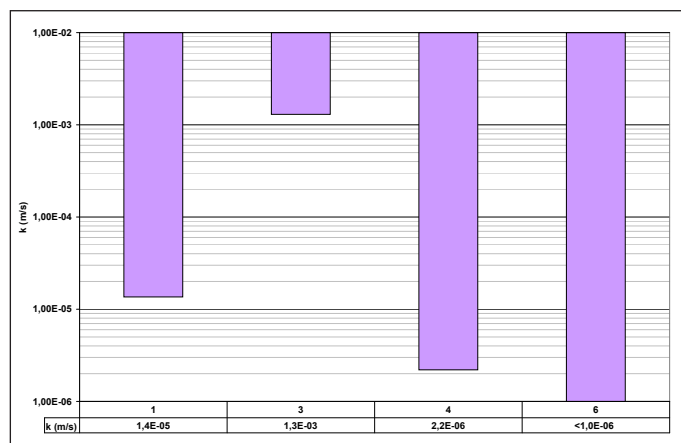


Fig. 6.16. Istogramma con i risultati dei test di permeabilità effettuati sui piezometri utilizzati per il monitoraggio potenziometrico in continuo.

Il diagramma di figura 6.16 riporta i dati relativi ai piezometri in monitoraggio su cui si sono effettuati anche test idrogeologici. Si nota la notevole differenza (2-3 ordini di grandezza) tra i valori che caratterizzano gli acquiferi delle incisioni (con presenza di ghiaie che nel piezometro 3 danno valori di 10<sup>-3</sup> m/s) e quelli dei paleoalvei (valori di 10<sup>-6</sup> m/s; più propriamente ascrivibili a materiali semipermeabili).

### Inquadramento idrografico

Una larga parte dell'area nord-orientale della Provincia è di bonifica con quote del piano campagna poste al di sotto del medio mare e, conseguentemente, è soggetta allo scolo meccanico gestito dal Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (vedi Tavola 5 e fig. 6.17). Oltre ai corsi d'acqua principali (Sile, Piave, Livenza, Lemene e Tagliamento) si ha quindi una fitta rete di canali di bonifica collegati ad idrovore. Si tratta di un elemento che influenza in modo rilevante non solo i deflussi della rete idraulica ma anche quelli degli acquiferi più superficiali in collegamento idraulico con la rete di bonifica stessa.

### Regime potenziometrico

Gli acquiferi del Sistema Idrogeologico Nord-orientale sono stati monitorati con misure in continuo su 7 piezometri:

- il piezometro 1 attraversa i depositi di riempimento dell'incisione del Reghena ed è filtrato nel tratto sottostante che intercetta un corpo di canale sabbioso pleistocenico. Analoghi corpi sabbiosi sono intercettati anche dai piezometri 2, 4 e 6;
- il piezometro 3 intercetta i depositi di riempimento di incisione;
- il piezometro 5 intercetta gli acquiferi sabbiosi di paleoalveo (olocenici).
- il piezometro 7 intercetta depositi lagunari semipermeabili su cui si è monitorata anche l'interfaccia acqua dolce-acqua salata;

I punti di monitoraggio sono quindi rappresentativi di situazioni sedimentologiche ed idrogeologiche estremamente diversificate. I dati di dettaglio relativi ai singoli monitoraggi sono riportati nelle monografie dell'Allegato 1.

La figura 6.18 riporta un confronto tra tutti i piezometri moni-

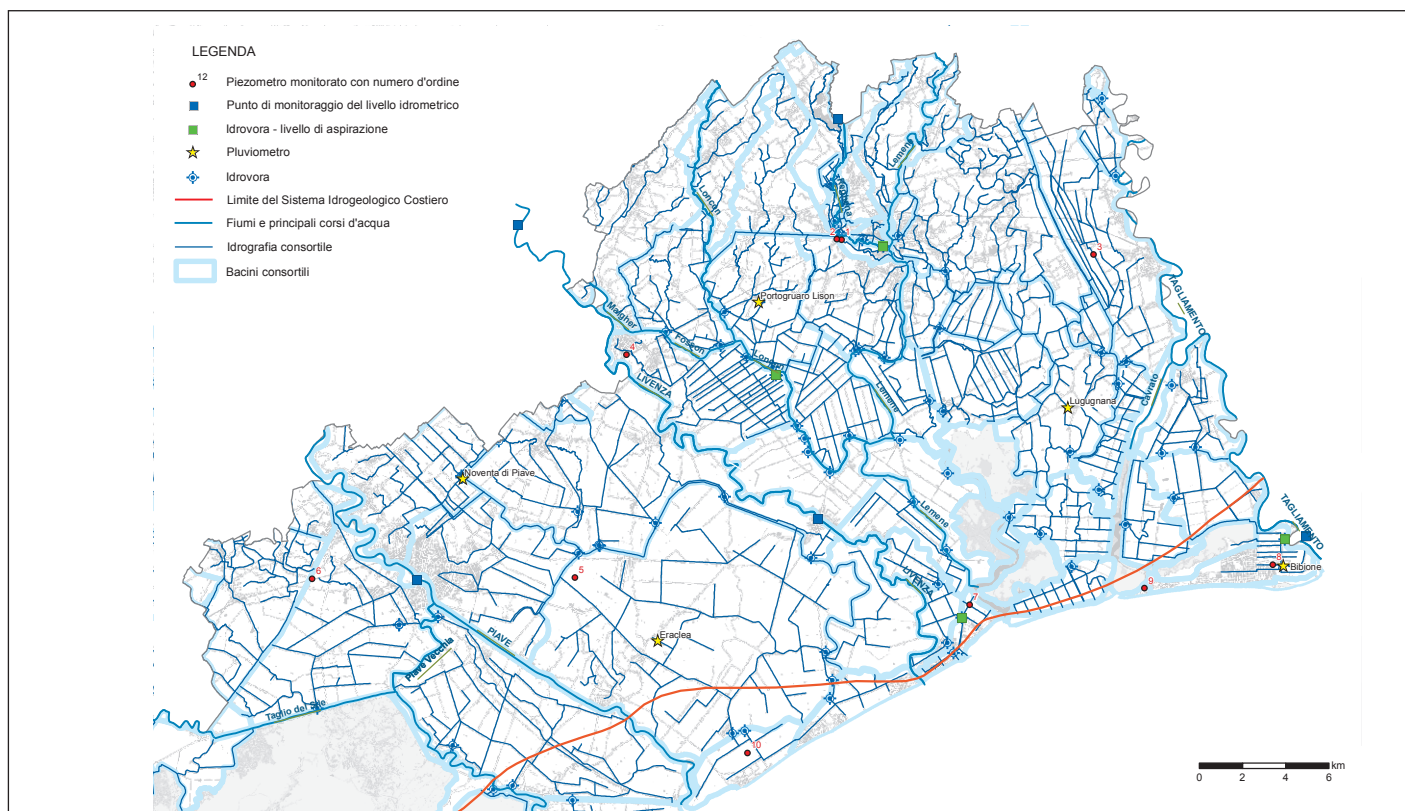


Fig. 6.17. Inquadramento idrografico e ubicazione dei punti di monitoraggio.

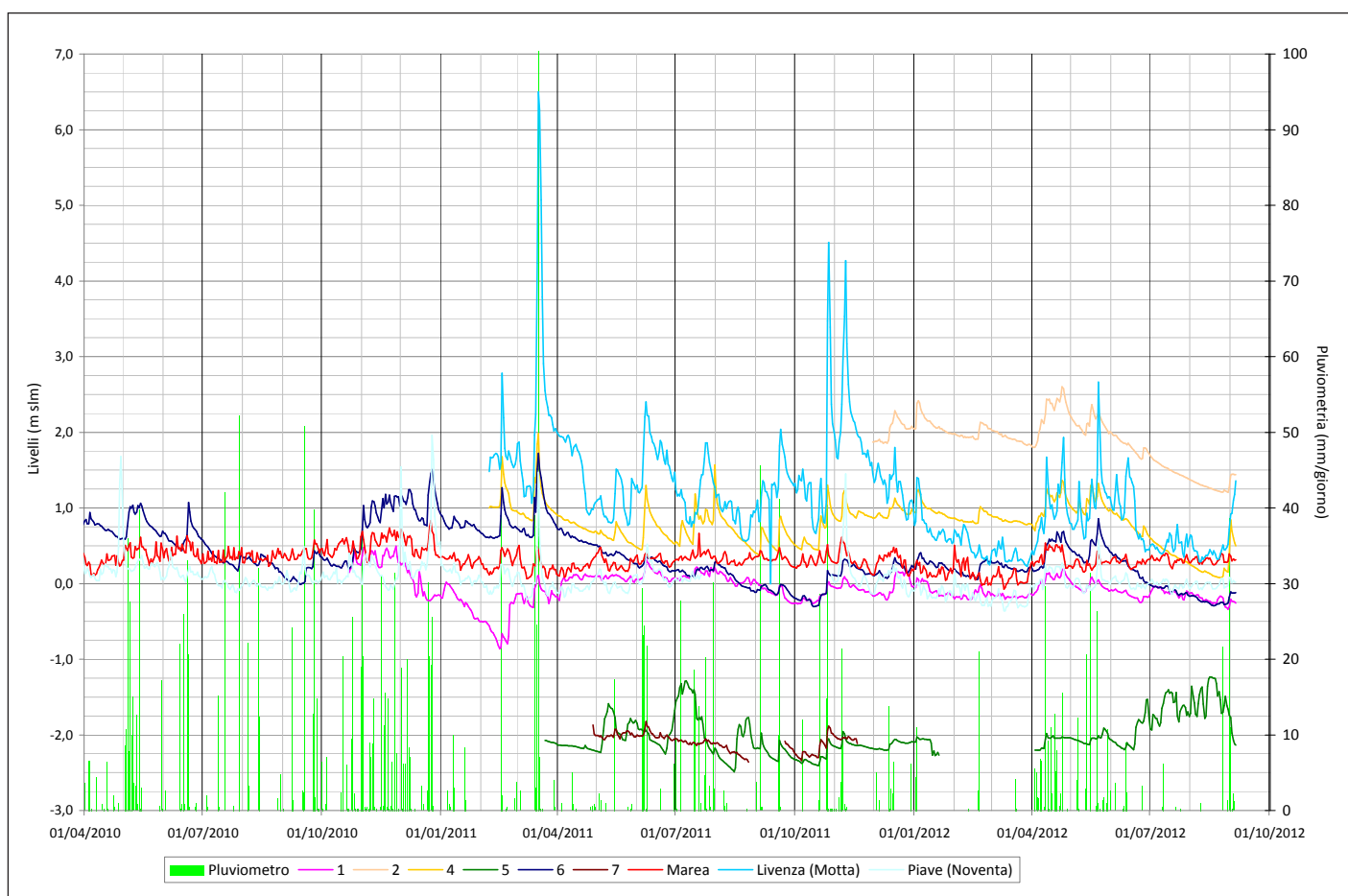


Fig. 6.18. Regime potenziometrico su 6 piezometri in diverse condizioni idrogeologiche e confronto con la marea (media giornaliera), i fiumi Livenza e Piave e la pluviometria.

torati<sup>1</sup> ed una serie di elementi potenzialmente influenti (fiumi, marea, pluviometria).

Il confronto con il regime pluviometrico evidenzia un'influenza dei principali eventi pluviometrici sul livello della falda, con innalzamenti che in alcuni casi sono limitati a pochi centimetri e per altri (2-4-5) dell'ordine del metro, nel caso degli eventi più rilevanti.

La figura 6.19 riporta con maggiore dettaglio i dati per un anno idrologico (da aprile 2010 ad aprile 2011). Si osserva complessivamente un regime potenziometrico influenzato dalla pluviometria e a sua volta governato dalla bonifica idraulica, che mantiene le oscillazioni in un intervallo limitato (mediamente entro valori annuali di un metro).

Il piezometro 1 è filtrato da 6,7 a 15,5 m, attraversa i depositi pleistocenici di canale e di piana di esondazione, sottostanti la base dell'incisione del Reghena. L'acquifero monitorato è localmente confinato. Il livello potenziometrico tende a rimanere costante nel tempo e mostra una parziale influenza dalle precipitazioni, mentre non è evidente l'influenza del livello del Reghena.

A poche centinaia di metri dal piezometro 1, è stato realizzato un piezometro esterno all'area dell'incisione (piezometro 2) in un'area costituita da depositi appartenenti alla pianura LGM prossima al limite dell'incisione del Reghena, su sedimenti di dosso fluviale; il regime di questo piezometro è strettamente legato alle precipitazioni.

1. Non si riporta il piezometro 3, in quanto monitorato con diversa scansione temporale.

Le differenti condizioni geologiche ed idrogeologiche del sottosuolo attraversato dai due piezometri si riflettono su un diverso regime potenziometrico. La dinamica della falda nei due piezometri è nettamente diversa, sia come entità di oscillazione, sia come regime. Infatti, il piezometro 1, che qui misura l'acquifero in condizioni confinato, mostra un'oscillazione modesta della falda, che viene mantenuta entro un determinato intervallo di valori, con una risposta agli impulsi di precipitazione massima di circa 20 cm a seguito dei maggiori eventi pluviometrici.

Il piezometro 2 invece evidenzia, nel periodo di un anno di monitoraggio eseguito, un regime strettamente correlato alle precipitazioni, con evidenti rapidi innalzamenti della falda in coincidenza degli eventi pluviometrici, anche se mantenuti in un range limitato a circa un metro per la presenza della rete idraulica a scolo naturale e meccanico.

Il piezometro 3 monitora, all'altezza di S. Michele al Tagliamento, l'acquifero posto nelle ghiaie di riempimento dell'incisione di Teglio Veneto – Valle Vecchia. Per questo piezometro si dispone di una decina di anni di misure (seppur con rilievi solo mensili): si evidenzia un regime caratterizzato da un minimo ed un massimo annuale. Il minimo viene raggiunto mediamente nella tarda estate, mentre il massimo risulta mediamente nel tardo inverno; il dislivello medio tra minimo e massimo annuale risulta di poco superiore al metro.

Il piezometro 4 intercetta un livello sabbioso pleistocenico sottostante all'unità del Piavon (depositi olocenici del Piave). Il regime potenziometrico dell'acquifero, pur localmente confinato, risulta influenzato dalle precipitazioni, che danno repentini aumenti

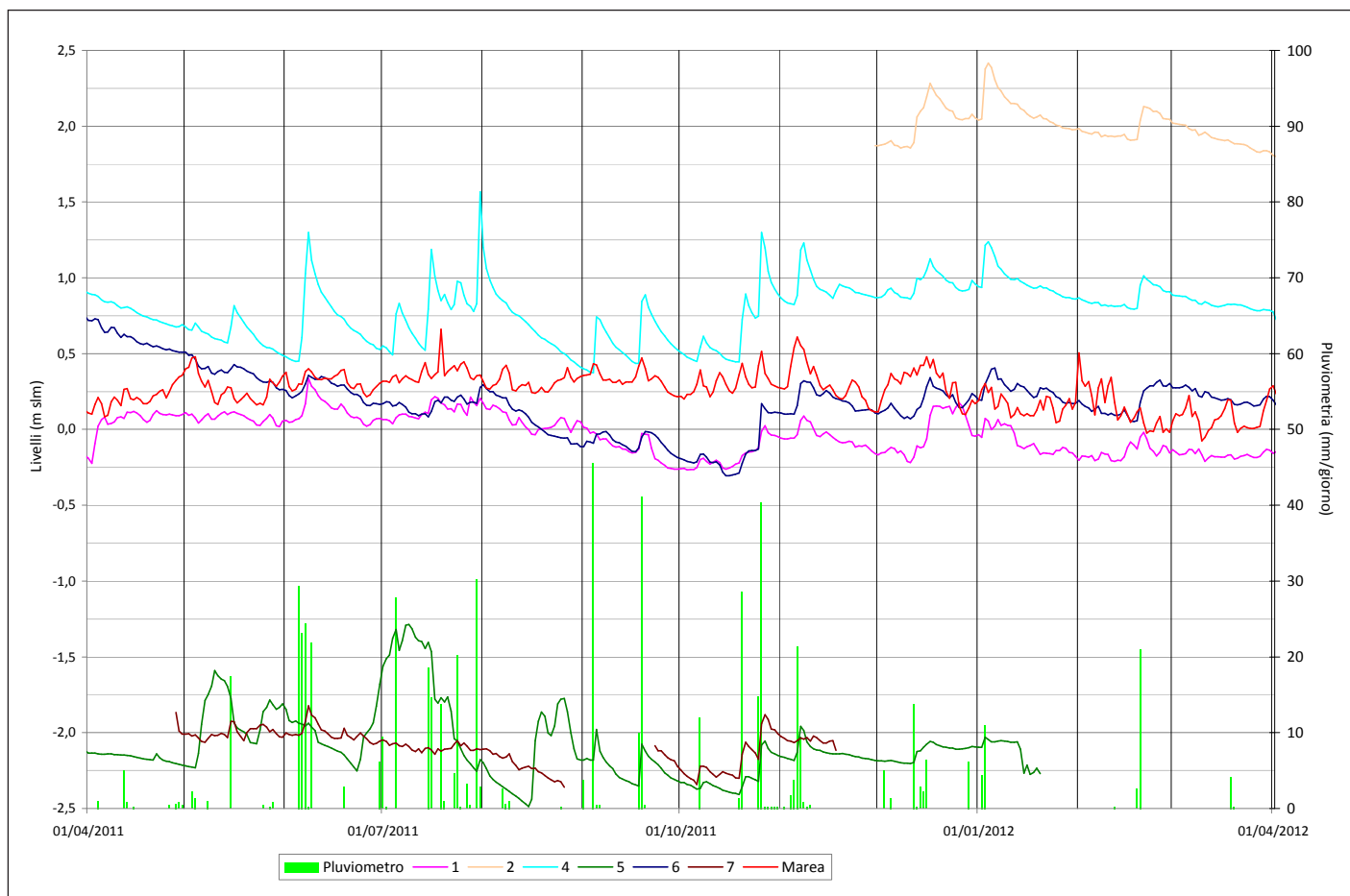


Fig. 6.19. Regime potenziometrico su 6 piezometri in diverse condizioni idrogeologiche e confronto con la marea (media giornaliera) e la pluviometria, per un anno idrologico.

del livello in coincidenza dei principali eventi piovosi. Si evidenzia (si veda scheda 4) l'evento eccezionale del 17/03/2011, con 100 mm di pioggia nelle 24 ore, che ha dato luogo ad un innalzamento di 1,20 m della falda. A scala di anno idrologico si osserva, analogamente agli acquiferi dell'area centrale, un regime con minimi estivi.

Il piezometro 5 intercetta un paleoalveo meandriforme appartenente ad un percorso olocenico del Piave, di dimensioni arealmente modeste. La falda mostra un regime pressoché totalmente artificiale condizionato dallo scolo meccanico.

Il periodo invernale, in cui i livelli idrometrici nella rete di bonifica vengono mantenuti, per motivi di sicurezza idraulica, bassi, è caratterizzato da oscillazioni di falda molto modeste, attorno ai 20 - 30 cm, mentre nei periodi estivi la falda è soggetta ad oscillazioni anche di 1 metro. Queste oscillazioni però non sono determinate direttamente dalle precipitazioni in quanto spesso sono regimate dalla bonifica.

Il piezometro 6 ricade in una zona caratterizzata dalla presenza di depositi di pianura LGM. Intercetta materiali semi permeabili. Il regime potenziometrico è influenzato dalle precipitazioni e dalla rete di bonifica e presenta andamento simile a quello visto sui piezometri 2 e 4. A scala di anno idrologico si osserva inoltre un regime stagionale con piena invernale e minimi estivi. Nell'anno 2010 si registrano livelli potenziometrici medi più elevati rispetto agli anni 2011 e 2012, analogamente a quanto rilevato per l'area centrale.<sup>2</sup>

Infine, il piezometro posizionato più vicino alla costa tra tutti quelli appartenenti al Sistema Idrogeologico Nord-orientale è il 7. Non intercetta l'acquifero sabbioso del Sistema Idrogeologico Costiero nonostante la vicinanza al mare. Esso ricade in un'area lagunare attualmente bonificata. Il monitoraggio è relativo alle acque contenute in depositi lagunari semipermeabili e il regime potenziometrico è influenzato dall'oscillazione di marea che imprime un regime ritmico alla falda concordante con il regime ritmico mareale.

Esiste comunque anche un'influenza delle precipitazioni sulla falda, ma le oscillazioni complessive sono limitate a pochi decimetri.

Nella Tabella 6.1 si presenta, in conclusione, una correlazione per le serie di dati maggiormente continue (piezometri

**Tabella 6.1. Correlazione (su un anno di misure)**

	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>Marea</b>	<b>Livenza</b>	<b>Pluviometria</b>
<b>1</b>	1,00					
<b>4</b>	0,14	1,00				
<b>6</b>	0,50	0,40	1,00			
<b>Marea</b>	0,38	-0,10	-0,20	1,00		
<b>Livenza</b>	0,32	0,24	0,16	0,51	1,00	
<b>Pluviometria</b>	0,13	0,05	-0,08	0,31	0,16	1,00

1-4-6-marea-pluviometria). Si confrontano quindi dati di piezometri che intercettano solo corpi sabbiosi pleistocenici. Non è stato possibile confrontare altri piezometri per lacune nella serie temporale.

Si ha una modesta correlazione tra i piezometri 1, 4 e 6 che infatti sono rappresentativi di situazioni geologiche simili.

Non sono evidenti correlazioni con la pluviometria e il fiume Livenza.

In sintesi, l'analisi complessiva dei diagrammi potenziometrici evidenzia alcuni elementi caratteristici della dinamica idrogeologica degli acquiferi del sistema Nord-orientale:

- il regime potenziometrico è spesso influenzato dai livelli imposti dalle idrovore alla rete scolante. Questo tende a mantenere i livelli entro un intervallo ristretto di oscillazione (un metro);
- il regime potenziometrico presenta un massimo invernale ed un minimo estivo<sup>3</sup>;
- in una fascia ristretta nei pressi della costa si ha influenza del regime di marea sul regime potenziometrico.

Nel complesso il flusso idrico sotterraneo è influenzato sia dalla distribuzione degli acquiferi (aventi geometria allungata in senso nord-sud), sia dalla rete di bonifica e dalla gestione dello scolo meccanico.

Infatti lo scolo meccanico, oltre ad influenzare il senso di scorrimento delle acque sotterranee, tende a mantenere il livello potenziometrico costante nel tempo. L'effetto della bonifica interessa principalmente i primi strati del sottosuolo

2. Si precisa che negli altri piezometri del Sistema Idrogeologico Nord-orientale non è possibile verificare tale dato in quanto il monitoraggio è iniziato nel 2011.

3. Si segnala l'eccezione del piezometro 5.



## 7.1. Inquadramento geologico

Nell'area centrale della Provincia di Venezia, compresa fra il Sile e il Brenta, affiorano depositi alluvionali costituiti da sabbie, limi e argille e depositi limoso-argillosi di origine lagunare/palustre. Nel volume *"Le unità geologiche della provincia di Venezia"* (Bondesan *et al.*, 2008) per il settore centrale del territorio provinciale vengono individuate quattro unità distinte.

L'unità di Mestre è la più antica ed estesa, formatasi nel settore distale del megafan del Brenta durante l'ultimo massimo glaciale (LGM) tra circa 25.000 e 14.500 anni BP. Su questa, a sud, poggia l'unità di Camponogara, attiva dal IV millennio a.C. fino al XII sec d.C. La cessazione della deposizione sembra riconducibile all'evento avulsivo datato 1143 d.C. da fonti storiche, quando il Brenta deviò nei pressi di Ponte di Brenta in comune di Padova e si diresse lungo la direttrice attualmente seguita dal Naviglio Brenta. I sedimenti depositi lungo questa nuova direttrice formano l'unità di Dolo, attiva fino ai tempi recenti.

Infine, a ridosso della laguna, nell'angolo nordest, affiora l'unità del Montiron di origine lagunare e palustre.

L'unità di Mestre è rappresentata da depositi alluvionali costituiti da sabbie, limi e argille. Le sabbie hanno una granulometria prevalente medio-fine, sono spesso limose e rappresentano facies di canale, di argine naturale e ventaglio di rota. In superficie sono concentrate in corrispondenza dei dossi dove costituiscono, in genere, corpi lentiformi con spessori massimi di 2-4 m. Ma più in profondità e in alcune aree localizzate anche entro i primi 10 m, i corpi di canale possono essere coalescenti tra loro fino a produrre sequenze sabbiose spesse anche 10-20 m. Il grado di continuità laterale dei corpi è piuttosto variabile ma in genere essi sono larghi da qualche centinaio di metri a circa 2-3 km.

All'esterno dei canali, gli abbondanti depositi limosi e argilloso-limosi di esondazione contengono lenti di torba e orizzonti organici formati in ambiente palustre, spessi al massimo pochi decimetri ma continui lateralmente fino a qualche chilometro.

Il tetto della serie sedimentaria è pedogenizzato: si è formato un paleosuolo, noto con il nome di caranto, che presenta orizzonti di concrezioni di carbonato di calcio, screziati e sovraconsolidati, profondi e ben sviluppati su sedimenti limoso-argillosi, assenti o con rare concrezioni in presenza di depositi sabbiosi.

L'unità di Mestre ha spessori complessivi di circa 20-25 m. È eteropica con l'unità di Meolo (megafan del Piave) e con il coevo sistema alluvionale dell'Adige (Bondesan *et al.*, 2004). A sudest della conterminazione lagunare, l'unità di Mestre continua al di sotto dei depositi lagunari e dei riporti antropici, che la ricoprono per spessori di alcuni metri. Al di sotto dell'unità Litorale Indifferenziata, il tetto dell'unità di Mestre è presente a profondità comprese tra -8 m e -14 m slm in corrispondenza del Litorale di Lido, e scende a -20 m a sud verso Pellestrina e Sottomarina.

In un transetto tracciato in corrispondenza dell'Aeroporto Mar-

co Polo (fig. 7.1), si può notare come gli spessori dei corpi sabbiosi siano di norma inferiori a 4-5 m ma nel settore centrale si raggiungano spessori di 12 m. I corpi sabbiosi minori sono interpretabili come depositi di canale, formati in un sistema fluviale di tipo braided/wandering, di larghezza di qualche centinaio di metri. Le lenti sabbiose più spesse sono il risultato della giustapposizione in senso verticale e laterale di più corpi di canale fino a raggiungere estensioni laterali dell'ordine del chilometro.

Un transetto tracciato per circa 10 km con direzione N-S lungo il bordo lagunare (figg. 7.2 - 7.3 - 7.4), dalla foce in laguna del Naviglio Brenta a quella del canale Osellino in località San Giuliano, evidenzia nella zona mestrina di terraferma almeno 4 strutture a sedimentazione grossolana, affiancate le une alle altre anche se a profondità diverse ma con probabili punti di connessione tra di loro. In sintesi, a scala minore, si potrebbero raggruppare in due complessi più estesi: uno settentrionale che comprende il corpo che passa per la parte settentrionale del Porto Commerciale e quello di Viale San Marco; uno meridionale che racchiude il corpo che passa per la Darsena sud e quello posto in corrispondenza del Naviglio Brenta. Essi sono separati da una fascia caratterizzata da corpi sabbiosi minori o addirittura inferiori al metro di spessore, posizionata in corrispondenza del canale industriale ovest e l'Isola dei Petroli. Le granulometrie variano da sabbia fine a sabbia medio-grossolana con prevalenza di sabbie fini e medio fini, più o meno limose. Tali strutture sono il risultato della sovrapposizione, lungo fasce di territorio relativamente ristrette, di diversi corpi sabbiosi, talora intercalati da strati a sedimentazione limoso-argillosa con eventuale presenza di torbe.

La struttura meridionale è costituita da un insieme di corpi sabbiosi situato in corrispondenza al percorso attuale del Naviglio Brenta ma di cui non è nota la chiusura verso sud. Il tetto è posto a circa 4-5 m dal p.c. (circa -2 m/-3 m slm); raggiunge lo spessore massimo di circa 6 m in coincidenza del limite sud del profilo e si può presupporre sia largo circa 1 km.

Verso nord, in corrispondenza del canale Industriale sud, si evidenzia un'altra struttura larga complessivamente più di un chilometro. Questo insieme è composto di due parti: una più superficiale con il top della successione a profondità costante di circa 6 m dal p.c. (-4 m slm) e uno spessore di 8-9 m; una più profonda posta a circa -16 m slm e spessa in alcune porzioni anche più di 14 m. La separazione è costituita da strati limoso-argillosi e piuttosto continua anche se con interruzioni significative. All'interno degli strati limoso-argillosi si rinvenivano livelli di torba a quota 11/12 m, 16/17 m e 24 m dal p.c. Questa struttura ha una certa continuità laterale a sud con quella del Naviglio Brenta e una discontinuità verso gli altri corpi più settentrionali, testimoniata dall'assenza di corpi sabbiosi significativi in corrispondenza dell'isola dei Petroli.

Un complesso centrale di larghezza dell'ordine del chilometro è situato in corrispondenza della parte meridionale del canale Brentella con un appendice settentrionale più superficiale nella

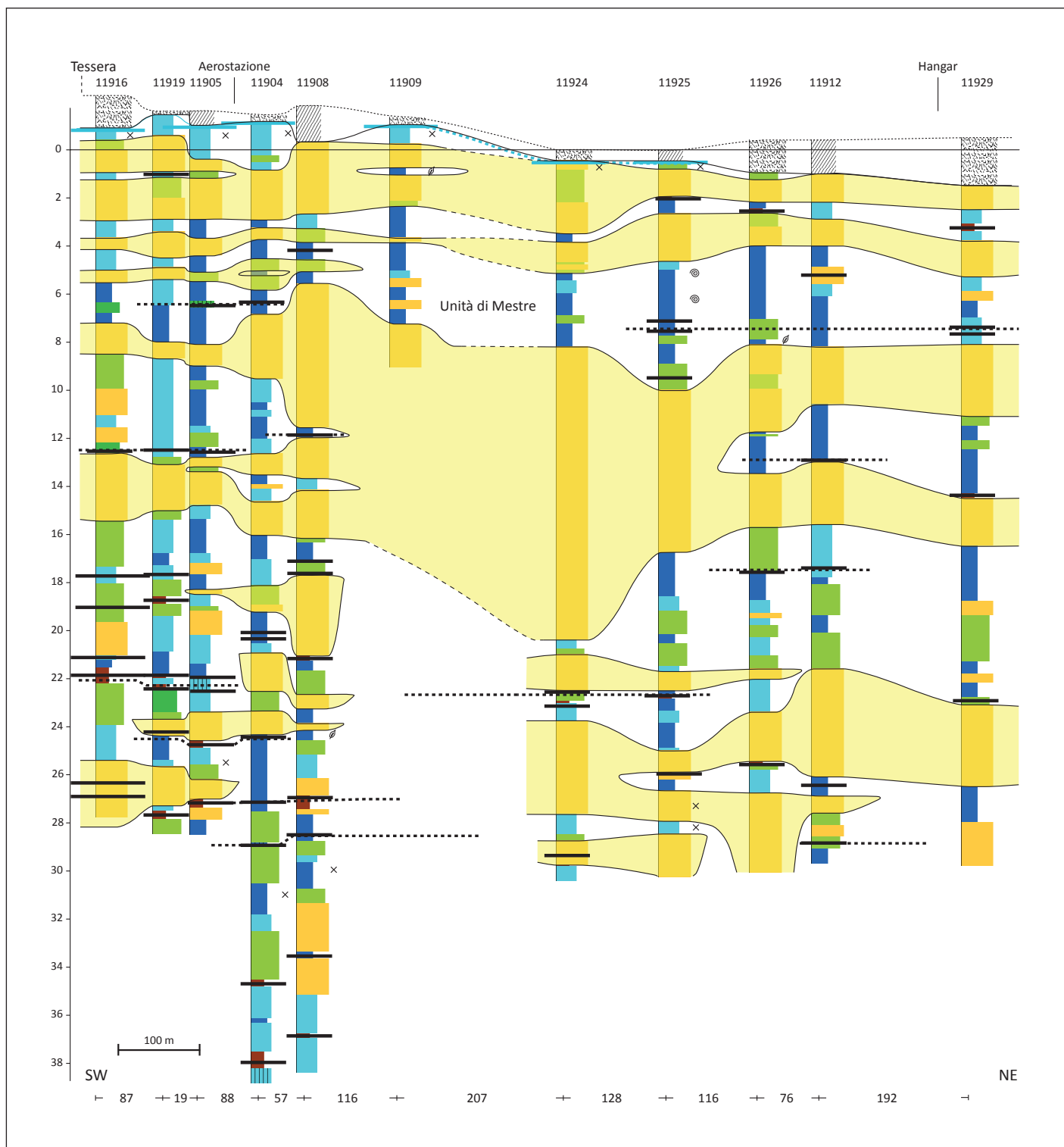


Fig. 7.1. Transetto "Aeroporto Marco Polo" rappresentativo dell'unità di Mestre (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). La legenda è riportata in fig. 6.1.

Penisola delle Raffinerie. I corpi sabbiosi si presentano a granulometria prevalentemente fine e compatti, spessore medio di circa 11 m, tetto a quota di circa -4 m slm (-6 m slm) e letto a circa 18 m dal p.c.

Verso nord, l'appendice superficiale posta vicina al limite con i depositi antropici (0 m slm) sembra trovare una continuità in un complesso settentrionale, a struttura tabulare e caratterizzata da uno spessore costante attorno a 7 m, con tetto a 2 m e letto a 9 m dal p.c. Tale struttura sabbiosa, in corrispondenza dell'area urbana di Mestre, presente solo in parte nel profilo,

si approfondisce fino a raggiungere uno spessore massimo di 15 m, tetto tra -1 e -2 m e letto a -16 m dal p.c. La larghezza complessiva si può stimare attorno ai 2,5 km. Le granulometrie prevalenti sono fini e medio fini.

In tutto il profilo si trovano alcune fasce principali di orizzonti torbosi, più o meno continui, tra 10/12 m, tra 17/19 m e soprattutto tra 24/27 m dal p.c.

Il caranto è presente a quote che diventano maggiori andando da sud verso nord: circa 5 m dal p.c. presso il limite sud del profilo, 4 m a partire dalla intersezione del canale Industriale nord,

a 2/3 m presso la zona situata a sud di Forte Marghera e infine a quote di 1 m dal p.c. verso il limite nord del profilo. Lungo tutto il transetto lo spessore dei depositi antropici è cospicuo, in media 2-3 m.

L'unità di Camponogara è costituita prevalentemente da limi sabbiosi, che rappresentano facies di argine naturale e di ventaglio di rotta, e da limi e argille, talora organici, di piana di esondazione, per uno spessore complessivo compreso tra 1,5 e 3 m. Sono presenti anche corpi sabbiosi di canale, tra loro poco connessi (Mozzi, 2008).

Nella figura 7.5 è riprodotto un profilo geologico tracciato nei pressi di Boion, nel settore centro-meridionale provinciale, dove sono rappresentate le facies più significative dell'unità, inclusa la sezione di un corpo di canale sabbioso che si presenta affiancato a limi sabbiosi di ambiente arginale e di rotta fluviale e a limi e argille di piana d'esondazione e canale abbandonato.

Il limite con la sottostante unità di Mestre è erosivo in corrispondenza della base dei canali; con discordanza parallela dove si sono conservati gli orizzonti calcici del paleosuolo che chiude la successione pleistocenica. L'unità di Camponogara affiora ampiamente nel settore centro-meridionale del territorio provinciale fino alla conterminazione lagunare, mentre a nordovest è sepolta al di sotto dell'unità di Dolo.

L'unità di Dolo rappresenta i materiali di origine alluvionale depositi durante l'ultimo millennio, a seguito dell'avulsione del Brenta all'altezza di Ponte di Brenta in Provincia di Padova, percorso poi ereditato dal Naviglio Brenta (Mozzi, 2008). L'unità è costituita da depositi alluvionali formati in prevalenza da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi rappresentativi di facies di canale attivo, argine e ventaglio di rotta fluviale. Ai lati del canale sono presenti limi argillosi e argille limose di piana di esondazione e di canale abbandonato. Gli spessori dell'unità sono generalmente compresi tra 1 e 5 m: il limite inferiore può essere erosivo, in corrispondenza di corpi di canale, oppure con discordanza parallela che lascia intatte la traccia del paleosuolo sviluppato al tetto delle unità sottostanti. Nella figura 7.6 è rappresentata la facies limoso-sabbiosa prevalente di quest'unità che giace sopra i sedimenti sabbiosi di canale fluviale dell'unità di Mestre.

L'unità di Montiron è formata da depositi lagunari caratterizzati prevalentemente da facies di fondo lagunare/piana intertidale e di palude salmastra. Essi sono costituiti da limo argilloso e argilla limosa, talora ricchi in sostanza organica; raggiungono uno spessore massimo di 3 m e l'ingressione lagunare attribuita ha età compresa fra il I millennio a.C. e l'alto medioevo (Mozzi *et al.*, 2003; Bondesan & Mozzi, 2002).

La figura 7.7 rappresenta un profilo tracciato in prossimità della foce del fiume Dese: al di sopra di un corpo di canale sabbioso che appartiene all'unità di Mestre, sono presenti attorno allo 0 m s.l.m. le argille e argille limose con frammenti vegetali e molluschi lagunari caratteristici di questa unità.

## 7.2. Caratterizzazione idrostratigrafica

È stato possibile giungere a una rappresentazione cartografica schematica delle strutture sedimentarie sabbiose sepolte, riportando in superficie i punti dove è stata rilevata, nelle stratigrafie fino a una profondità di circa 20-30 m dal piano campagna, la presenza di strati sabbiosi aventi una continuità di almeno cinque metri di spessore. Tali proiezioni sono state correlate e hanno dato come risultato cartografico alcune fasce sabbiose che rappresentano le principali direttrici di deflusso del Brenta pleistocenico. I corpi sedimentari analizzati corrispondono a

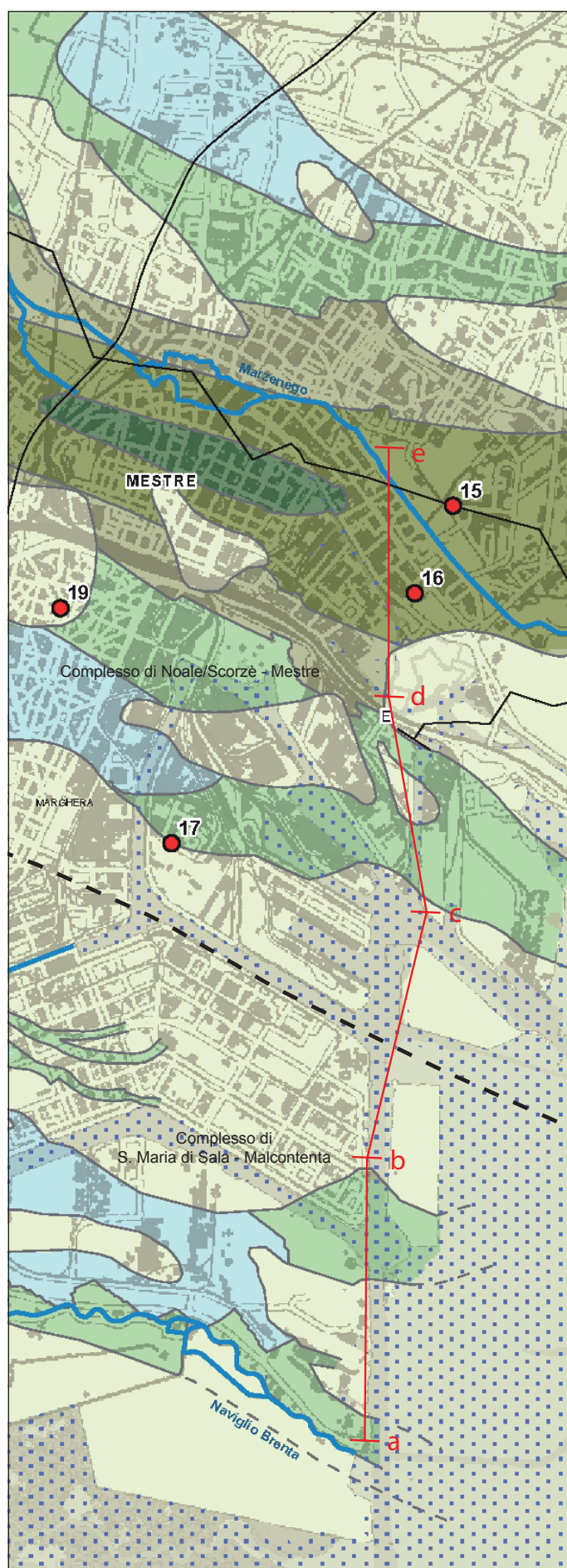


Fig. 7.2. Traccia del profilo riportato nelle figure 7.3 e 7.4.

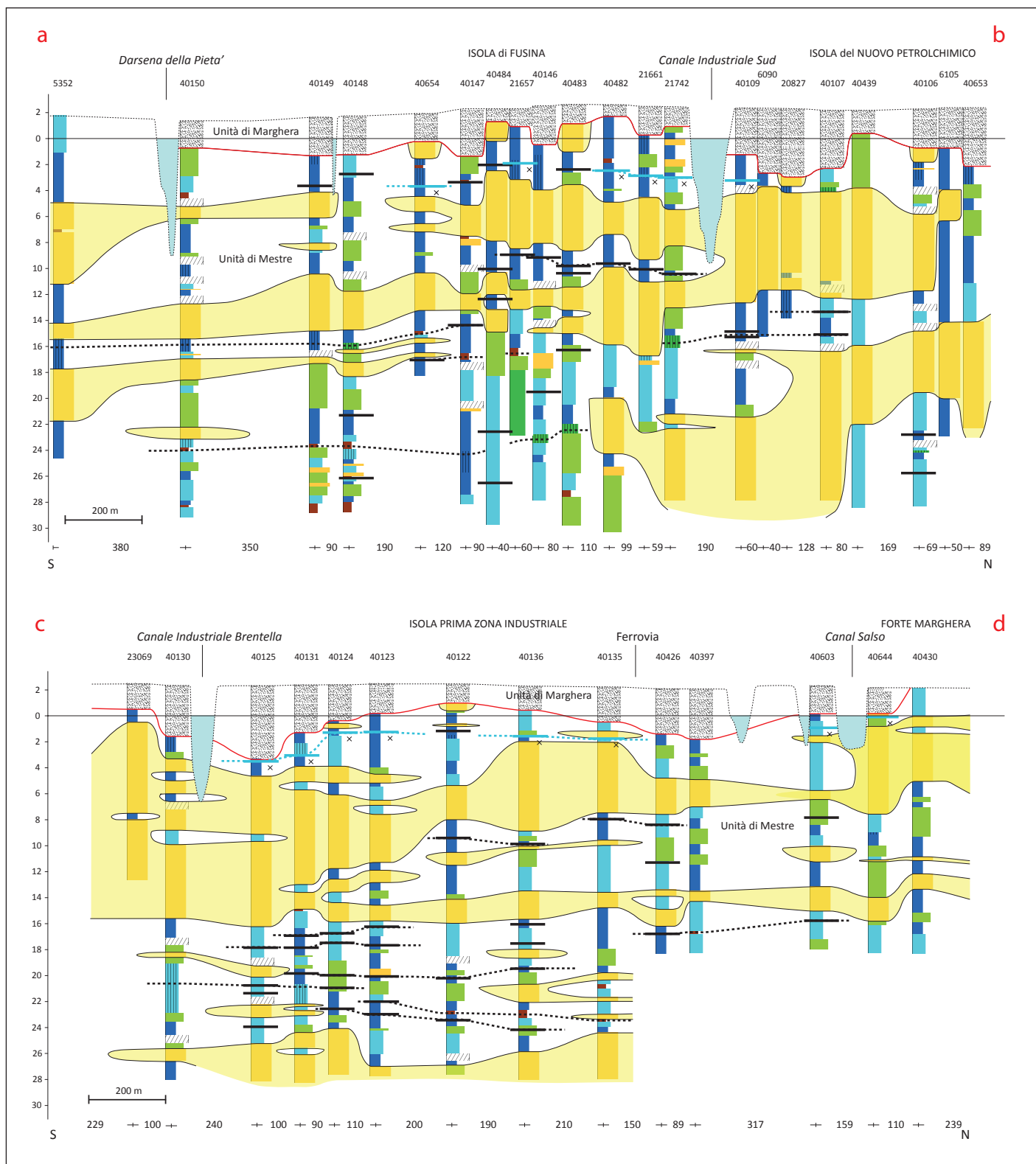


Fig. 7.3. Transetto "Porto Marghera" rappresentativo dell'unità di Mestre (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). La legenda è riportata in fig. 6.1.

potenti strati di sabbia risultanti dalla sovrapposizione e coalescenza di più corpi di canale che hanno interessato per un certo lasso di tempo la medesima area e sono stati identificati come *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico*.

Nella Tavola 1 tali correlazioni sono rappresentate attraverso fasce del territorio nel cui sottosuolo si hanno probabilità maggiori di trovare corpi sabbiosi e sabbioso-limosi di spessore di almeno 5 m.

I corpi sabbiosi sono interrotti lateralmente da tratti a prevalente deposizione fine e possono chiudersi piuttosto nettamente o mantenere una continuità laterale ma spessori più modesti o comunque minori di 5 m di spessore.

La densità dei dati permette di precisare meglio i limiti di tali fasce: per esempio, in alcune porzioni della zona di Mestre e Porto Marghera, l'ampiezza dei dati a disposizione è tale da consentire di definire, all'interno di tali fasce, aree con una de-

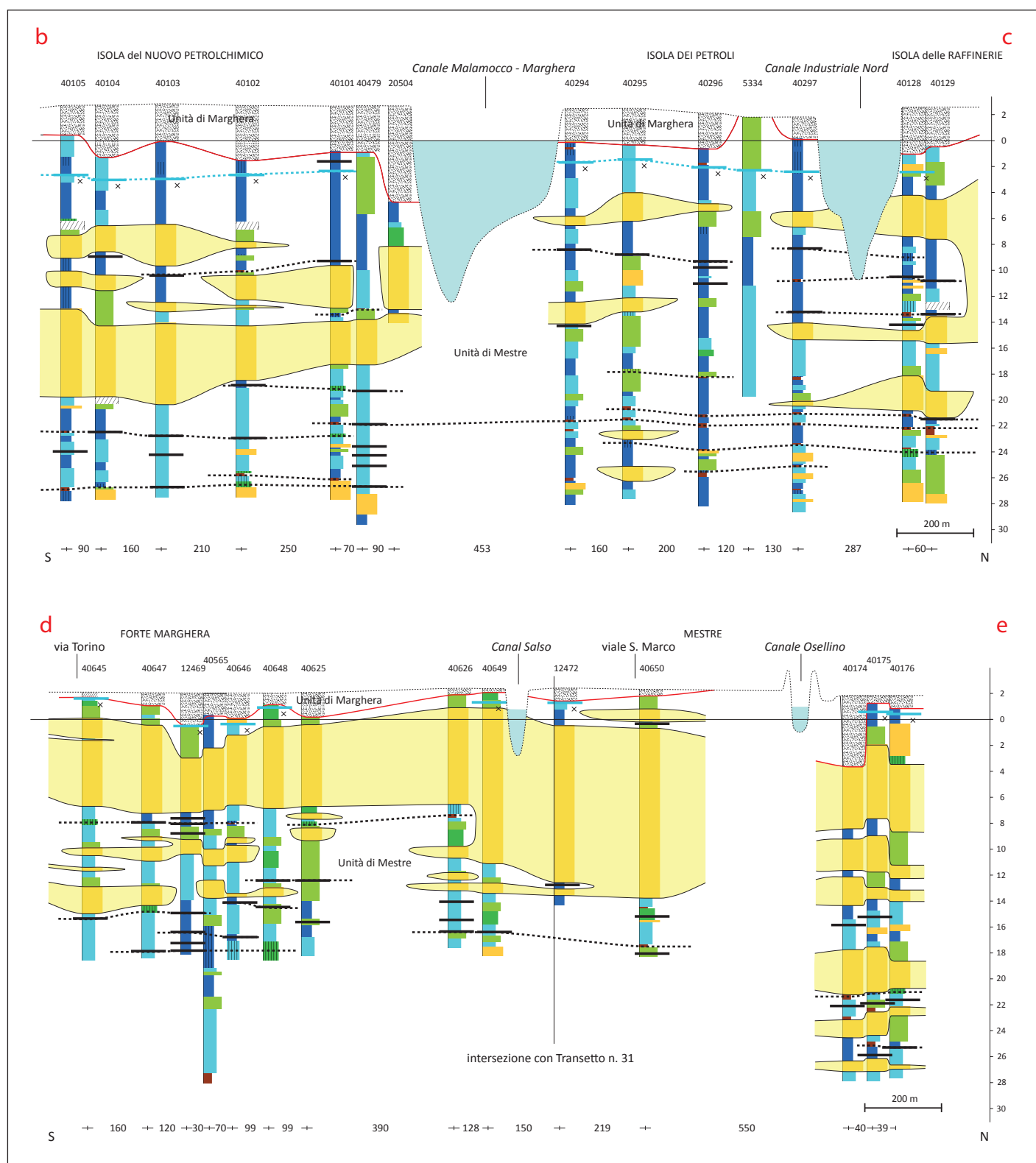


Fig. 7.4. Transetto "Porto Marghera" rappresentativo dell'unità di Mestre (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). La legenda è riportata in fig. 6.1.

posizione sabbiosa minore di 5 m di spessore continuo diffuse a macchia di leopardo.

Le granulometrie variano da sabbia fine a sabbia medio- grossolana con prevalenza di sabbie fini e medio fini, più o meno limose, talora intercalate da strati a sedimentazione limoso-argillosa con eventuale presenza di torbe.

Sulla base dei profili e dei sondaggi esaminati si evidenziano, nella parte centrale della provincia, almeno 4 grandi strutture a

deposizione più grossolana che giacciono affiancate le une alle altre, anche se a profondità diverse.

Tali complessi hanno caratteristiche generali simili e sono composti da vari corpi sabbiosi accomunati oltre che da contiguità spaziale, talora, da alcune particolarità sedimentologiche. I corpi principali sono separati da porzioni di sottosuolo a sedimentazione prevalente fine. Ciononostante possono essere in connessione tra loro attraverso corpi sabbiosi di spessore minore.

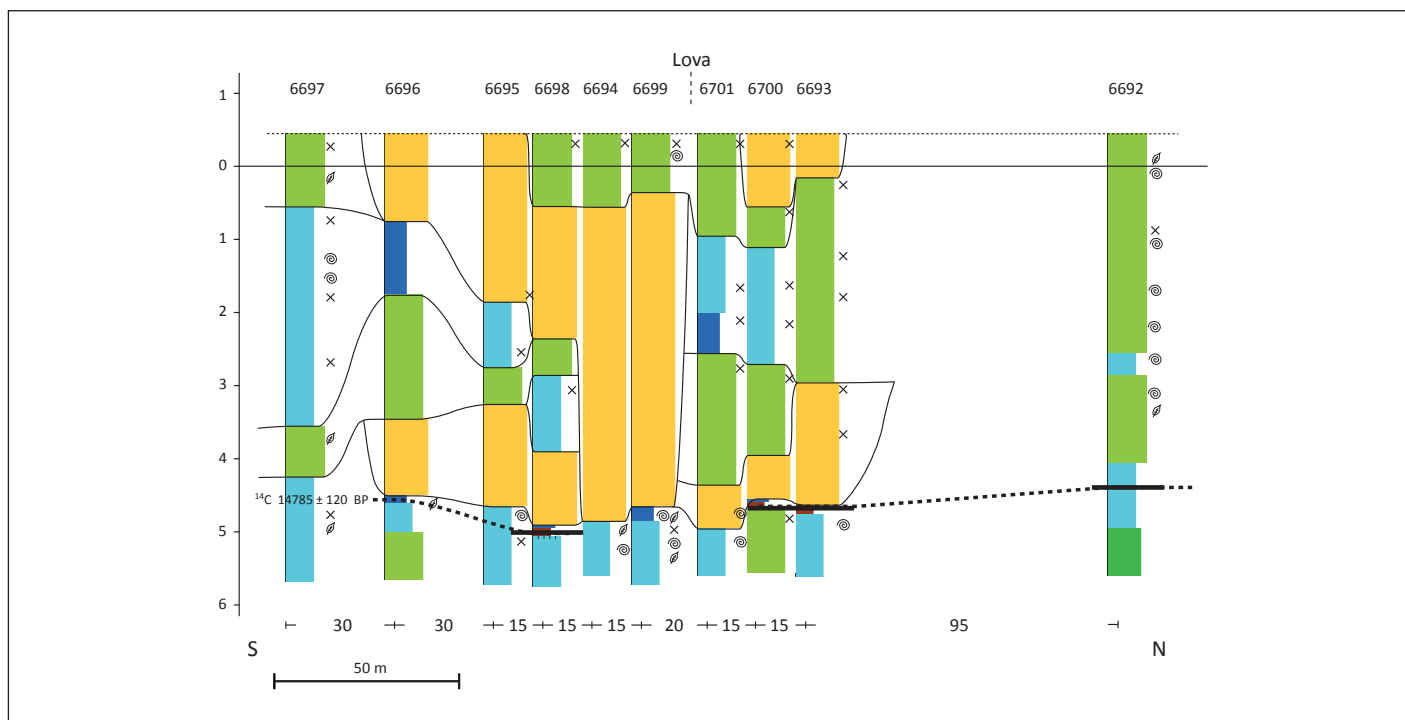


Fig. 7.5. Transetto "Boion" rappresentativo dell'unità di Camponogara (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). La legenda è riportata in fig. 6.1.

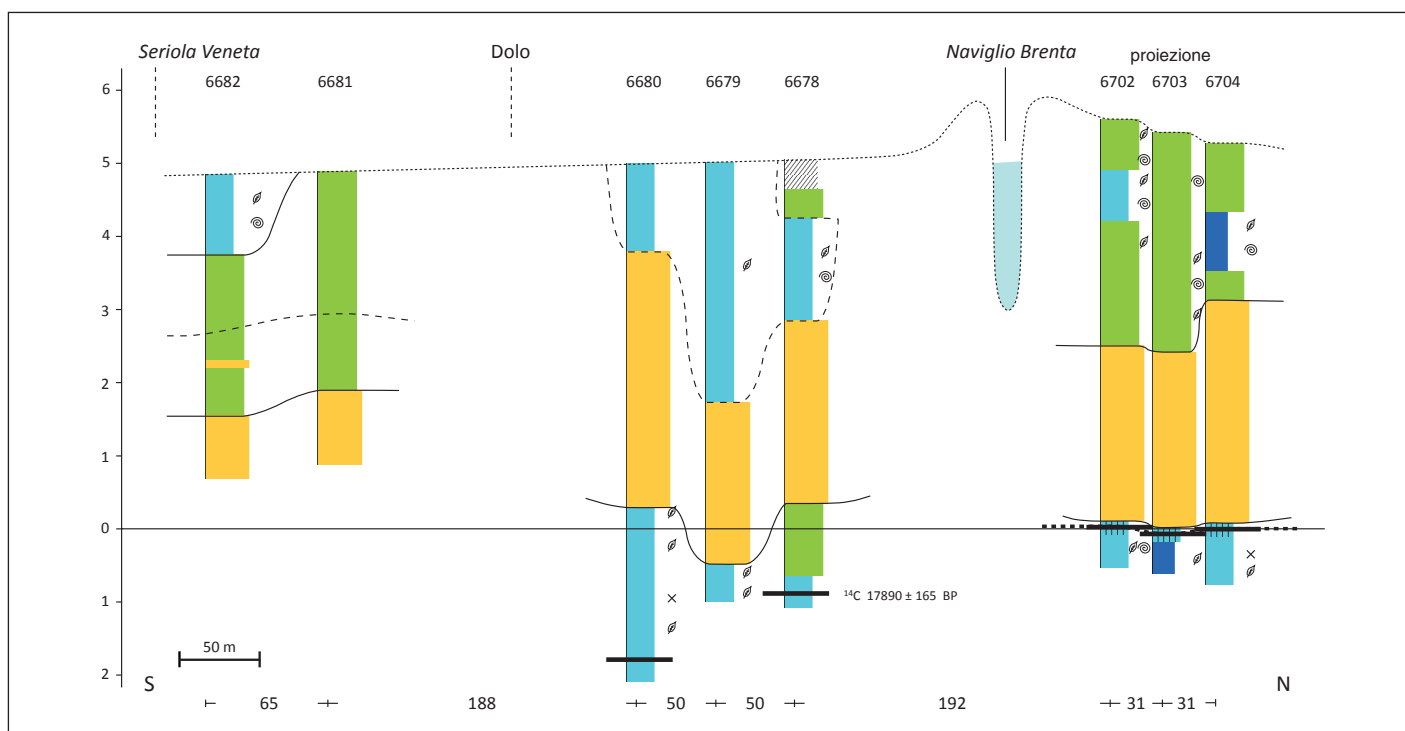


Fig. 7.6. Transetto "Naviglio Brenta" rappresentativo dell'unità di Dolo (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). La legenda è riportata in fig. 6.1.

Le strutture sedimentarie sabbiose dell'area centrale della provincia possono essere raggruppate in grandi complessi che corrispondono a direttrici di deflusso del Brenta pleistocenico (fig. 7.8):

**Complesso di Noale/Scorzè - Mestre** la cui presenza in territorio provinciale è segnalata in corrispondenza dell'area di Scorzè - Noale, passa per Martellago e Salzano, si dirige per Zelarino e Spinea verso il centro di Mestre ed infine si addentra sotto la laguna in corrispondenza della zona aeroportuale e portuale;

**Complesso di S. Maria di Sala - Malcontenta** che attraversa il sottosuolo del comune di S. Maria di Sala e Mirano; punta su Oriago, oltrepassa Malcontenta e si addentra in laguna presso Fusina;

**Complesso del Mirese** che entra nel territorio provinciale attraverso i comuni di Pianiga, Fiesso d'Artico e Vigonovo; a valle attraversa Dolo e Fossò; prosegue sotto i sedimenti lagunari a partire da Dogaletto e Valle Averte;

**Complesso di Campolongo Maggiore** che attraversa il terri-

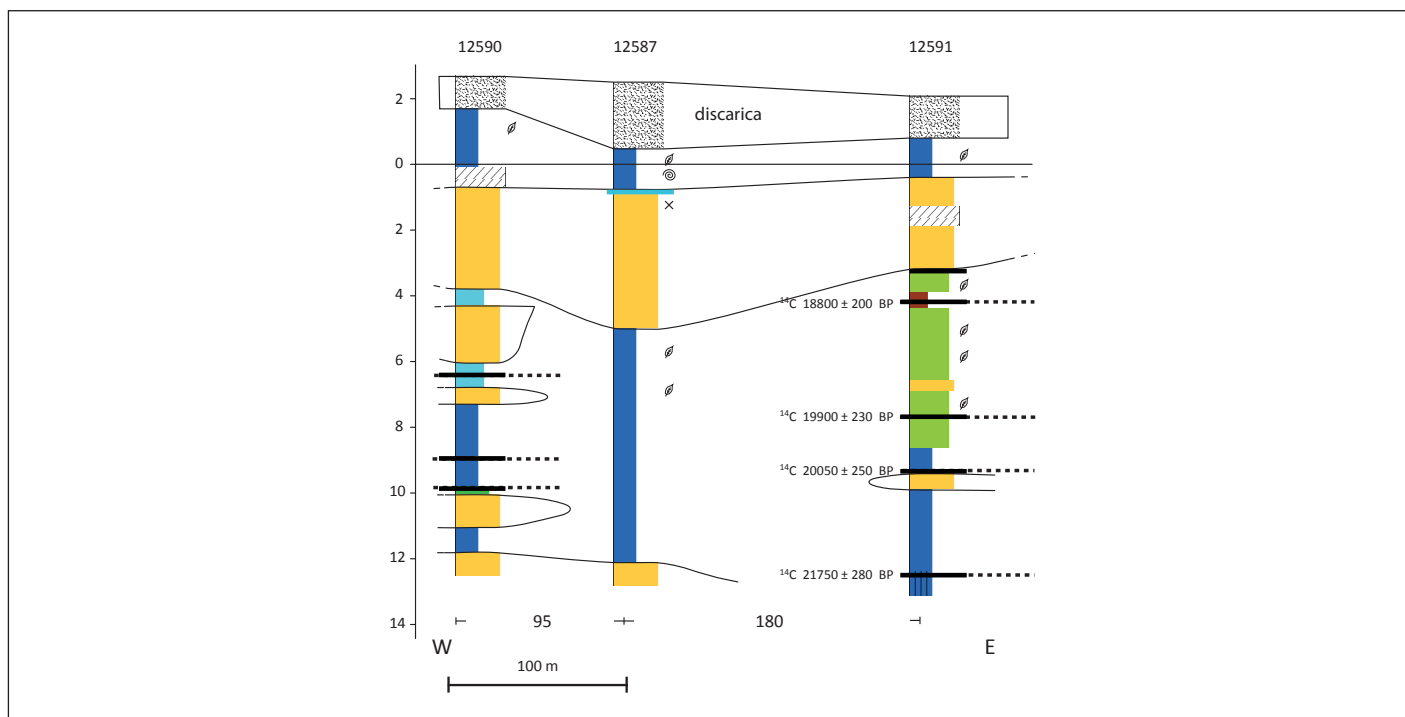


Fig. 7.7. Transetto "Foce Dese" rappresentativo dell'unità di Montiron (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). La legenda è riportata in fig. 6.1.

torio del comune di Campolongo e prosegue sotto la laguna in corrispondenza di Lova.

A questi complessi vanno sommati alcuni corpi sabbiosi che hanno avuto un accrescimento superficiale minore e che derivano o da depositi di canale fluviale, successivamente abbandonato (*Acquifero sabbioso di paleoalveo*), o da sedimenti collegati a un'attività più complessiva (canale fluviale, argini naturali, ventagli di rota) peculiare degli ambienti fluviali più dinamici, sviluppata in epoca post-glaciale lungo l'attuale percorso del Naviglio Brenta.

### 7.2.1. Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico

Il **complesso di Noale/Scorzè - Mestre** è rappresentato, nel suo nucleo principale formato da varie ramificazioni, da una fascia di territorio larga complessivamente circa 5,5 km. Un importante corpo settentrionale è discosto di un paio di chilometri e mantiene più punti di connessione e confluenza con la struttura principale. Il nucleo principale presenta una larghezza media compresa fra 2 e 3 km: valori mantenuti per lunghi tratti in questa porzione del territorio provinciale.

Il tetto di questo complesso sabbioso si trova in prevalenza a una profondità variabile tra -1 e -7 m dal p.c. (fig. 7.9). In particolare, nella parte meridionale di questa fascia di territorio si trovano strati sabbiosi a contatto con i terreni di riporto in cui il tetto della serie è pedogenizzato, con presenza di orizzonti di lisciviazione dei carbonati, screziature ocracee poco diffuse e rare concrezioni calcaree.

Le sabbie hanno una granulometria compresa fra fine e grossolana ma quella prevalente è medio-fine; sono mediamente limose soprattutto nei termini più fini. Negli strati al tetto della serie si possono trovare noduli di limo debolmente argilloso con diametro massimo pari a 3 cm. Una caratteristica che spesso accomuna i corpi sabbiosi di questo complesso è la presenza in tracce di ghiaia da media a fine e di sabbia grossolana soprat-

tutto nella parte mediana e bassa della sequenza, riscontrabile da Noale fino almeno al centro di Mestre. La ghiaia ha un diametro massimo da 2 a 4 cm, ma si possono rilevare anche ciottoli, è poligenica e sub-arrotondata. In figura 7.9 (profilo G-G') sono riportati i punti dei sondaggi in cui è rilevata la presenza, anche se in traccia, di ghiaia e ciottoli (punti in rosso), assenti in altri corpi del sistema.

All'interno della sequenza possono trovarsi lenti argilloso-limose con spessori fino a 1 m.

Lo spessore minimo considerato per la rappresentazione cartografica dei corpi è 5 m ma, lateralmente, essi possono chiudersi in maniera netta nello spazio di 200-300 m o saldarsi a corpi sabbiosi di minore spessore e quindi meno importanti dal punto di vista idrogeologico.

L'analisi dei sondaggi e dei profili permette di individuare lo spessore massimo di tale complesso in corrispondenza del confine fra i comuni di Spinea e Martellago nel momento in cui il nucleo della struttura superficiale che si distende in direzione NW-SE da Noale e Mestre si incrocia, sovrapponendosi, con un corpo più profondo con probabile provenienza NNW-SSE. Il primo ha uno spessore medio di circa 15 m, valore che si mantiene costante in tutto il territorio provinciale, e una larghezza media di 2,5 km.

Nella porzione nord del complesso, invece, sono presenti altri corpi di deposizione sabbiosa a profondità maggiori di 13 m dal p.c., mascherati nella cartografia da quelli più superficiali e che la scarsità di dati spinti a quelle profondità non permette di precisare, nemmeno nelle eventuali connessioni con i corpi ghiaiosi di probabile dominio del Piave che i sondaggi e i profili geologici (per esempio il profilo C-C' dalla località Martellago verso nordest) lasciano ipotizzare a partire da circa 24 m dal p.c. (Bondesan *et al.*, 2002).

Ancora più a nord i corpi sabbiosi si rarefanno: siamo verso il limite nord-orientale del megafan del Brenta dove i sedimenti si interdigitano con quelli del dominio del Piave.

Al bordo lagunare, si suppone che almeno tre corpi sabbiosi

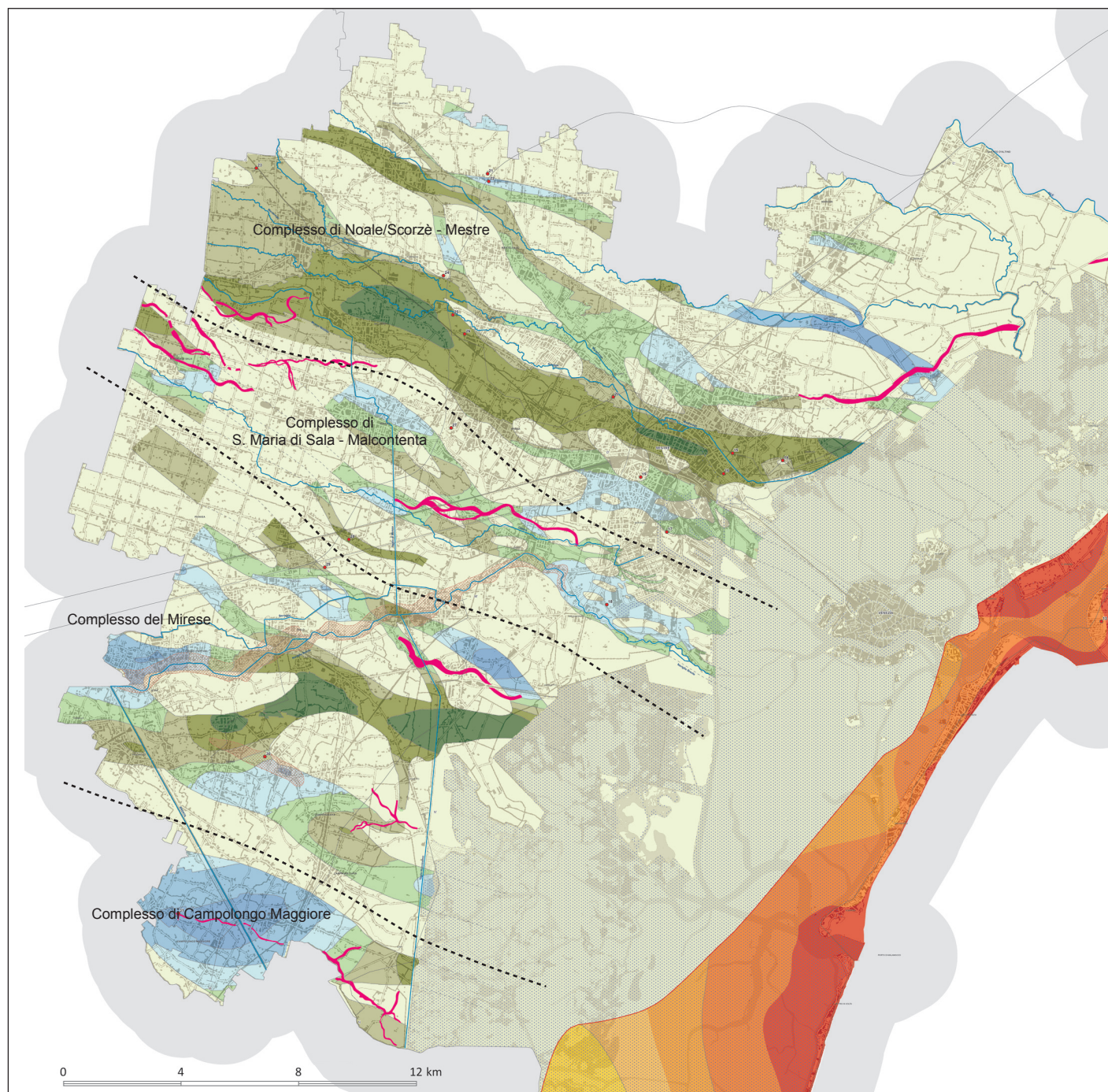


Fig. 7.8. Sistema Idrogeologico Centrale (stralcio della Tavola1) con indicati i complessi sabbiosi del Brenta pleistocenico.

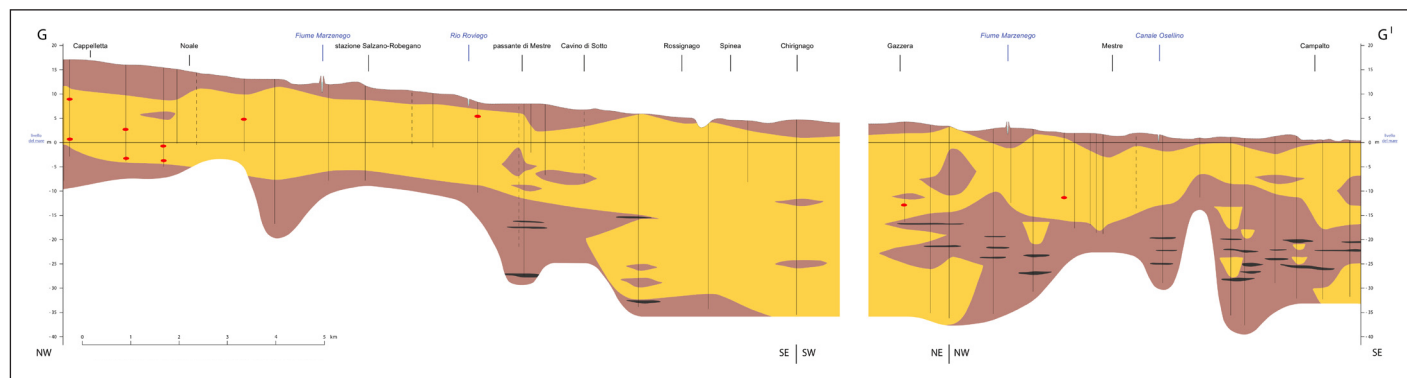


Fig. 7.9. Profilo G-G' rappresentato nella Tavola 2c. Il profilo è tracciato longitudinalmente al complesso di Noale/Scorzè - Mestre (legenda in fig. 7.10).

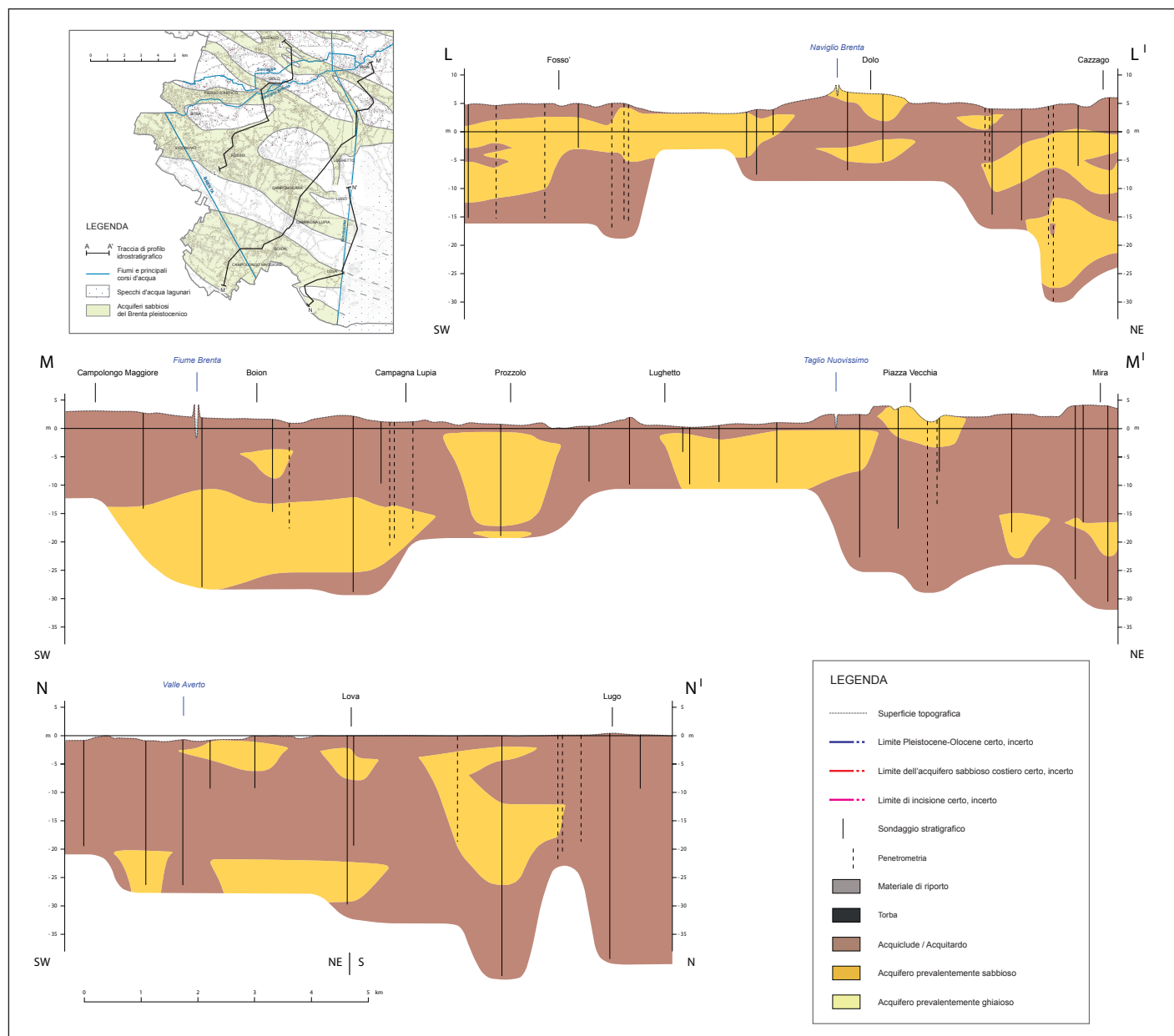


Fig. 7.10. Profili L-L', M-M' e N-N'' rappresentati nella Tavola 2c. I profili sono tracciati trasversalmente al complesso del Mirese e di Campolongo Maggiore.

continuo in direzione sudest verso la costa; in particolare quello centrale sembra dirigersi verso il centro storico di Venezia. Visto lo spessore delle sabbie e la profondità del tetto del corpo sabbioso, quest'ultimo è stato messo in relazione con il paleoalveo riconosciuto sotto i depositi lagunari da Zezza (2007) e riportato nella Tavola 1.

Il **complesso di S. Maria di Sala - Malcontenta** ha una larghezza complessiva di circa 2-3 km ed è composto da più corpi sabbiosi i cui tetti si trovano a profondità compresa fra 5 e 11 m dal p.c. mentre la larghezza media dei corpi principali è di circa 600 m.

Il suo rilevamento è frammentario nella parte più interna della provincia a causa della scarsità di dati, mentre è unitario nella zona industriale di Porto Marghera e in località Fusina dove la considerevole quantità di indagini presenti ha permesso una caratterizzazione molto dettagliata delle strutture sedimentarie. Alcuni corpi sabbiosi si affiancano e si sovrappongono in maniera che, localmente, si fondono i più superficiali con quelli più profondi e la sequenza perviene a contatto con i terreni di

riporto. In particolare, sono evidenti tre strutture sedimentarie sabbiose, una profonda e due più superficiali disposte a nord e a sud di questa, che talora sono sovrapposte e separate da materiali fini (vedi profilo di figg. 7.3 - 7.4 tratto a - b) ma in qualche punto si presentano fuse fino a costituire sequenze uniche dagli spessori importanti e che possono arrivare a circa 20 m, mentre il valore degli spessori medi può essere computato in 15 m.

Le sabbie sono limose e debolmente limose, di granulometria prevalente media e fine e al loro interno possono trovarsi lenti argilloso-limose con spessori fino a 1 m.

Questo complesso mostra poche connessioni con quelli adiacenti: in numerose porzioni di territorio esterne alle fasce rappresentate in carta, soprattutto in quelle prossime al bordo lagunare, i sondaggi evidenziano un'ampia preponderanza di sedimenti argilloso-limosi nei primi 20-30 m di profondità (vedi profilo di figg. 7.3 - 7.4 tratto b - c).

Verso il bordo lagunare, si suppone che almeno due corpi sabbiosi continuino in direzione sudest verso la costa.

Il **complesso del Mirese** è rilevato in una fascia ampia del territorio di larghezza complessiva di circa 8 km, in una zona, però, dove i sondaggi non sono frequenti. Esso consiste in vari corpi sabbiosi il cui nucleo di deposizione presenta un tetto sub-affiorante e compreso fra 1 e 5 m dal p.c. e una larghezza media di circa 2 km. Tale nucleo si snoda da Vigonovo in direzione ovest-est, fino al bordo lagunare nei pressi della località Dogaletto. Lo spessore medio del corpo sabbioso è circa 12 m.

Sono presenti, verso nord, altri corpi sabbiosi significativi, il cui tetto è più profondo di 12 m dal p.c. e lo spessore medio pari 10 m. Quando si sovrappongono (attorno alla località Dogaletto) la sequenza raggiunge spessori di circa 20 m. Discosto, verso sud, si rileva in maniera irregolare, a causa della mancanza di informazioni, la presenza di un altro corpo sabbioso-limoso il cui tetto giace a circa 6 m dal p.c. ma che può essere in continuità con corpi di canale minori e più superficiali arrivando a essere sub-affiorante. Lo spessore medio è circa 10 m.

La granulometria va dalla sabbia fine alla grossa anche se sono state rilevate tracce di ghiaia fra circa 8 e 10 m sul p.c. e materiale vegetale di grosse proporzioni.

Le poche conoscenze della situazione del sottosuolo nello specchio lagunare fanno presumere che almeno due corpi sabbiosi continuino in direzione est e sudest verso la costa.

Il complesso più meridionale di questa porzione del territorio provinciale, **complesso di Campolongo Maggiore**, si sviluppa in corrispondenza del comune di Campolongo Maggiore, in un'area a bassa densità di dati, e consta prevalentemente in un insieme di corpi sabbiosi piuttosto profondi. Il tetto della sequenza principale giace a partire da circa 12 m dal p.c. e lo spessore medio è circa 10 m con massimi anche superiori a 15 m (fig. 7.10).

Le sabbie sono in generale limose e debolmente limose, di granulometria prevalente fine e medio-fine.

Verso il bordo lagunare la sequenza viene mascherata da depositi superficiali di paleoalveo.

### 7.2.2. Approfondimento per l'area con maggior disponibilità di dati (Porto Marghera)

Nell'area di Porto Marghera, dove era disponibile una maggiore quantità di dati stratigrafici, erano stati individuati già nel 2009, nell'ambito dell'apposita indagine già più volte citata, 4 principali corpi sabbiosi pleistocenici, i quali sono stati verificati ed estesi a monte nell'ambito di questo studio. Le figure 7.13 riportano schematicamente tali corpi (già riportati in Tavola 1), convenzionalmente delimitati dalla isopaca 5 metri e, con retino azzurro, un'area (in gran parte occupata dal Petrolchimico di Marghera) in cui si ha la presenza di due corpi sabbiosi, mediamente spessi ciascuno tra i 4 ed i 5 metri, sovrapposti e separati da un livello parzialmente continuo di litotipi argillo-limosi. Si precisa che questi ultimi sono solo parzialmente rappresentati in Tavola 1, in quanto normalmente di spessore inferiore ai 5 metri.

Dato il dettaglio disponibile su questa parte del territorio provinciale (di particolare interesse pratico, in quanto occupato dalla zona industriale di Porto Marghera) si fornisce breve approfondimento delle caratteristiche idrogeologiche dei corpi sabbiosi. Procedendo da nord a sud, troviamo 4 corpi sabbiosi allungati da ovest verso est, in parte idrogeologicamente connessi tra loro, caratterizzati da spessori continui fino a oltre 10-20 metri di sabbia, con collegamenti con strutture analoghe a monte ed il corpo a "doppia falda". Le principali caratteristiche sono:

- **corpo sabbioso di viale San Marco, appartenente alla**

**parte terminale del complesso Noale/Scorzè** - situato in corrispondenza dell'area sud-orientale di Mestre, questo corpo sabbioso tabulare di larghezza superiore a 1200 m e spessore attorno a 8/9 m, è sub-superficiale (con quote del tetto comprese fra +1 e 0 slm). È impostato sulla direttrice che da Noale e Maerne si dirige verso il centro di Mestre in corrispondenza del fiume Marzenego, caratterizzata dalla presenza di potenti strati di sabbia il cui tetto si trova a una profondità variabile tra 2 e 4 m dal p.c., con letto fino a 18 m e spessori massimi delle sabbie di circa 16 m. La caratteristica che spesso accomuna la descrizione di queste sabbie e che ha permesso di associarle tra loro, è la presenza in tracce di ghiaia da media a fine (con diametro massimo da 2 a 4 cm) nella parte bassa della sequenza, riscontrabile da Noale fino al centro di Mestre;

- **corpo sabbioso dell'area portuale appartenente alla parte terminale del complesso Noale/Scorzè** - situato in corrispondenza dell'area ferroviaria del porto commerciale, è un corpo sabbioso largo circa 400 m e di spessore compreso fra -3 e -18 m slm; impostato sulla direttrice che da Salzano attraversa Spinea e Chirignago fino al centro di Marghera è spesso interconnesso con quello posto a nord di Viale San Marco.
- **sistema doppio acquifero confinato "doppia falda", appartenente alla parte terminale del complesso Santa Maria di Sala - Malcontenta** - direttamente interconnesso a sud con il successivo corpo sabbioso di Malcontenta, è costituito da due corpi sabbiosi sovrapposti tra loro, separati da un livello a bassa permeabilità; caratterizza la Penisola della Chimica e, erroneamente, in vari documenti pregressi era stato considerato il modello geologico di riferimento dell'intera area di Porto Marghera;
- **corpo sabbioso di Malcontenta, appartenente alla parte terminale del complesso Santa Maria di Sala - Malcontenta** - posizionato nel sottosuolo della darsena sud dell'area industriale di Porto Marghera, è una successione di corpi sabbiosi sovrapposti di larghezza totale attorno a 800 m, con una parte profonda compresa circa fra -10 e almeno -30 m slm, collegata ad una parte più superficiale e spostata di qualche centinaio di metri verso nord, di spessore analogo e tetto a circa -3 m slm. Spostandosi verso est, esso tende a dividersi in due distinti corpi sabbiosi separati da un livello di sedimenti fini analogamente a quanto riscontrato più a nord nella penisola della chimica;
- **corpo sabbioso di Fusina, appartenente alla parte terminale del complesso Santa Maria di Sala - Malcontenta** - situato proprio in corrispondenza del Naviglio Brenta, è un corpo piuttosto tabulare con profondità del tetto compresa fra -2 e -13 m slm e larghezza incerta poiché si hanno pochi dati verso il limite sud.

### 7.3. Caratterizzazione idrogeologica

I principali corpi acquiferi individuati sono costituiti da corpi sabbiosi pleistocenici che possono raggiungere spessori di oltre 10 metri e larghezze di oltre un chilometro, allungati in direzione NW-SE: *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico* (Tavola 1).

Il tetto di questi acquiferi si trova (Tavola 1 - profondità del tetto dell'acquifero) tra 0 e circa 15 m di profondità. Sempre in Tavola 1 (e nei profili di Tavola 2) si può osservare come il corpo sabbioso (con base talora costituita da ghiaia fine) che da Noale/Scorzè arriva a Mestre abbia il tetto vicino alla superficie per cui

l'acquifero risulta confinato o parzialmente confinato. Gli altri corpi per la maggiore profondità del tetto sono invece generalmente confinati.

Nel complesso occupano un'area di 290 km<sup>2</sup> ed hanno un volume approssimativo di 3.500 Mm<sup>3</sup> (corrispondente ad un volume teorico di acqua gravifica, ipotizzando una porosità efficace di 0,12, di circa 400 Mm<sup>3</sup>).

Oltre a questi corpi sedimentari, che rappresentano i più significativi elementi della circolazione idrica sotterranea, nei primi metri di sottosuolo si hanno anche corpi di limitato spessore (3-4 metri), legati a paleovalvei olocenici, con una geometria meandriforme (*Acquifero sabbioso di paleovalveo* - Tavola 1). Si tratta di acquiferi che hanno minor trasmissività e sono quantitativamente meno importanti. Il volume complessivo è stato infatti calcolato pari a circa 60 Mm<sup>3</sup> (corrispondente ad un volume teorico di acqua gravifica, di circa 7 Mm<sup>3</sup>, ipotizzando sempre una porosità efficace di 0,12).

La presenza di livelli di sabbia anche nelle aree a prevalente sedimentazione fine fa sì che sia possibile un collegamento tra i diversi corpi sabbiosi che quindi non vanno intesi come acquiferi isolati dagli altri. Il sistema idrogeologico dell'area centrale è stato caratterizzato mediante test idrogeologici in situ, monitoraggio potenziometrici in continuo ed elaborazioni di misure idrogeologiche pregresse. Le elaborazioni hanno inoltre valutato gli elementi che possono influenzare il sistema di afflussi-deflussi ed il regime potenziometrico.

La continuità metodologica del presente lavoro con precedenti attività svolte dalla Provincia in questa parte del territorio (si cita in particolare la *Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera*) hanno permesso di giungere ad una caratterizzazione idrogeologica particolarmente approfondita.

### Permeabilità

La permeabilità degli acquiferi contenuti nei corpi sabbiosi pleistocenici è stata determinata in alcune centinaia di punti (vedasi Tavola 5), molti dei quali ricadenti nell'area di Porto Marghera (si veda l'ingrandimento sempre in Tavola 5). Una cinquantina di test sono stati invece eseguiti nella parte a monte. Non si sono realizzate prove di permeabilità sugli *Acquiferi sabbiosi di paleovalveo*. La Tavola 5 riporta i risultati dei test disponibili, suddivisi per metodologia di prova e per classe di permeabilità.

Per questa parte del territorio provinciale si dispone quindi di un numero molto elevato di test idrogeologici che però sono concentrati nell'area di Porto Marghera.

In sintesi risulta:

- totale prove di permeabilità: 493
- di cui in area Porto Marghera: 442
- di cui nell'area a monte: 51

Va precisato che non tutti i 442 valori rilevati nell'area di Porto Marghera ricadono sui corpi sabbiosi pleistocenici ma solo una parte (204). Discriminando i dati in base alla tipologia di prova,

si evidenzia come la maggior parte dei parametri derivi da prove veloci e di facile esecuzione come slug test e prove Lefranc a carico variabile. Le 51 prove disponibili nell'area più a monte sono così suddivise:

- Prove Lefranc: 18
- Prove di Pompaggio: 8
- Slug test: 25

Appare quindi opportuno che le elaborazioni tengano conto di questa disomogenea distribuzione territoriale dei dati distinguendo le prove (204) ricadenti in questa parte di territorio, rispetto all'area a monte (51). I valori caratteristici di permeabilità sono riportati nella tabella 7.1.

Risulta complessivamente una permeabilità variabile tra 1E-06 m/s e 2E-04 m/s ed un valore mediano di 2E-05 m/s.

In figura 7.11 si riporta la rappresentazione della frequenza dei valori e la percentuale cumulativa.

Si osserva come la percentuale cumulativa delle due famiglie di dati considerate siano sostanzialmente uguali. Risulta quindi che la permeabilità dei corpi sabbiosi pleistocenici del Brenta nella parte ricadente all'interno del territorio provinciale è sostanzialmente uniforme (e quindi, indirettamente, le caratteristiche sedimentologiche-granulometriche).

Nella figura 7.12 si riportano i valori, misurati nell'ambito del presente lavoro, esclusivamente per i piezometri oggetto di monitoraggio in continuo. I valori sono uniformi per metodologia di prova (slug test) e di interpretazione.

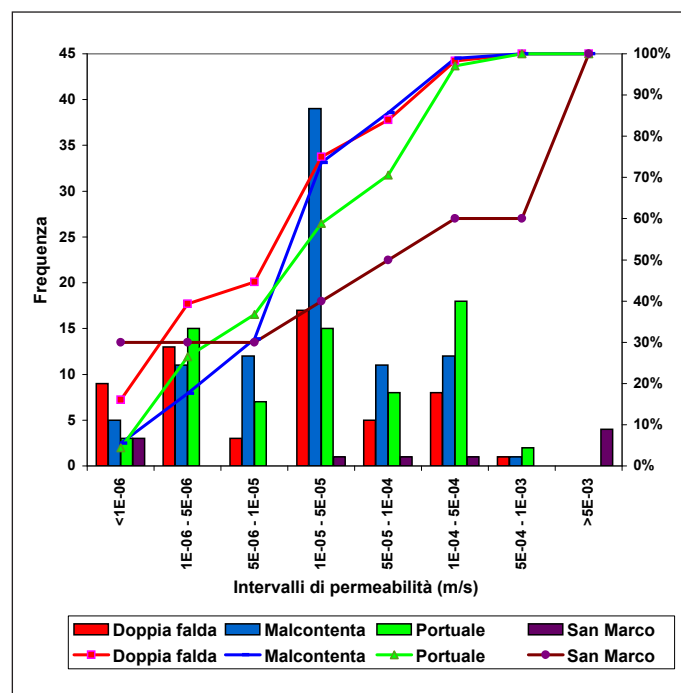


Fig. 7.11. Frequenza dei valori e percentuale cumulativa per le due famiglie di dati (area Porto Marghera e rimanente area centrale).

**Tabella 7.1. Valori caratteristici di permeabilità (m/s) degli Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico**

Area	Percentile 10	Percentile 25	Mediana	Percentile 75	Percentile 90
Porto Marghera	1,2E-06	3,3E-06	2,1E-05	7,4E-05	2,0E-04
Rimanente area centrale	1,6E-06	3,9E-06	2,0E-05	4,6E-05	1,2E-04
Complessiva	1,2E-06	3,5E-06	2,0E-05	6,7E-05	1,9E-04

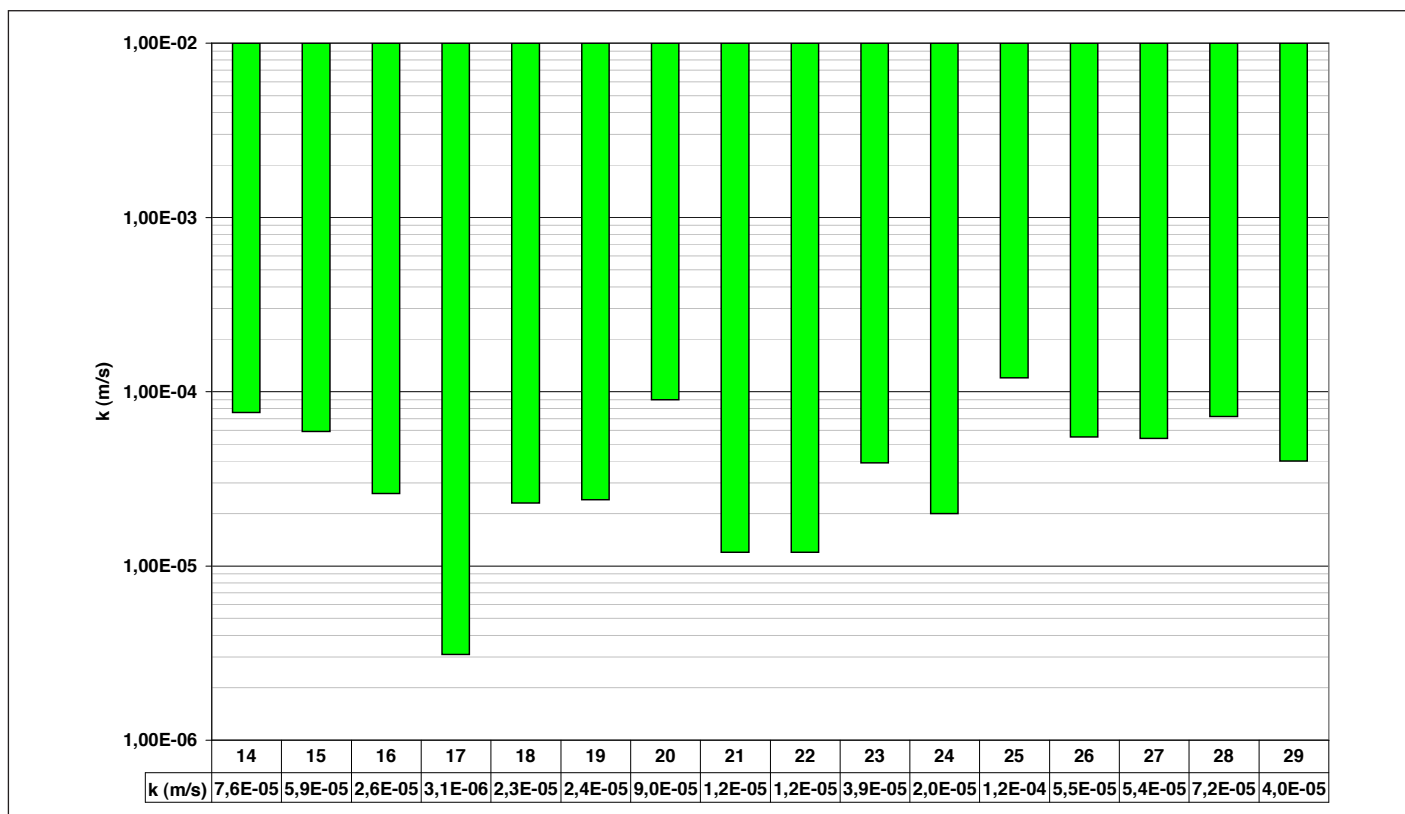


Fig. 7.12. Istogramma con i risultati degli slug test effettuati sui piezometri utilizzati per il monitoraggio in continuo. Tutti i punti ricadono sugli Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico.

Si confermano i valori caratteristici attorno a  $10^{-5}$  m/s. Nell'istogramma si osserva un picco di permeabilità per il piezometro 25 che attraversa un corpo sabbioso, qui compreso fra circa 1,5 e 11 m dal p.c., costituito da sabbie medio-fini limose

con presenza di clasti di ghiaia fine e a cui è attribuibile il valore di permeabilità particolarmente elevato.

Nell'area di Marghera, in banca dati sono presenti 442 record relativi a 314 punti di misura, alcuni dei quali risultano esterni

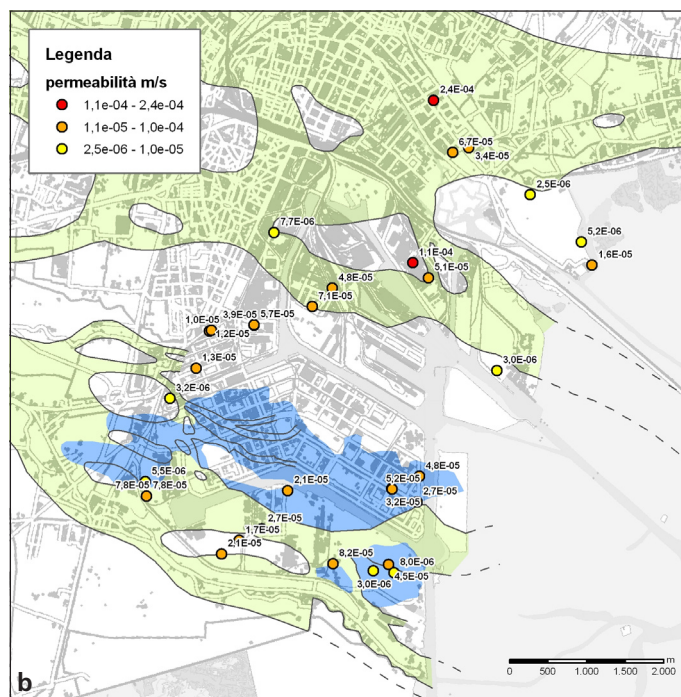
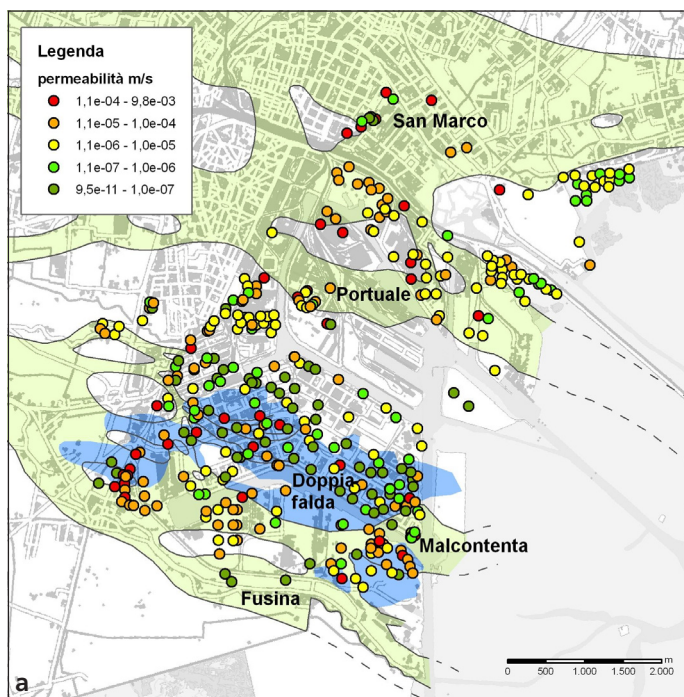


Fig. 7.13. Principali corpi acquiferi sabbiosi pleistocenici e distribuzione cartografica (a) di tutti i valori di permeabilità inseriti nella banca dati (riferiti sia ad acquiferi che ad acquicludi) e (b) valori misurati dal Servizio Geologico Provinciale sui corpi sabbiosi pleistocenici. In azzurro si distingue l'area caratterizzata da una "doppia falda" (vedi testo).

ai corpi acquiferi individuati. Nella figura 7.13a si riporta la distribuzione di tutti i valori, mentre in figura 7.13b si riportano i soli valori (metodologicamente uniformi) misurati dai tecnici del Servizio Geologico Provinciale tramite slug test.

L'elevata densità di dati permette di svolgere un raffronto statisticamente significativo sui valori di permeabilità che caratterizzano i singoli corpi acquiferi<sup>1</sup>.

Le curve di distribuzione cumulata (fig. 7.14a) evidenziano un andamento abbastanza uniforme per i quattro i corpi considerati, con valori di permeabilità leggermente superiori per il corpo dell'Isola Portuale e soprattutto di Viale San Marco. Per quest'ultimo, che alla base è caratterizzato dalla presenza di ghiaia fine, si hanno diversi valori maggiori di  $5 \times 10^{-3}$  m/s.

I valori mediani riferiti ad ogni corpo, distinti per tipologia di prova, sono riportati in figura 7.14b e variano per i corpi Portuale, doppia falda e Malcontenta in un range molto ristretto ( $1,6 \times 10^{-5}$  -  $3,0 \times 10^{-5}$  m/s) mentre risulta di  $1,5 \times 10^{-4}$  m/s sul corpo di Viale San Marco.

Nel complesso quindi i valori appaiono uniformi con l'eccezione del corpo di Viale San Marco presumibilmente per la presenza del citato livello di ghiaie medio-fini poste alla base dell'acquifero stesso.

### Contesto idrografico

La figura 7.15 schematizza il contesto idrografico in cui si localizzano gli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico*.

È presente una fitta rete idrografica costituita da una serie di corsi d'acqua che hanno origine dalle risorgive (Zero, Dese, Marzenego, ...) ed una rete di canali artificiali gestita dai Consorzi di Bonifica. La cartografia riporta anche la suddivisione dei bacini

consortili. Nella parte centrale si segnala la presenza del Naviglio Brenta che costituiva il corso del Brenta prima delle deviazioni attuate dai veneziani a partire dal XIV secolo.

In prossimità della laguna sono presenti diverse idrovore che garantiscono il sollevamento e lo scarico delle acque in laguna. Alcune idrovore, legate a specifiche condizioni idrauliche, sono presenti anche nelle aree più interne.

### Regime potenziometrico - Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico

Sul Sistema Idrogeologico Centrale si dispone di monitoraggi in continuo su 18 piezometri dei quali 16 intercettano gli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico* e i rimanenti 2 (piezometri 30 e 31) *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo*.

I dati di dettaglio relativi ai singoli monitoraggi sono riportati nelle schede dell'Allegato 1.

La figura 7.16 riporta il monitoraggio potenziometrico di tutti i piezometri intercettanti gli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico* dal 2009 al 2012. In figura 7.17 viene presentato con maggior dettaglio il solo anno 2010.

La lettura contemporanea di tutti i grafici permette di definire il diverso comportamento della falda nelle diverse parti del sistema idrogeologico ed alcuni elementi caratteristici della dinamica idrogeologica:

- un primo gruppo di piezometri (21-23) ricade in area a scolo prevalentemente naturale e sono caratterizzati da un regime potenziometrico prevalentemente influenzato dal regime pluviometrico;
- un secondo gruppo (24-29), ricadendo in territori sottoposti a scolo meccanico od alternato, evidenzia oltre all'influenza della pluviometria anche l'effetto della bonifica idraulica;
- un terzo gruppo (14-20) è relativo ai punti di misura più prossimi (entro alcuni chilometri) alla laguna. Qui le oscillazioni potenziometriche sono molto contenute (in alcuni casi

1. Per il corpo sabbioso di Fusina non si svolge un'analisi statistica per numero insufficiente di dati.

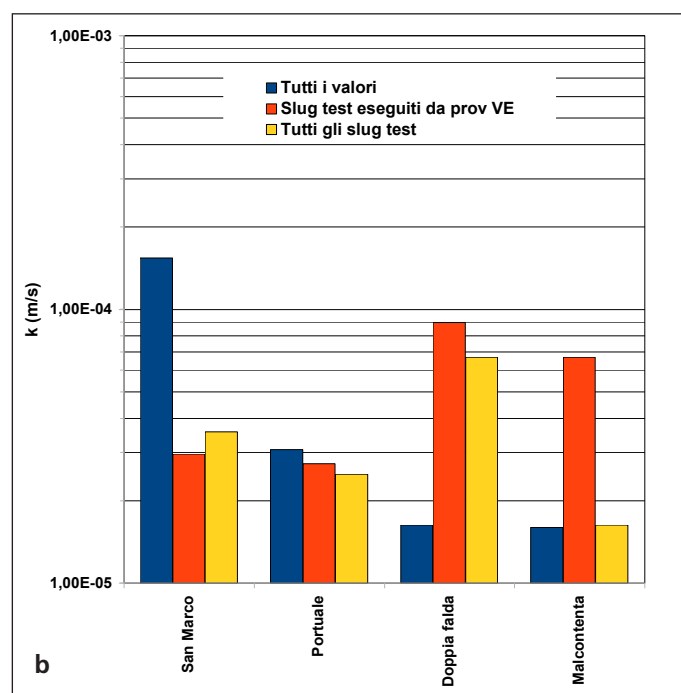
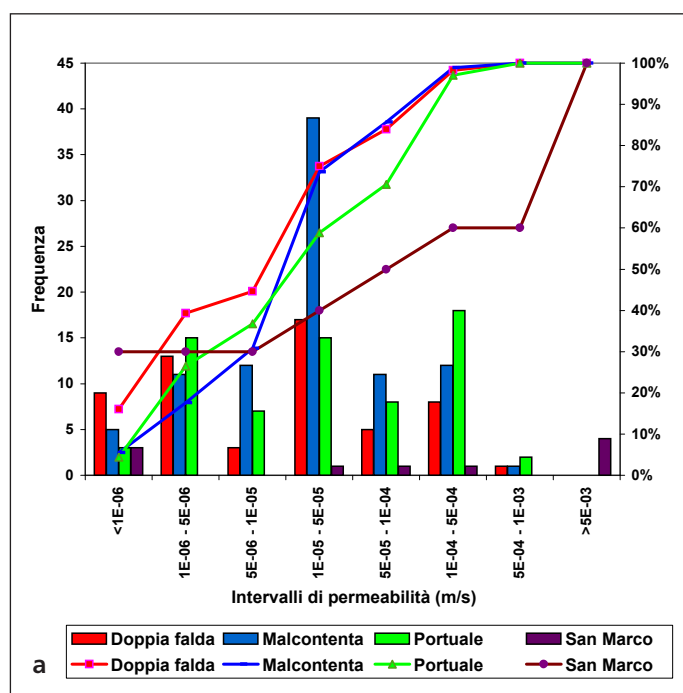


Fig. 7.14. Frequenza e curva di distribuzione cumulata dei valori di permeabilità suddivisi per corpo acquifero (a). Valori mediani suddivisi per corpo acquifero e per metodologia di prova (b).

anche inferiori ad un metro nell'anno) ed il regime appare controllato in prevalenza dalla marea;

- le oscillazioni potenziometriche nel Sistema Idrogeologico Centrale, nell'anno variano in genere tra gli 1 ed i 4 m e mediamente si mantengono entro un range di un paio di metri;
- il regime annuale è caratterizzato da una magra estiva e una piena invernale. Più evidenti sono le magre degli anni 2009 e 2010, mentre per il 2011 e 2012 si osserva una quota media della falda più bassa rispetto agli anni precedenti.

Nel complesso quindi gli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico*, pur avendo geometria e permeabilità uniforme nell'intero territorio indagato, hanno regime potenziometrico e quindi modalità di deflusso differente nelle varie parti del territorio, principalmente in funzione della loro localizzazione geografica e quindi dei fattori naturali (pluviometria, corsi d'acqua e marea) ed artificiali (scolo meccanico) che influenzano i livelli potenziometrici.

Visto il comportamento complessivo della potenziometria, con riferimento alle schede in Allegato 1 ed alle ubicazioni riportate in Tavola 1, si può definire il regime potenziometrico con maggior dettaglio nelle diverse parti dell'area centrale.

Un primo gruppo di piezometri (21-22-23 - fig. 7.18) è rappresentativo dell'area a scolo naturale (o prevalentemente naturale - vedi Tavola 5).

Il piezometro posto nella parte più a nord-ovest è il 23; più a valle ricadono i piezometri 21 e 22, posti a circa 400 m di distanza tra loro e solo il 22 è stato monitorato per circa 4 anni.

Qui il principale fattore che influenza il livello è la pluviometria. La falda, nel periodo di circa 3 anni di osservazione, ha una oscillazione massima di circa 2 m. A scala di anno idrologico si ha un regime stagionale con piena invernale e minimi estivi. Negli anni 2011 e 2012 si registra un abbassamento della falda di circa 50 cm sia nei massimi che nei minimi rispetto a quelli dell'anno 2010 (fig. 7.18).

Questa magra, più accentuata nel 2011 e nel 2012, si registra in tutti i piezometri del Sistema Idrogeologico Centrale (e anche di quello Nord-orientale).

Si osserva comunque che per i piezometri 21-22-23 vi è una tendenza a mantenere un livello minimo di base, presumibilmente in relazione con la rete scolante.

Un secondo gruppo di piezometri è rappresentativo dell'area interessata da scolo meccanico (24-25-26-27-28-29 - fig. 7.19; dettaglio per il solo anno 2010 e l'aggiunta del regime idrometrico di alcuni corsi d'acqua in fig. 7.20). Si riporta anche il piezometro 20, caratterizzato da un comportamento intermedio rispetto al successivo gruppo di pozzi.

Il piezometro posto più a monte è il 24. In questo caso si ha una netta correlazione tra livelli idrometrici (fiume Marzenego) e potenziometrici. Lo scolo meccanico in caso di eventi piovosi particolarmente intensi controlla il livello idrometrico contribuendo così a mantenere il livello della falda entro un livello massimo.

Analogamente, i piezometri 25, 26 e 27, che si ubicano più a sud in un acquifero localmente confinato, hanno un regime potenziometrico che risente della rete idraulica consortile (vedasi

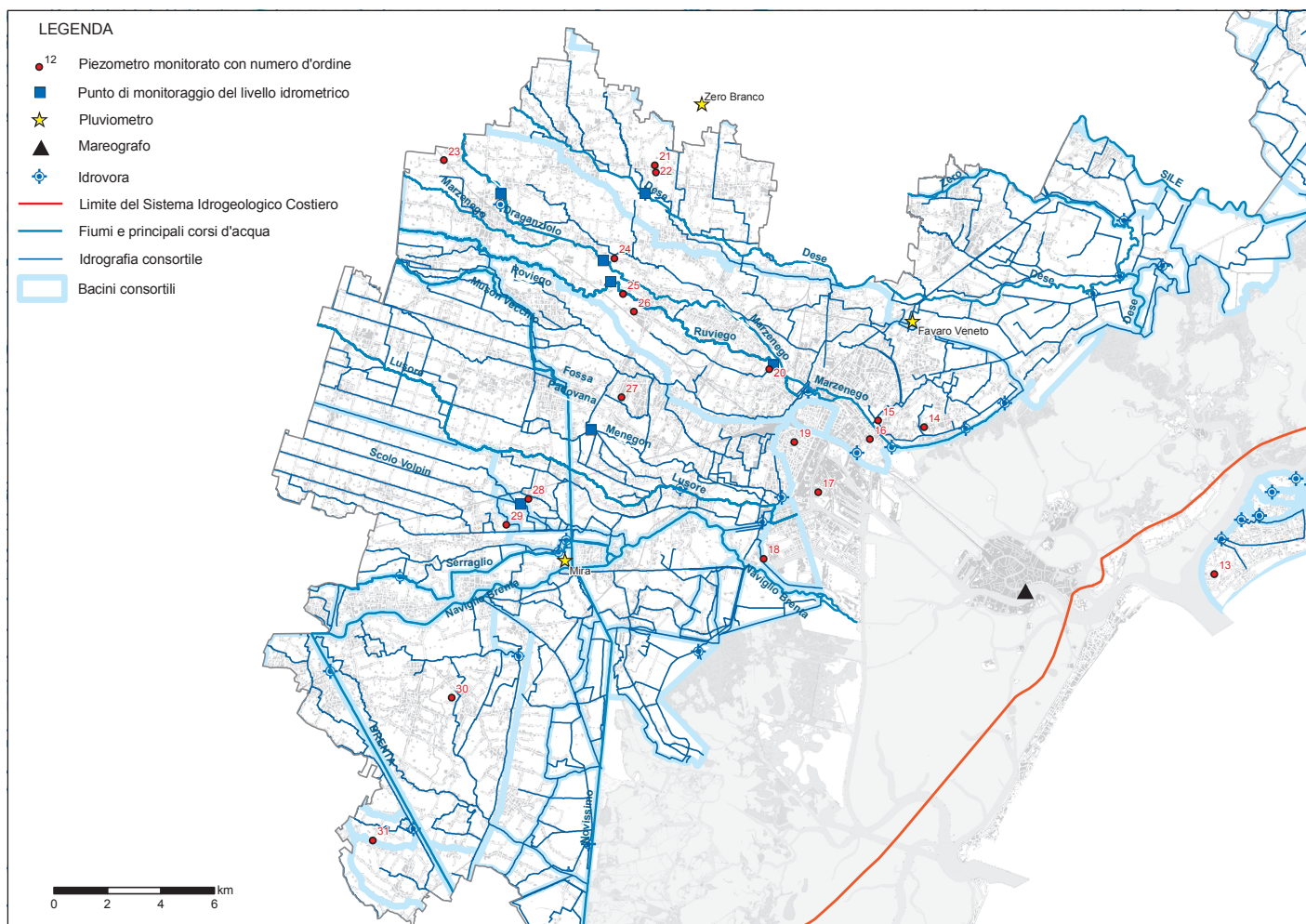


Fig. 7.15. Inquadramento idrografico e ubicazione dei punti di monitoraggio.

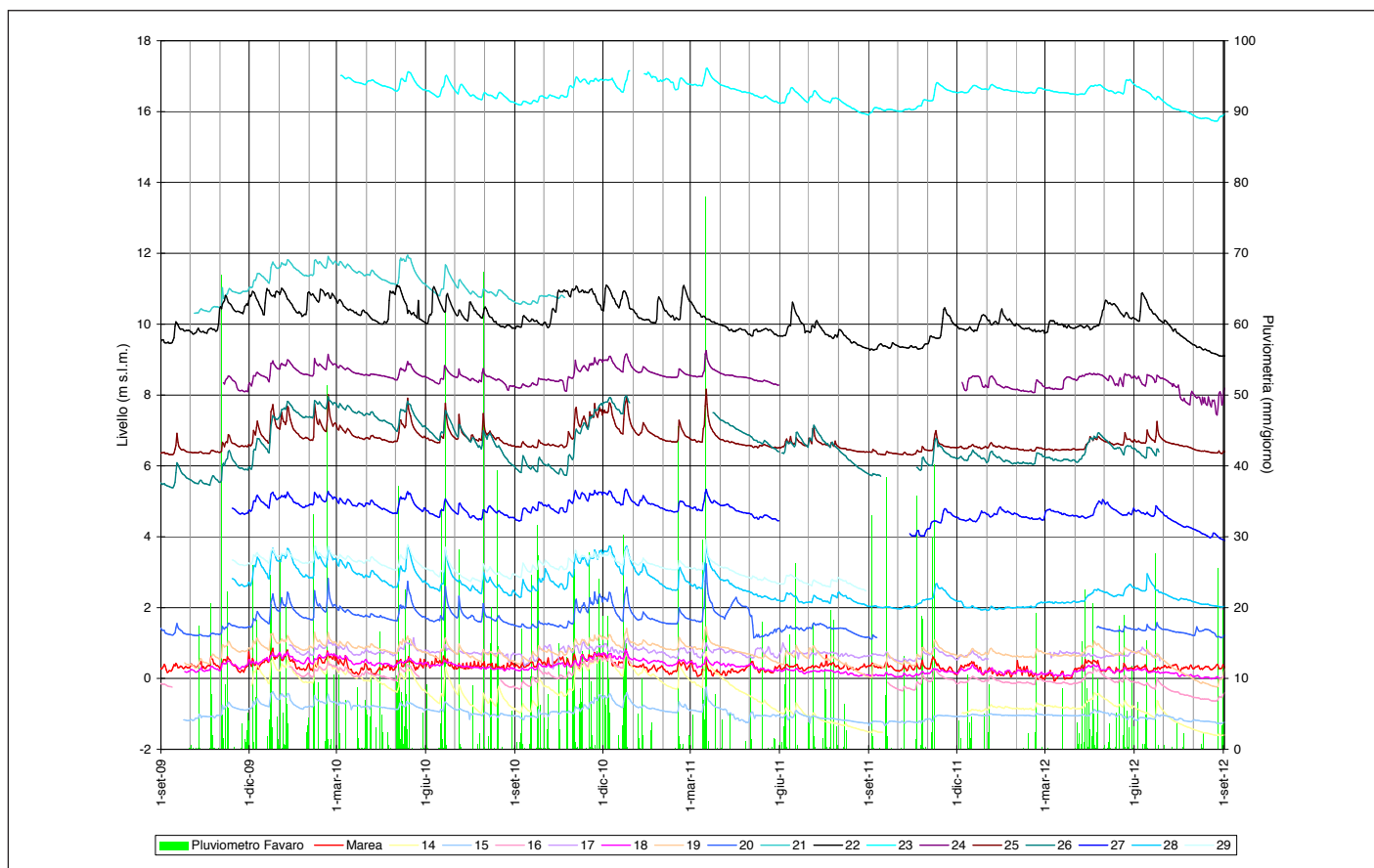


Fig. 7.16. Confronto del regime potenziometrico sui piezometri che intercettano gli Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico.

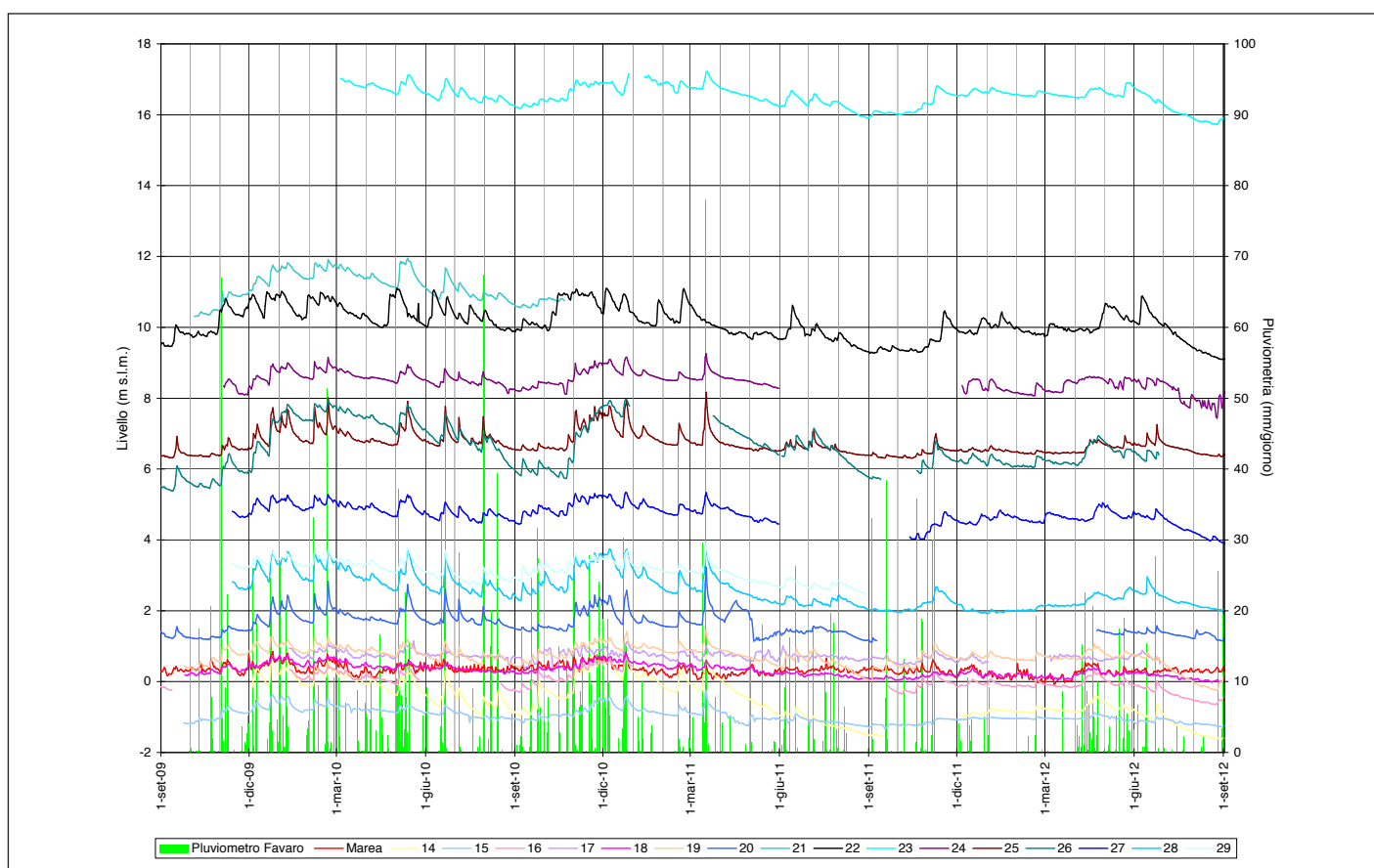


Fig. 7.17. Confronto del regime potenziometrico, per l'anno 2010, sui piezometri che intercettano gli Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico.

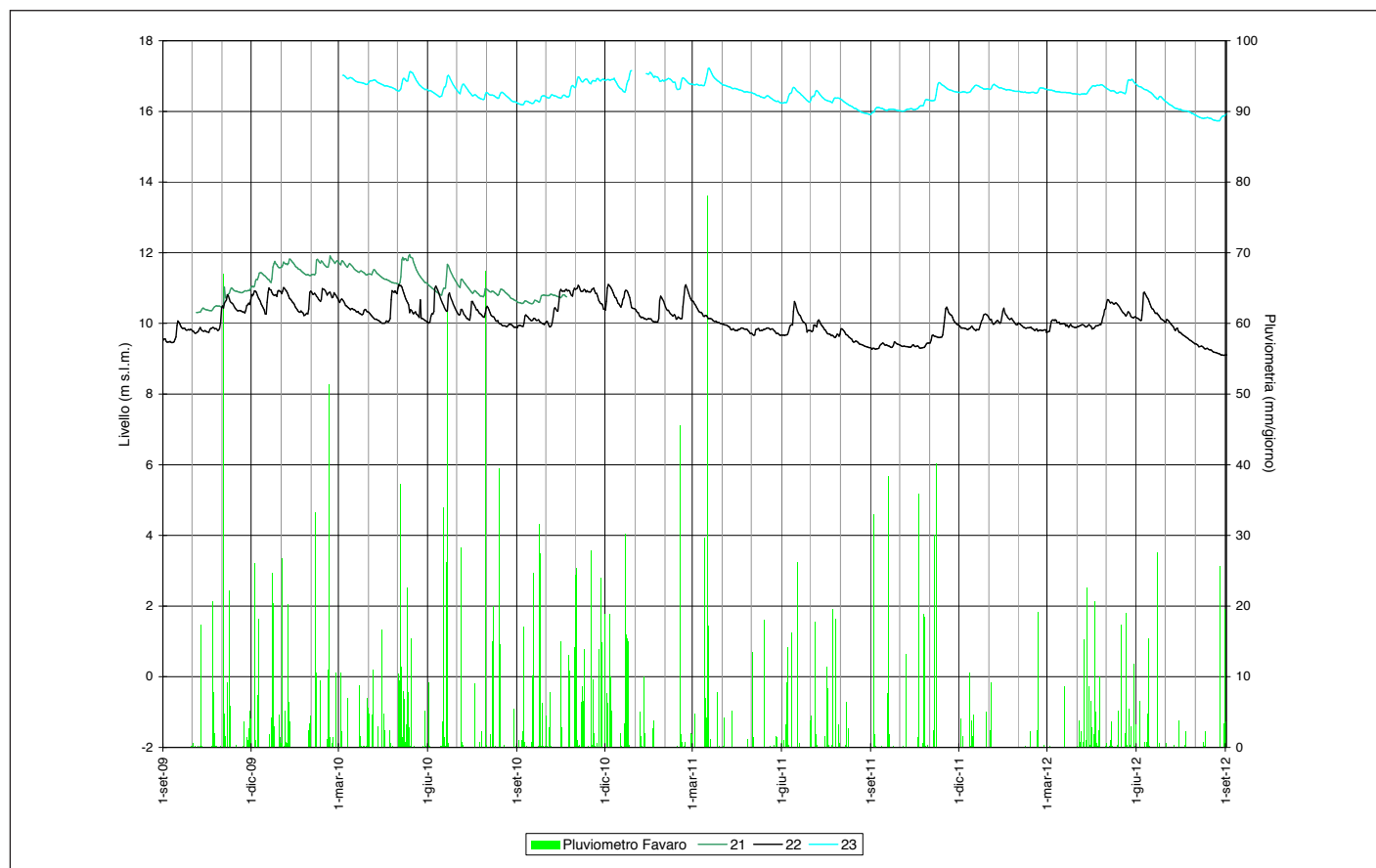


Fig. 7.18. Regime potenziometrico del gruppo di piezometri monitorati nell'area a scolo naturale.

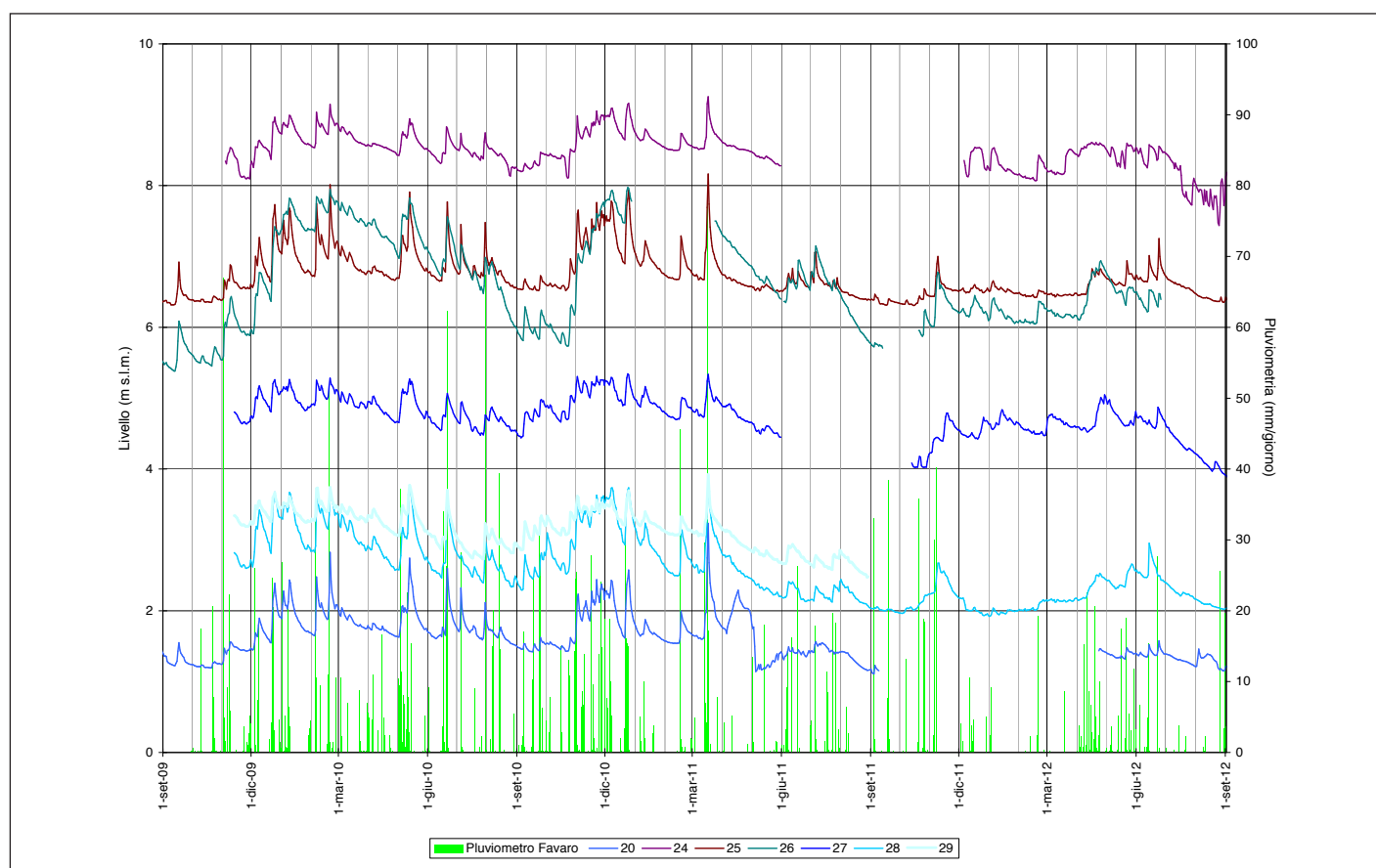


Fig. 7.19. Regime potenziometrico del gruppo di piezometri monitorati nell'area a scolo meccanico.

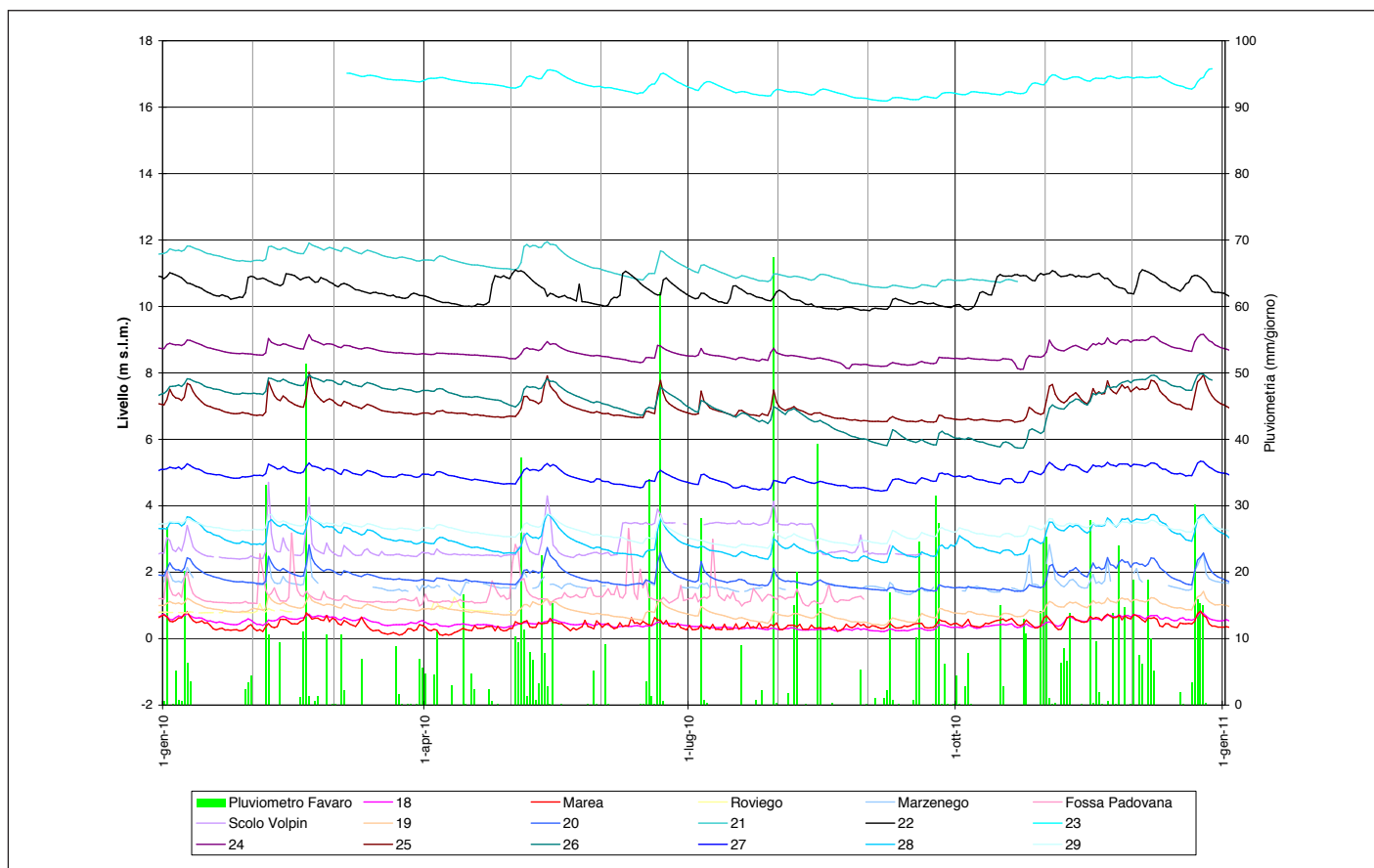


Fig. 7.20. Regime potenziometrico del gruppo di piezometri monitorati nell'area a scolo meccanico. Dettaglio per l'anno 2010 con inseriti i dati del regime idrometrico di alcuni corsi d'acqua.

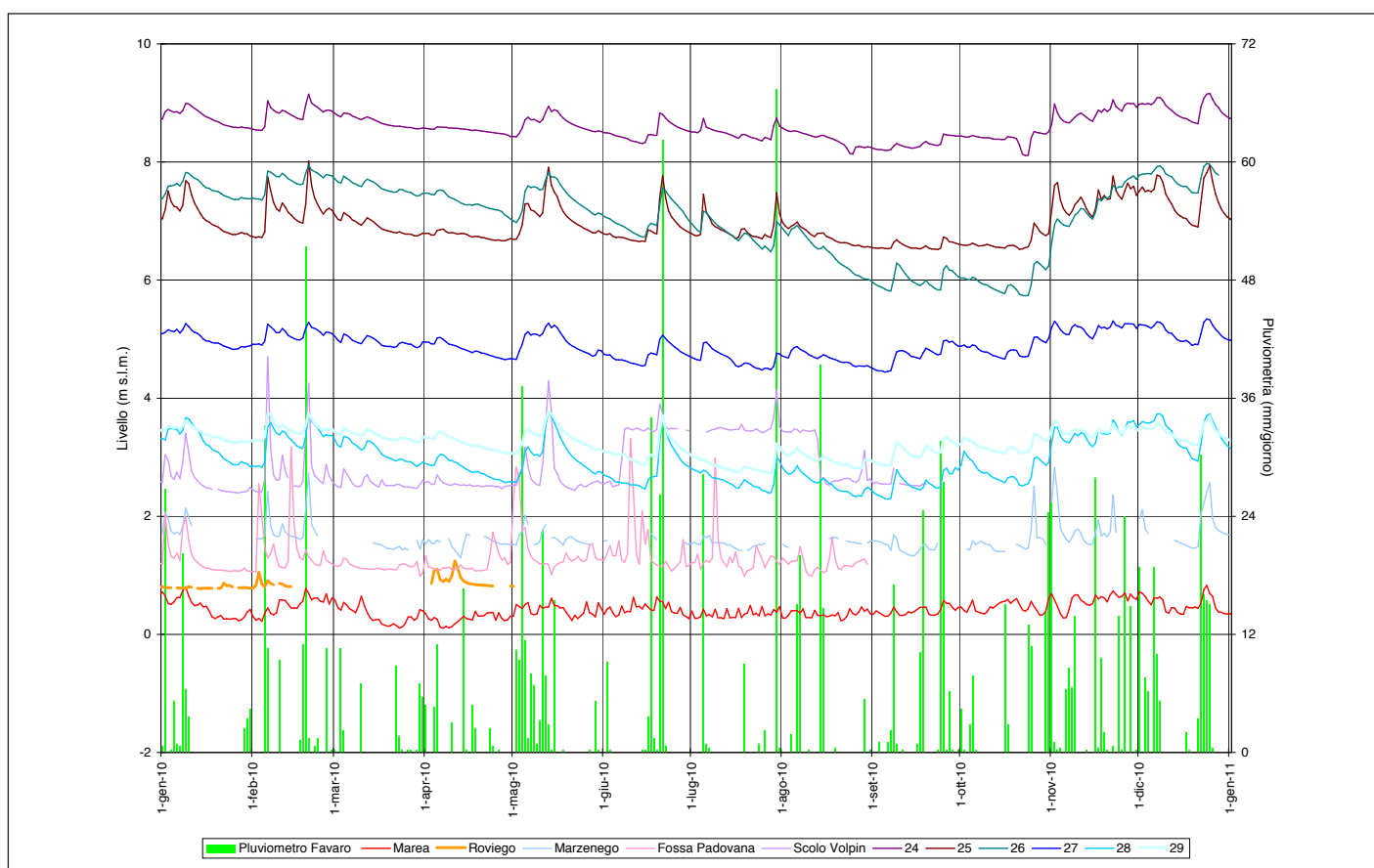


Fig. 7.21. Regime potenziometrico del gruppo di piezometri monitorati nell'area più prossima alla laguna.

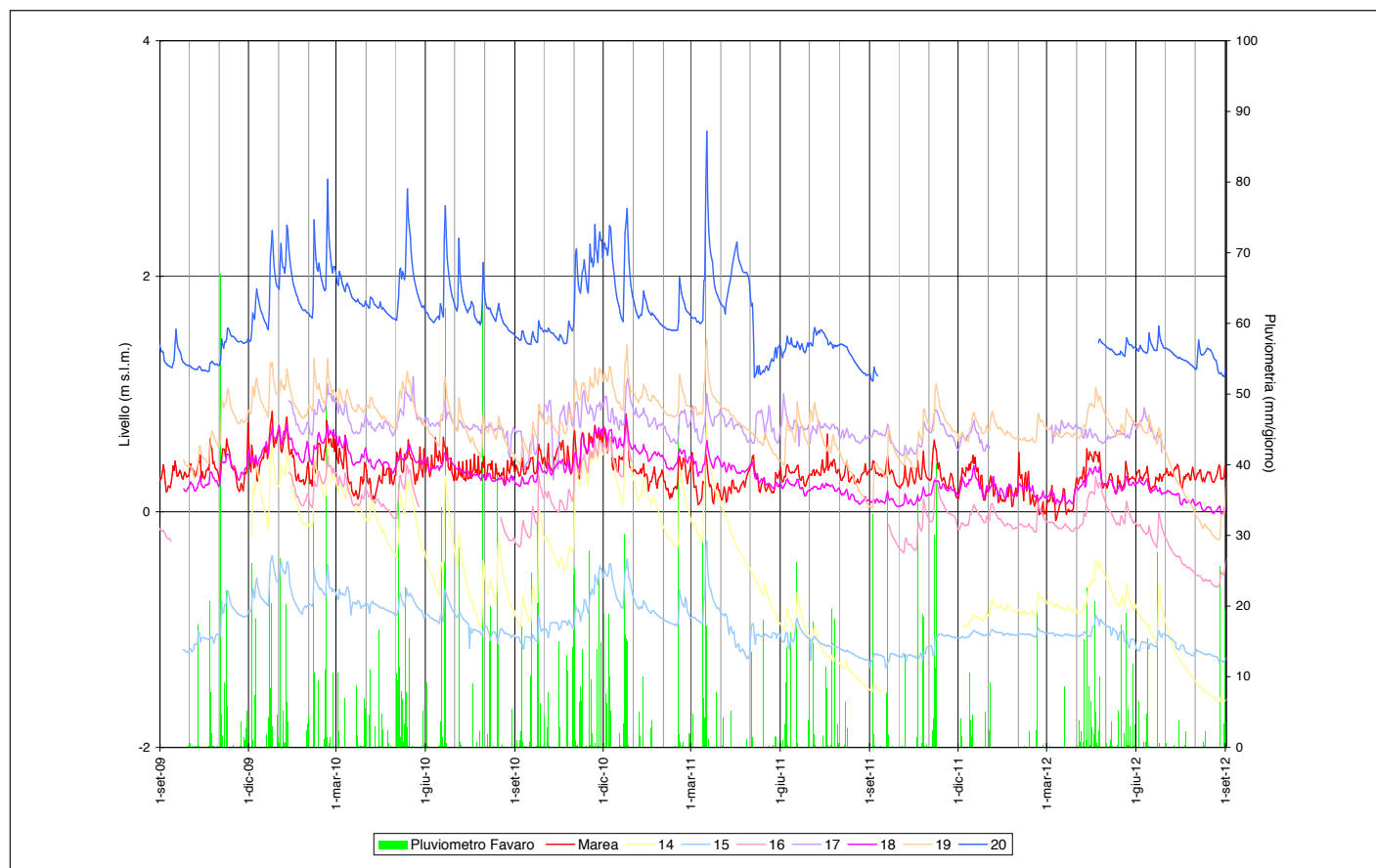


Fig. 7.22. Regime potenziometrico del gruppo di piezometri monitorati nell'area più prossima alla laguna. Dettaglio per l'anno 2010 con inseriti i dati del regime idrometrico di alcuni corsi d'acqua.

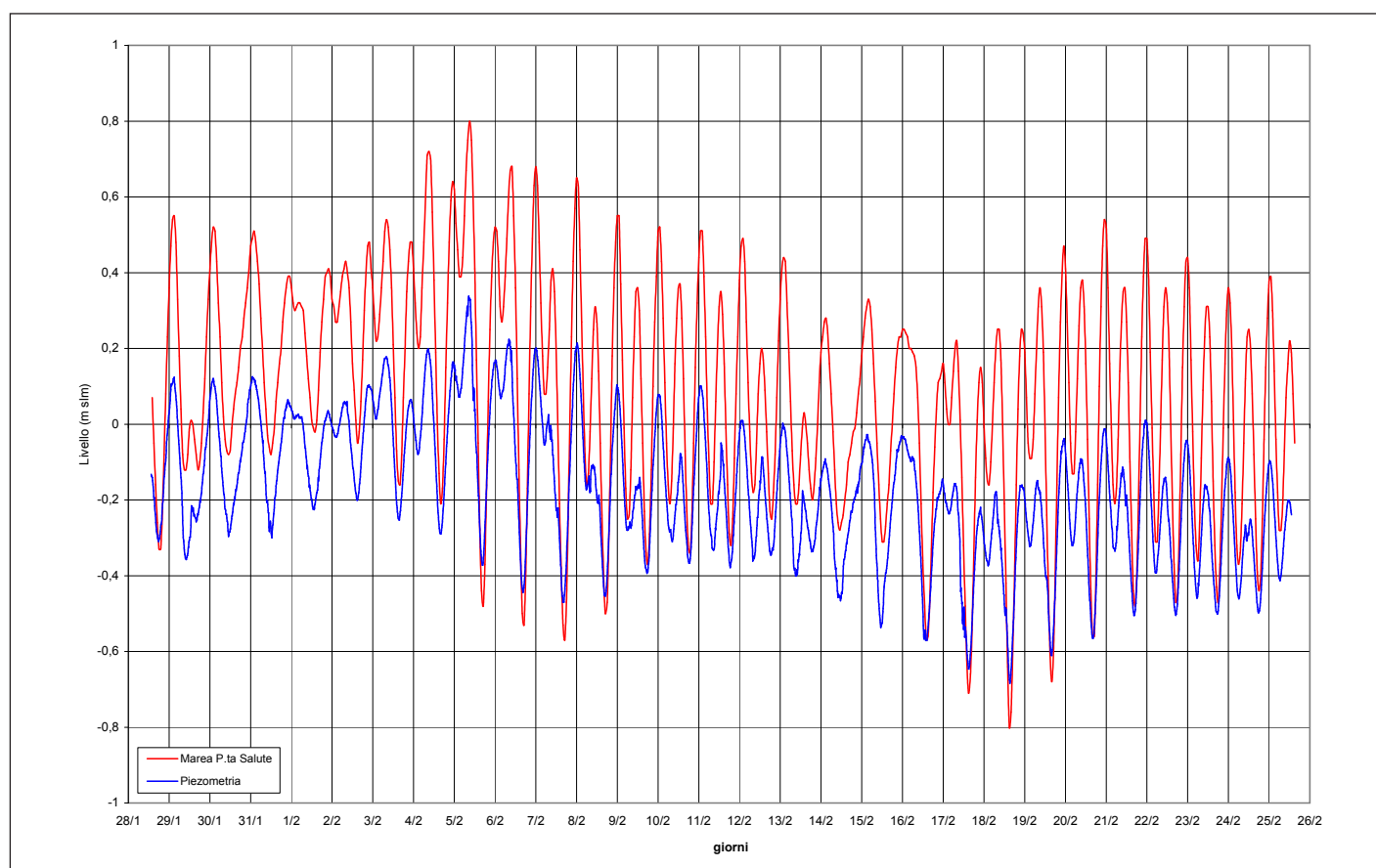


Fig. 7.23. Esempio di piezometro con andamento sincrono tra livello potenziometrico e di marea (Porto Marghera-Isola Portuale).

il Rio Roviego) e solo parzialmente delle precipitazioni. In corrispondenza di eventi pluviometrici eccezionali la rete consortile viene artificialmente abbassata.

I piezometri 28 e 29 sono localizzati nella parte occidentale del Sistema Idrogeologico Centrale: i due piezometri distano poco più di 500 m tra loro. L'acquifero che intercettano risulta parzialmente confinato. Il regime potenziometrico risente principalmente delle precipitazioni ed è spesso correlato anche ai livelli idrometrici nella rete di bonifica.

La piezometrica, così come la rete scolante, ha tempi di risposta molto brevi (poche ore) rispetto agli eventi meteorici.

Anche in quest'area, a scala di anno idrologico, si osserva un regime con piena invernale e minimi tardo estivi e, negli anni 2009 e 2010, livelli potenziometrici medi più elevati rispetto agli anni 2011 e 2012. Nella parte più prossima alla laguna si ha un terzo gruppo di piezometri (14-15-16-17-18-19-20, fig. 7.21). Alcuni di questi (14-16-17-18), mostrano un regime potenziometrico che risente soprattutto dell'influenza della marea (su ciclo di 28 giorni), oltre che delle precipitazioni e dello scolo meccanico. Nel breve periodo può essere determinante l'influenza delle precipitazioni.

Anche qui, a scala di anno idrologico (fig. 7.22), si osserva, pur in un quadro di oscillazioni limitato a circa un metro, un regime stagionale con piena invernale e minimi estivi, e negli anni 2009 e 2010 si registrano livelli potenziometrici medi più elevati rispetto agli anni 2011 e 2012.

I piezometri 14 e 19 invece, pur essendo molto prossimi alla laguna sono principalmente controllati dal regime pluviometrico. Il piezometro 20, posto in posizione intermedia tra il secondo gruppo di piezometri e quelli prossimi alla laguna, risente invece di plurimi fattori: il piezometro è infatti influenzato dal regime pluviometrico e, in coincidenza di eventi di notevole intensità, anche dalla bonifica idraulica che interviene abbassando il livello nei corsi d'acqua e, conseguentemente, il livello potenziometrico. Considerando il ciclo mareale di 28 giorni si nota inoltre un'influenza anche della marea. L'onda di pressione della marea si propaga in falda quindi per diversi chilometri nell'entroterra. È interessante notare che tale fenomeno è registrabile solo in condizioni di piena della falda (analogo fenomeno si osserva sul piezometro 14).

Si precisa che non sono stati monitorati piezometri immediata-

**Tabella 7.2. Sintesi dei valori di oscillazione e di fattori influenti sul livello potenziometrico**

Piezometro	Oscillazione massima (m)	Fattore maggiormente influente
14	2,45	Precipitazioni/marea
15	1,45	Bonifica idraulica
16	1,93	Precipitazioni/marea
17	2,10	Marea
18	0,88	Marea
19	1,80	Precipitazioni/marea
20	2,45	Precipitazioni/bonifica idraulica/marea
21	1,42	Precipitazioni
22	2,11	Precipitazioni
23	1,53	Precipitazioni
24	2,05	Precipitazioni/bonifica idraulica
25	1,97	Precipitazioni/bonifica idraulica
26	2,63	Bonifica idraulica
27	1,51	Bonifica idraulica
28	1,86	Precipitazioni/bonifica idraulica
29	1,49	Precipitazioni/bonifica idraulica

mente prossimi alla laguna. Molti piezometri in tali condizioni era già stati oggetto di dettagliati monitoraggi da parte della Provincia nell'ambito della *Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera* completata nel 2009. I piezometri più prossimi alla laguna hanno un regime di falda e di marea praticamente sincroni o con sfasamenti inferiori all'ora.

Si riporta come esempio un monitoraggio continuo di 28 giorni su un piezometro a Porto Marghera (Isola Portuale). Il regime di marea e di falda evidenzia un andamento sincrono (fig. 7.23). Si riportano infine alcune elaborazioni complessive sui monitoraggi effettuati.

Nella tabella 7.2 si riporta, per ciascun piezometro intercettante gli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico*, l'oscillazione

**Tabella 7.3. Correlazione (misure riferite all'anno 2010)**

	14	15	17	18	19	20	22	24	25	26	27	28	29
14	1,00												
15	0,91	1,00											
17	0,68	0,65	1,00										
18	0,90	0,91	0,69	1,00									
19	0,96	0,89	0,71	0,88	1,00								
20	0,81	0,84	0,70	0,78	0,88	1,00							
22	0,52	0,53	0,40	0,58	0,53	0,44	1,00						
24	0,92	0,91	0,70	0,90	0,94	0,92	0,51	1,00					
25	0,81	0,82	0,69	0,78	0,88	0,97	0,50	0,93	1,00				
26	0,80	0,86	0,58	0,78	0,79	0,79	0,39	0,86	0,73	1,00			
27	0,93	0,82	0,67	0,84	0,96	0,81	0,52	0,90	0,85	0,68	1,00		
28	0,94	0,88	0,71	0,88	0,95	0,89	0,52	0,95	0,90	0,77	0,95	1,00	
29	0,90	0,81	0,63	0,81	0,91	0,75	0,48	0,84	0,76	0,68	0,93	0,92	1,00

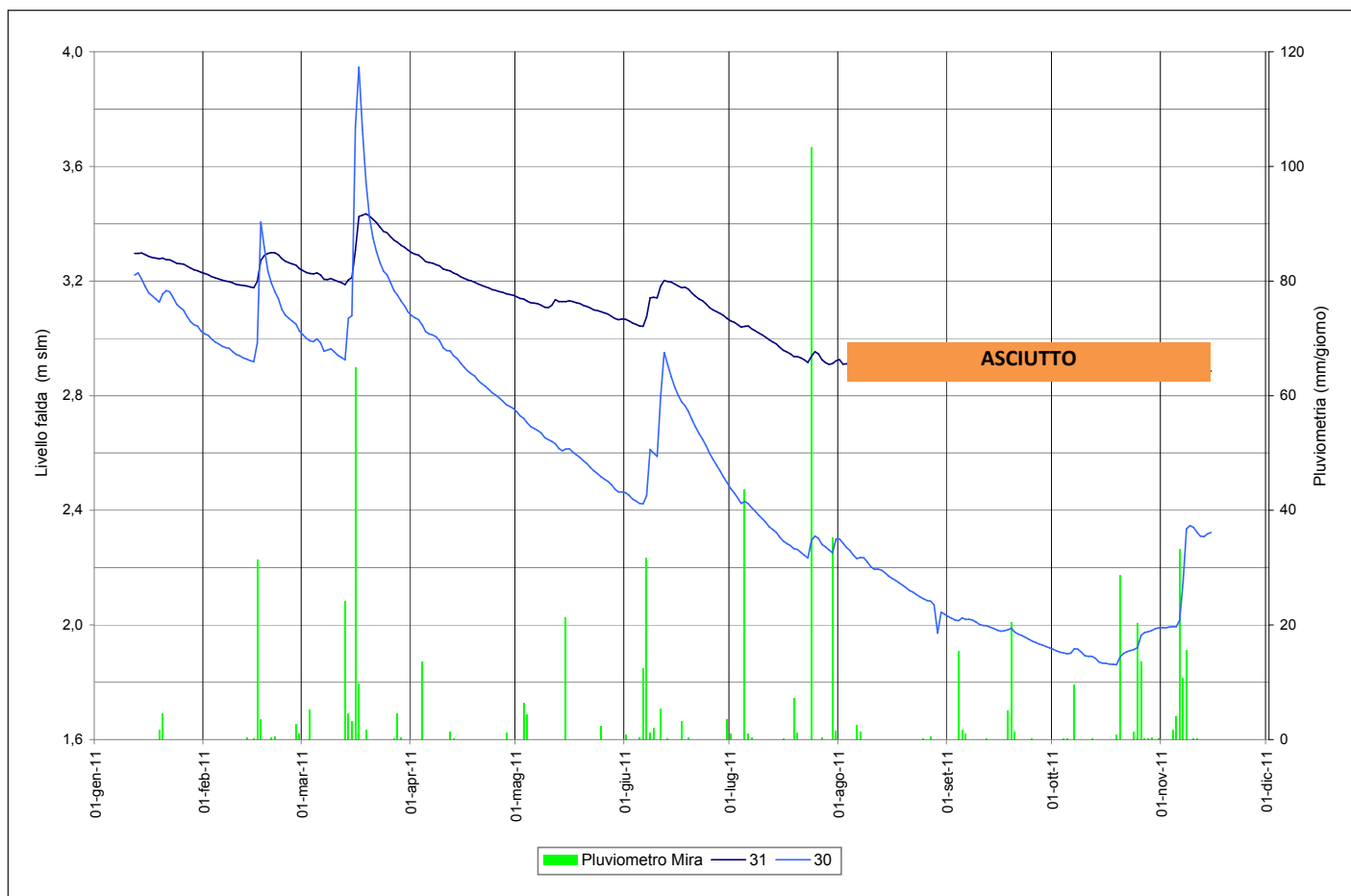


Fig. 7.24. Monitoraggio sui piezometri intercettanti gli acquiferi sabbiosi di paleoalveo.

massima registrata<sup>2</sup> e il fattore maggiormente influente il livello potenziometrico.

Di particolare interesse è la verifica della correlazione tra le varie serie di dati (tabella 7.3) calcolata utilizzando i valori medi giornalieri dell'anno 2010<sup>3</sup>.

Si osservano, con la parziale eccezione del piezometro 22, elevati valori di correlazione (quasi sempre superiori a 0,5) tra i diversi piezometri. Si conferma quindi, pur in presenza di diversi elementi che influenzano la potenziometria, un comportamento analogo nei diversi piezometri legato all'appartenza allo stesso sistema idrogeologico.

I piezometri più prossimi alla laguna (14-15-18-19 e, parzialmente, 17) mostrano elevati valori di correlazione tra loro (mediamente superiore a 0,8). Lo stesso fenomeno si registra per il gruppo di piezometri 20-24-25-28-29.

#### **Regime potenziometrico - Acquiferi sabbiosi di paleoalveo**

Oltre agli *Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico* si sono monitorati 2 piezometri ricadenti sugli *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* (30 e 31).

Il risultato del monitoraggio, limitato ad un anno di osservazione (2011), è riportato nella figura 7.24.

Si osserva una marcata dipendenza dei livelli potenziometrici di questo acquifero non confinato dalla pluviometria ed una magra estiva accentuata.

Tale comportamento è da mettere in relazione con lo scarso spessore, con l'assenza di confinamento e con la modesta soggiacenza media (mediamente 2 m).

Il regime potenziometrico è sostanzialmente analogo nei due piezometri.

2. Si precisa che il tempo di misura non è uguale per tutti i piezometri (si vedano le schede in Allegato 1).

3. Non sono stati utilizzati i dati dei piezometri 16-21-23, in quanto presentavano alcune lacune nella registrazione.

## 8.1. Inquadramento geologico

Nel settore più interno dell'area meridionale della provincia di Venezia, affiorano depositi alluvionali legati per la maggior parte alla direttrice attuale dell'Adige (unità di Cavarzere nella "Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia", vedi fig. 8.1). I depositi affioranti lungo l'alveo del fiume sono sopraelevati rispetto alla pianura circostante e formano un dosso che presso Cavarzere raggiunge circa 1 km di ampiezza e una quota di 2,5 m slm, mentre la pianura distale si trova 2 m sotto il livello marino. Oltre al dosso principale, che si sviluppa lungo l'asta attuale del fiume, si riconoscono alcune diramazioni, la più importante delle quali si stacca a monte di Cavarzere e segue il corso dello scolo Tartaro. I sedimenti dell'Adige poggiano sia a nord che a sud sui depositi alluvionali più antichi del Po (rispettivamente unità di Pegolotte e unità di Adria, vedi fig. 8.1). L'unità di Pegolotte e l'unità di Adria sono entrambe costituite

da depositi sabbiosi, limoso-sabbiosi e argilloso-limosi sedimentati durante l'attività fluviale tardo-olocenica del Po. L'evidenza geomorfologica del dosso di Pegolotte consente di stabilire che si tratta di un elemento deposizionale dovuto al ramo padano staccatosi a sud di Rovigo dal Po di Adria, attivo tra l'età del Bronzo e la fine dell'età del Ferro (Piovan, 2008). Il dosso sabbioso del Po di Pegolotte ha una larghezza di circa 500-600 metri ed è costituito da sabbie di canale e da depositi limoso-sabbiosi di argine naturale.

I depositi alluvionali dell'Adige e del Po sono in parte coperti dalle torbe palustri rinascimentali-moderne (unità dei Cuori) e, verso N-NE, dal corso del Brenta attuale (unità Delta Brenta), mentre il limite inferiore delle alluvioni è caratterizzato dal passaggio graduale verso i sottostanti depositi di palude salmastra nelle aree più interne, o dal contatto netto con le sabbie dei depositi costieri verso mare.

In figura 8.2 è riportato il modello geologico dell'area meridionale.

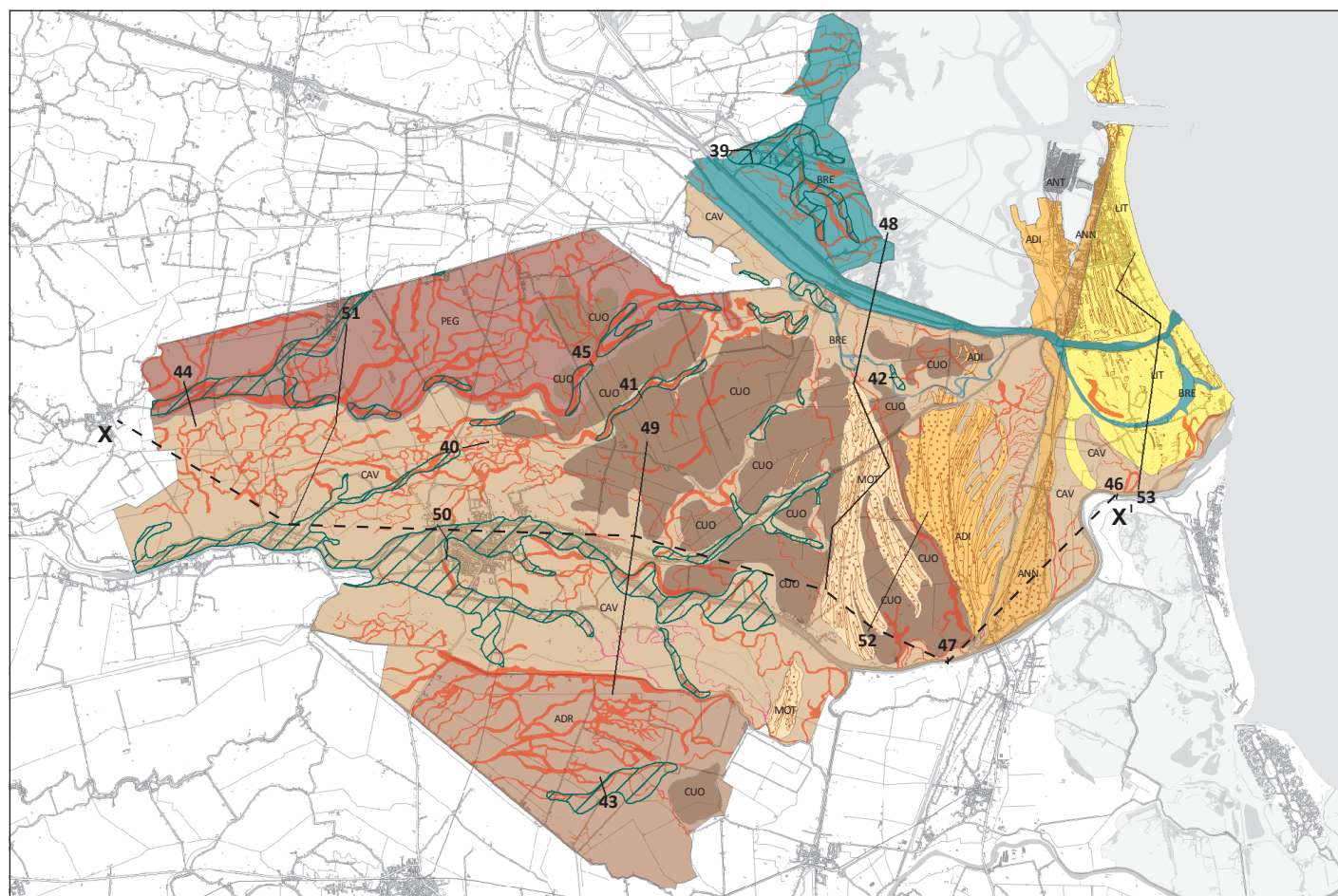


Fig. 8.1. Stralcio della Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). Per la legenda confrontare la "Legenda Unità Geologiche" dell'Allegato 1.

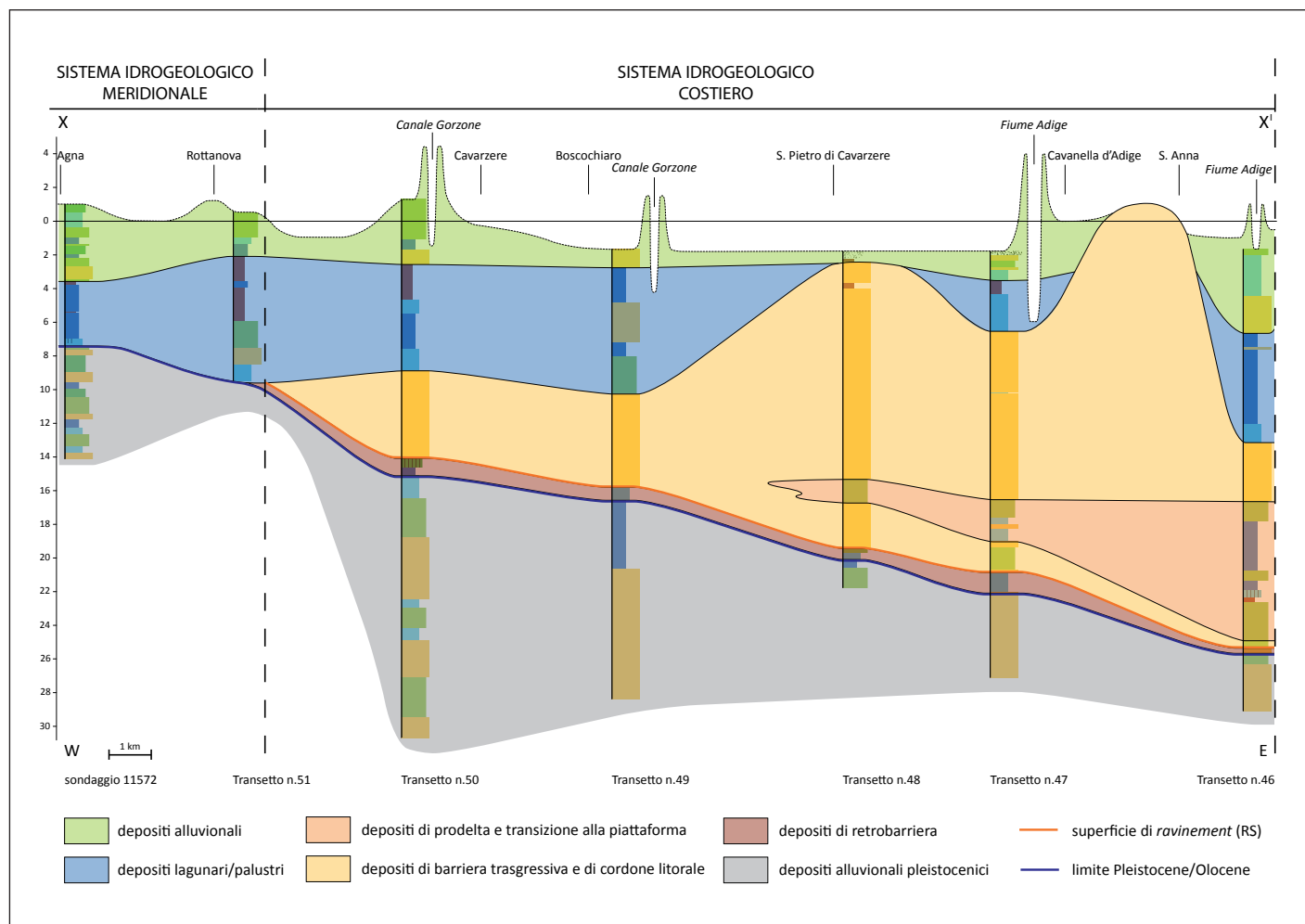


Fig. 8.2. Modello geologico dell'area meridionale della provincia di Venezia (profilo X-X' di fig. 8.1). Da Bondesan *et al.*, 2008 (modificato).

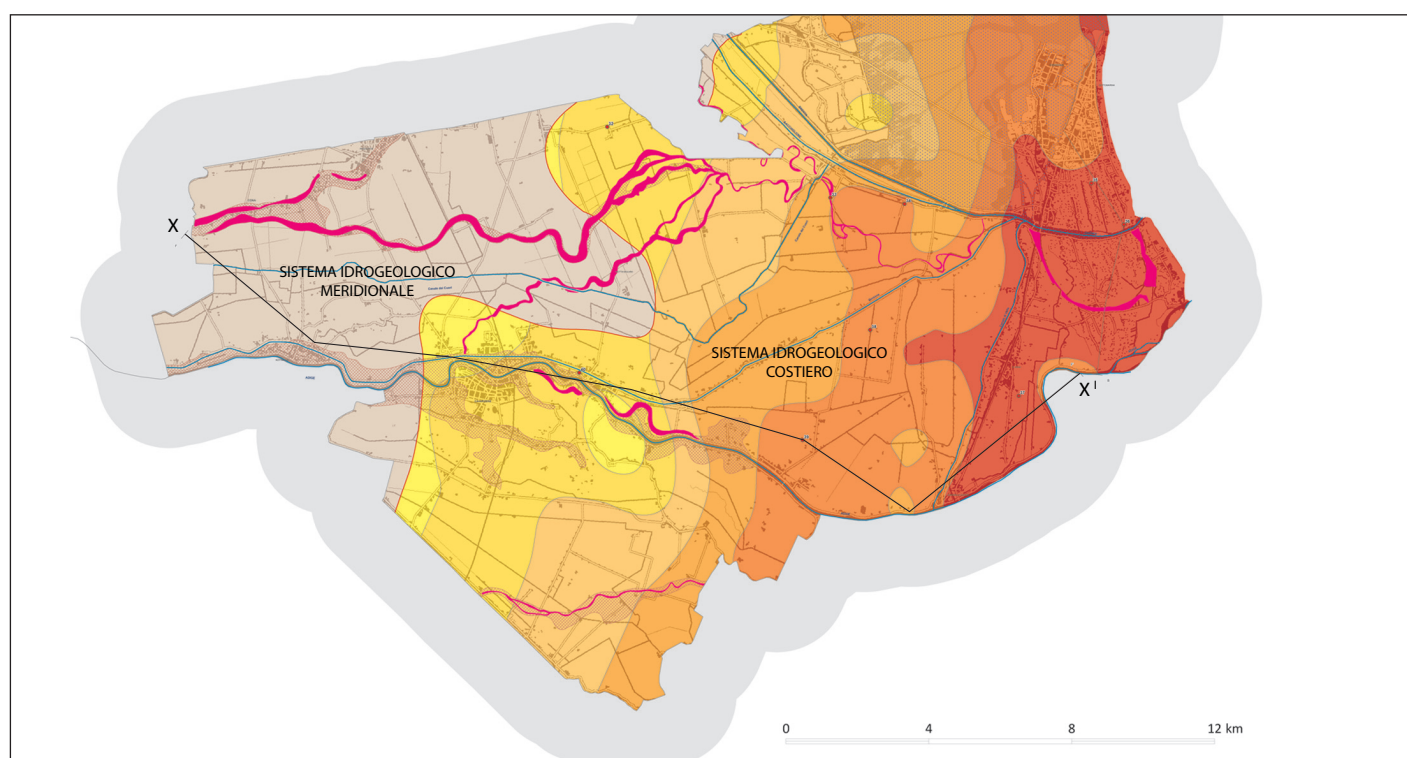


Fig. 8.3. Sistema Idrogeologico Meridionale (stralcio della Tavola1) con indicato il limite con il Sistema Idrogeologico Costiero (linea rossa corrispondente al limite della massima ingressione marina olocenica).

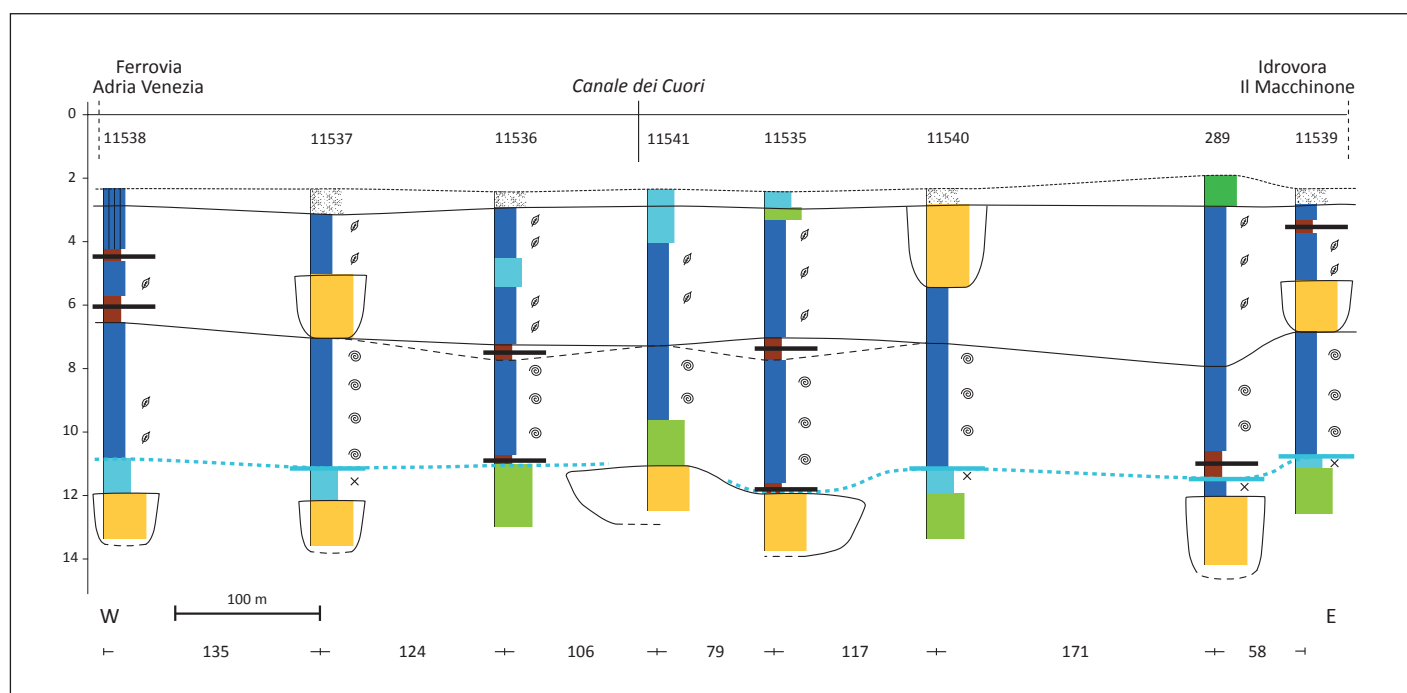


Fig. 8.4. Transetto "Idrovora il Macchinone" rappresentativo dell'unità di Cavarzere (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). La legenda è riportata in fig. 6.1.

nale della provincia di Venezia, risultante dall'elaborazione di un profilo stratigrafico lungo circa 30 km, con direzione W-E dal confine provinciale fino alla linea di costa (traccia X-X' in fig. 8.1). Nello schema viene evidenziata la suddivisione tra il Sistema Idrogeologico Meridionale e quello costiero, riproposta in pianta nella figura 8.3 (stralcio della Tav. 1). Il limite tra i due sistemi è posto in corrispondenza della linea di massima ingressione marina che delimita a monte l'acquifero costiero olocenico.

Il Sistema Idrogeologico Meridionale è caratterizzato, entro i primi 30 m di profondità, dalla seguente sequenza stratigrafica: alla base si rinvengono i depositi alluvionali pleistocenici su cui poggiano sedimenti di ambiente lagunare e palustre; il tutto è sigillato dai depositi olocenici del Po e dell'Adige precedentemente descritti.

Il profilo geologico di figura 8.4 rappresenta in dettaglio i primi 15 m di un'area del sistema meridionale situata a nord di Cavarzere presso il canale dei Cuori: ad una profondità di circa 9-10 m dal p.c. si osserva la presenza di un orizzonte di argille sovraconsolidate, a volte con noduli calcarei (sond. 289), che rappresenta il tetto dei depositi alluvionali di età pleistocenica (livello guida denominato *caranto*). In alcuni casi un livello di torba, con spessore massimo di circa 80 cm (sond. 289), probabilmente rappresentativo di depositi di retrobarriera, separa i sedimenti alluvionali pleistocenici dai sovrastanti depositi lagunari caratterizzati da argille e argille limose fossilifere, con rari resti vegetali e tracce sabbiose, per spessori compresi tra 2 e 4 m.

Si passa verso l'alto ad argille e argille limose ricche di resti vegetali e prive di conchiglie, spesso torbose, rappresentative di depositi palustri sopra ai quali si riconoscono i sedimenti alluvionali legati, in quest'area, all'attività dell'Adige. Tali sedimenti sono costituiti da depositi di piana inondabile, depositi di canale fluviale, di argine e di ventaglio di rota. I depositi di piana inondabile hanno uno spessore variabile da 2 m a 4 m e sono caratterizzati dall'alternanza di strati decimetrici di limi argillosi, argille limose, limi sabbiosi o debolmente sabbiosi e argillosi. Spesso sono presenti resti vegetali, talora abbondanti, o livelli organici in alternanza a livelli torbosi. Il sondaggio 11540

è posizionato in corrispondenza di un paleoalveo costituito da sabbia fine e medio-fine per uno spessore di circa 3 m dal p.c., rappresentativo di un deposito di canale distributore o di rota. Si tratta di corpi sedimentari a geometria nastriforme, generalmente larghi 30-40 m, che si differenziano dai depositi di canale fluviale per le dimensioni più ridotte e per la minore granulometria dei sedimenti.

Più in profondità, a partire da 10 fino a 7 m dal piano campagna spostandosi da est verso ovest, all'interno dei depositi fini pleistocenici si riconoscono dei corpi sabbiosi, talora con estensione latero-verticale considerevole (possono raggiungere spessori anche dell'ordine di una decina di metri), corrispondenti a corpi di canale fluviale. Il limitato numero di sondaggi profondi presenti in tutta l'area meridionale ha impedito lo studio sufficientemente dettagliato di questi corpi di canale.

## 8.2. Caratterizzazione idrostratigrafica

All'interno del Sistema Idrogeologico Meridionale sono stati riconosciuti gli *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* in corrispondenza di corpi di canale superficiali.

Relativamente al fiume Adige, i depositi di canale fluviale sono rappresentati da corpi sabbiosi (costituiti da sabbie da medio-grosse a fini, talvolta limose) con spessori variabili fino a un massimo di 5 m. La larghezza dei canali è di circa 100-150 m. Si riconoscono sequenze di abbandono costituite da limi argillosi organici con abbondanti resti vegetali e livelli torbosi. I depositi di argine si distinguono per l'alternanza di livelli da mm a cm di limo argilloso debolmente sabbioso e limo sabbioso con rari livelli di sabbia fine limosa, spesso con abbondanti resti vegetali. Le dimensioni dei corpi di canale formati dal fiume Po sono generalmente più rilevanti. Il transetto di figura 8.5 taglia trasversalmente due paleoalvei attribuiti al Po di Pegolotte: il più profondo è articolato in più corpi (complessivamente raggiunge una larghezza di circa 500 m) con uno spessore massimo di circa 4-5 m (sond. 11324), mentre quello più superficiale è spesso al-

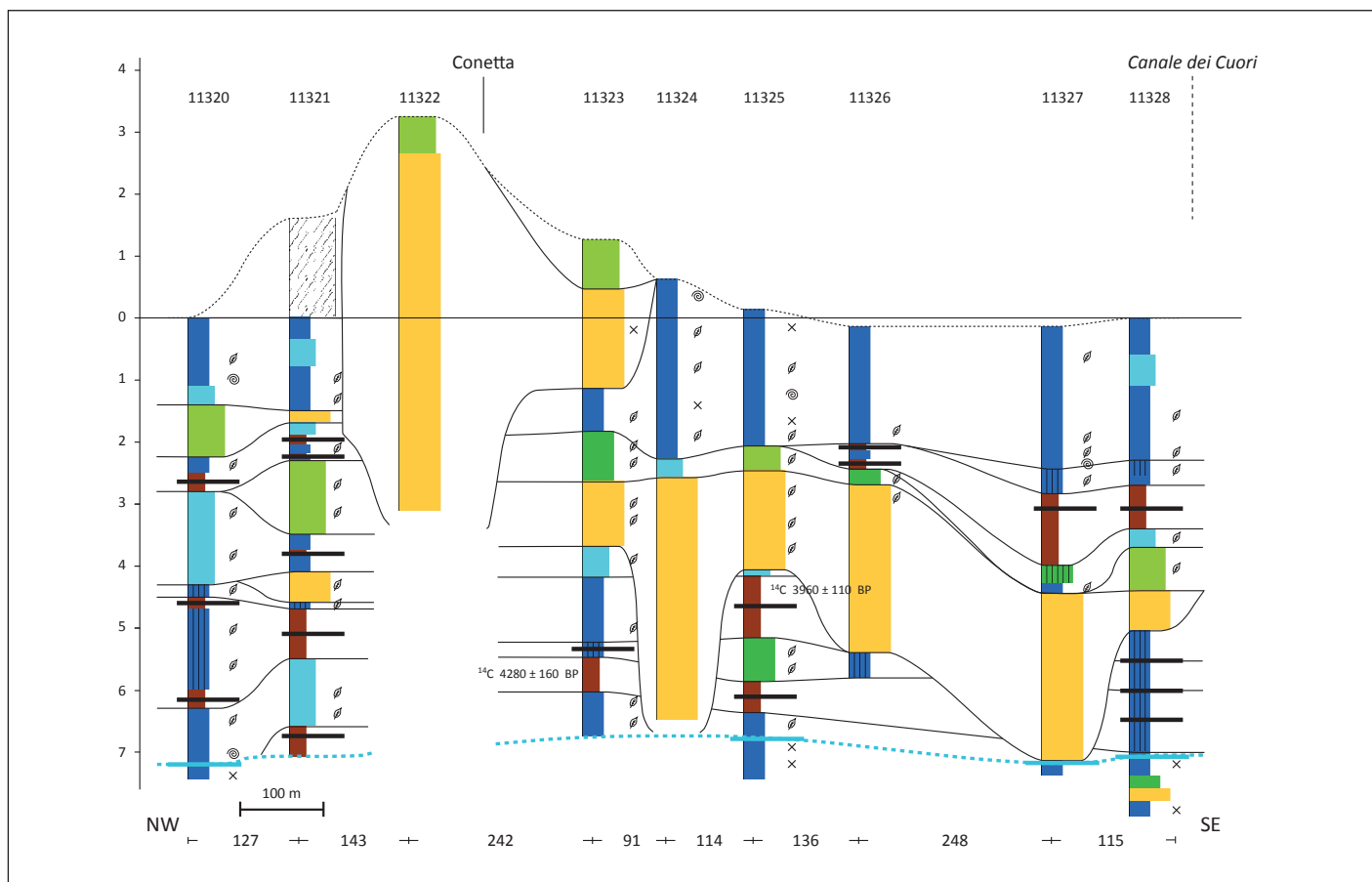


Fig. 8.5. Transetto "Po di Pegolotte" rappresentativo dell'unità di Pegolotte (tratto da Bondesan *et al.*, 2008). La legenda è riportata in fig. 6.1.

meno 6 m e corrisponde alla parte più rilevata del dosso fluviale (sond. 11322).

### 8.3. Caratterizzazione idrogeologica

Il Sistema Idrogeologico Meridionale interessa una limitata porzione della provincia di Venezia, coincidente con il comune di Cona e, parzialmente, di Cavarzere.

Nella Tavola 1, in questo sistema idrogeologico sono stati rappresentati:

- *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* in corrispondenza di corpi di canale superficiali, con spessore rilevante (generalmente superiore a 5 m) e larghezza significativa (generalmente da 100 a 200 m);
- aree con elevata probabilità di presenza di acquiferi sabbiosi di paleoalveo, di argine e di rotta fluviale;
- aree costituite in superficie da prevalenti sedimenti a granulometria fine, con presenza di corpi acquiferi sabbiosi di modesto spessore (2 - 3 m, raramente fino a 5 m), discontinui e caratterizzati da geometrie lentiformi. A partire da 7 a 10 m dal piano campagna, presenza di acquiferi sabbiosi individuati in corrispondenza di corpi di canale con spessore dell'ordine di una decina di metri

Nel complesso gli *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo* nel Sistema Idrogeologico Meridionale interessano un'area di quasi 10 km<sup>2</sup>; il volume dell'acquifero è stato stimato pari a circa 50 Mm<sup>3</sup> (corrispondente ad un volume teorico di acqua di circa 6 Mm<sup>3</sup>, ipotizzando una porosità di 0,12).

In pratica, i principali acquiferi sono costituiti da paleoalvei

sabbiosi che, con andamento meandriforme, tagliano da ovest verso est il territorio. Si tratta di acquiferi generalmente non confinati.

Si osserva che questa tipologia di acquifero, pur limitata ad una piccola parte della provincia, contraddistingue vaste aree della bassa pianura veneta in provincia di Padova e Rovigo. La limitata estensione nel territorio provinciale non ha reso possibile un'analisi dettagliata come per le altre tipologie di acquifero.

Molti dei dati qui presentati derivano quindi da uno studio svolto negli anni '90 su una significativa area campione: il "bacino Civrana"<sup>1</sup> (fig. 8.6).

Questo bacino termina a nord contro il dosso sabbioso del Po che, con notevole risalto morfologico, corrisponde al ramo più settentrionale del fiume attivo in epoca preistorica e protostorica. Tale bacino è significativo ai fini del presente lavoro per i seguenti motivi:

1. Progetto Agricoltura Ambientale - Bacino Civrana (comune di Cona) - Studio geologico ed idrogeologico. Provincia di Venezia, 1996 (inedito). A cura di Antonio Dal Prà, Valentina Bassan, Jacopo De Rossi, Andrea Vitturi e Pietro Zangheri.

Il bacino Civrana si trova in comune di Cona (VE). La superficie del bacino è pianeggiante e si sviluppa a quote comprese tra +3 e -3 m s.l.m. L'estensione si aggira sui 10 km. È interamente soggetto a scolo meccanico (vedi Tavola 5). L'effetto drenante è operato da scoline parallele ad andamento NNW-SSE oppure N-S, distanti tra loro mediamente 50 m, convergenti sui fossati perimetrali che confluiscono su scoli principali afferenti all'idrovora Civrana che solleva l'acqua immettendola direttamente nel canale dei Cuori che si dirige verso la località Ca' Bianca, in comune di Chioggia; qui, mediante impianto idrovoro, l'acqua viene scaricata in laguna di Venezia.

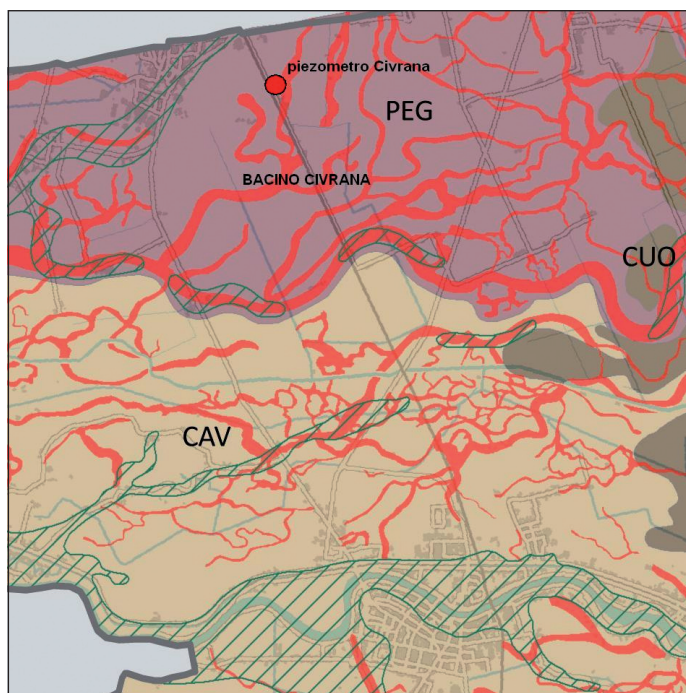


Fig. 8.6. Inquadramento geologico del bacino Civrana.

- la porzione nord del bacino è attraversato da un paleoalveo del Po classificabile come *Acquifero sabbioso di paleoalveo*;
- l'ampiezza significativa;
- la posizione significativa all'interno del Sistema Idrogeologico Meridionale;

- la corrispondenza con un bacino idraulico definito, interamente a scolo meccanico.

### Contesto idrografico

Il Sistema Idrogeologico Meridionale presenta un contesto idrografico analogo a quello del settore SW del Sistema Idrogeologico Costiero (vedasi fig. 9.22); risulta caratterizzato da una fitta rete idrografica costituita dal fiume Adige e da una rete di bonifica che ha il suo collettore principale nel canale dei Cuori. Gran parte di questo territorio è soggetto a scolo meccanico (vedi riquadro in Tavola 5) in quanto le quote topografiche sono per lo più al di sotto del livello medio del mare. La rete di bonifica ha un regime quasi completamente artificiale.

Il territorio è suddiviso in una serie di bacini, ognuno dei quali recapita le acque ad una idrovora. Uno di questi bacini è il citato "bacino Civrana" (fig. 8.7).

La bonifica idraulica, gestita dai Consorzi di Bonifica, controlla il regime sia delle acque superficiali che in parte sotterranee. Vi è quindi una stretta correlazione tra acque sotterranee e acque superficiali, limitatamente però alla falda superficiale (oggetto del presente studio), mentre le falde profonde sono del tutto indipendenti.

L'interferenza tra falda freatica ed acque superficiali è causata dal fatto che il territorio è prevalentemente soggetto a scolo meccanico e quindi l'altezza del pelo libero dell'acqua nella rete di bonifica controlla il regime, il gradiente e la direzione della falda, tramite il drenaggio e l'alimentazione operata sulle acque sotterranee dalla rete di scolo.

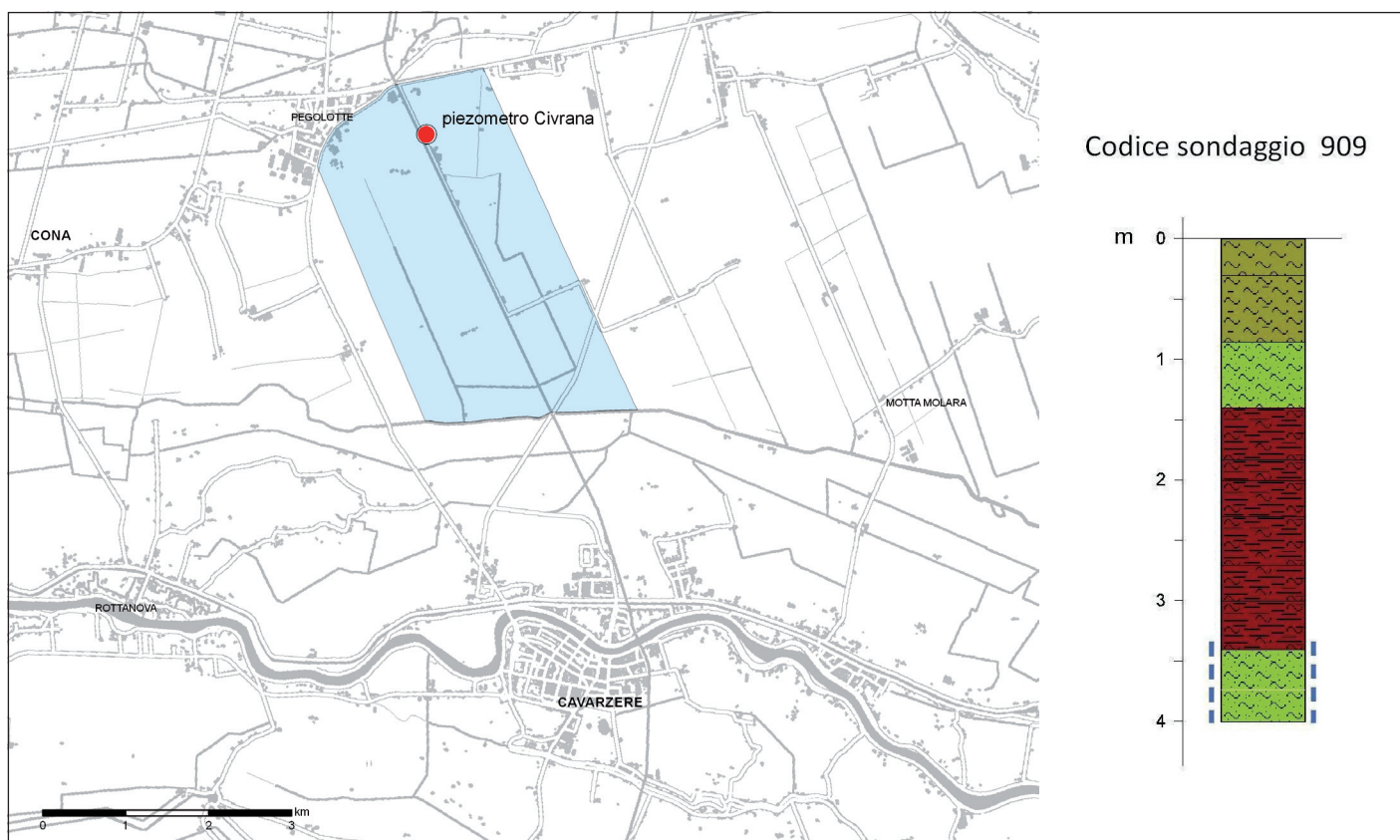


Fig. 8.7. Ubicazione e stratigrafia schematica del piezometro Civrana. La legenda del sondaggio è riportata all'interno dell'Allegato 1 (vedi "Legenda Profilo Geologico").

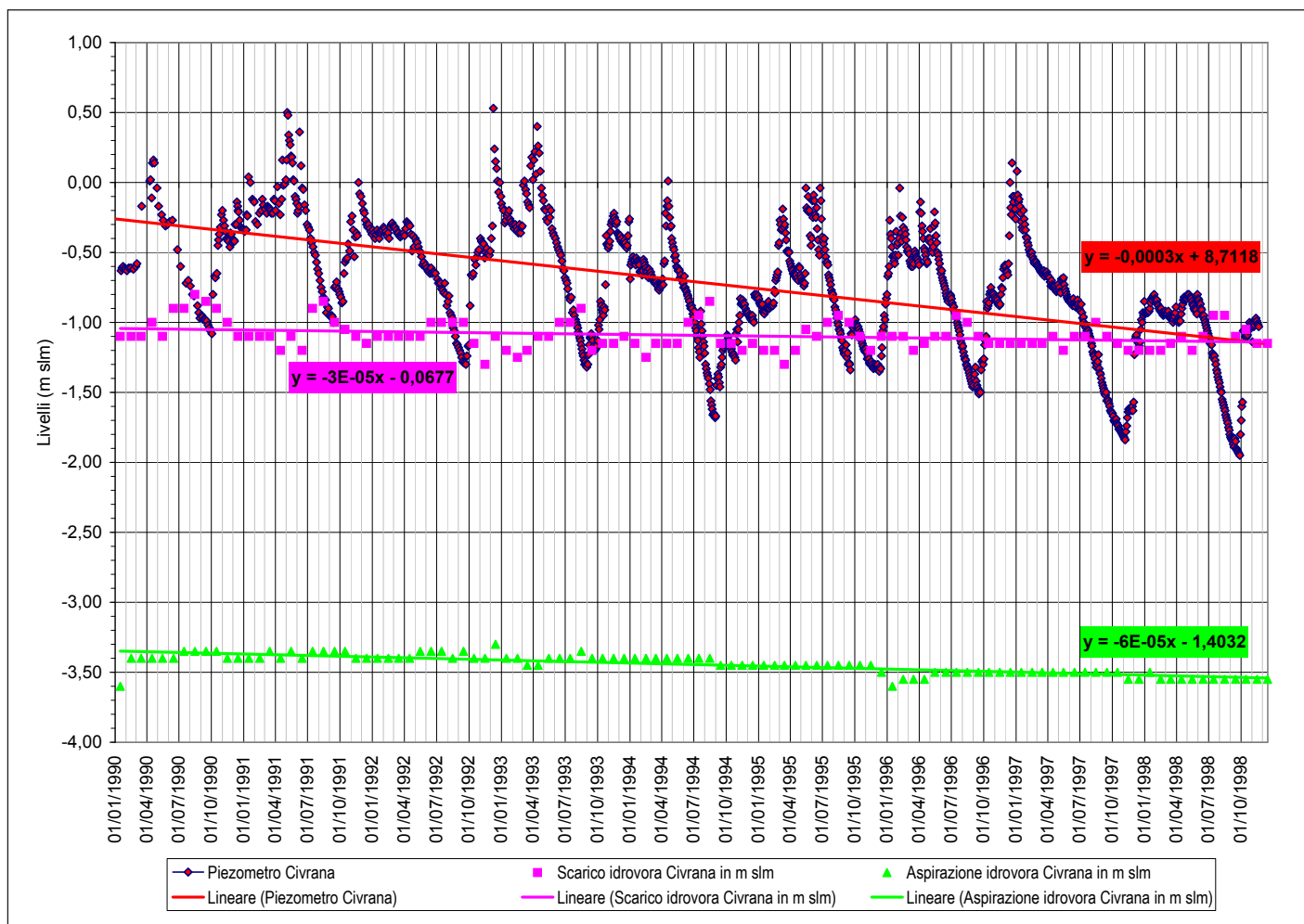


Fig. 8.8. Misure potenziometriche al piezometro "Civrana" e confronto con i livelli a monte ed a valle della Idrovora Civrana.

### Permeabilità

I paleoalvei che costituiscono i principali acquiferi del Sistema Idrogeologico Meridionale sono costituiti da sabbie e sabbie limose. Non si dispone di determinazioni della permeabilità in sito.

### Regime potenziometrico ed afflussi-deflussi dell'acquifero

Il regime della falda è stato studiato con un monitoraggio ad un piezometro appositamente installato (piezometro "Civrana") misurato, dal Sig. Erminio Faccioli, ogni tre giorni dal 1990 al 1999.

Il regime della falda per l'intero periodo di osservazione è illustrato in figura 8.8. L'esame del diagramma mostra un regime caratterizzato da due fasi di piena e da due fasi di magra annuali: le piene hanno la culminazione circa nella primavera e nell'autunno, mentre le magre si osservano nella tarda estate (settembre) e nei mesi invernali. Normalmente la piena primaverile (aprile) raggiunge quote superiori a quella autunnale mentre la magra estiva (settembre) è più spinta di quella invernale. L'oscillazione media annua è dell'ordine di 1-1,5 metri. Nel periodo di osservazione i due valori estremi sono differenziati di 2,5 metri.

Nello stesso diagramma si riporta il livello medio di aspirazione e di scarico dell'idrovora Civrana (ovvero, lato monte e valle della

idrovora). Si osserva come nel periodo estivo, per favorire l'irrigazione, il livello mantenuto all'idrovora sia più alto.

Nei circa 9 anni di osservazione si evidenzia un trend complessivamente discendente per tutte e tre le serie rappresentate. Questa tendenza è particolarmente accentuata per i livelli della falda (quasi un metro sulla linea di tendenza su 8 anni di misura), ma evidente anche per quanto riguarda i livelli mantenuti all'idrovora (circa 20 cm sul lato aspirazione).

Il fenomeno misurato potrebbe corrispondere ad una necessità di incrementare il franco di bonifica in relazione al progressivo abbassamento del suolo in particolare nelle aree caratterizzate da elevata presenza di torba.

Al fine di valutare l'influenza del regime pluviometrico su quello potenziometrico si sono confrontati i dati rilevati al piezometro Civrana, relativamente all'anno 1993 (fig. 8.9), con la piovosità registrata al pluviografo provinciale, sito circa 2 km a SSE del piezometro stesso. Il piezometro intercetta la parte sommitale del dosso del Po.

Si può osservare come il regime della falda sia solo parzialmente influenzato dal regime pluviometrico. Le oscillazioni stagionali del livello, pur condizionate in linea generale dai fattori climatici, sono influenzate dal canale Rebosola, anch'esso regimato artificialmente e ubicato al limite nord del bacino e molto vicino al piezometro in osservazione.

In figura 8.10 si riporta inoltre l'andamento delle precipitazioni e dell'energia consumata dall'idrovora Civrana relativamente al solo anno 1994. L'andamento dei consumi di energia non è

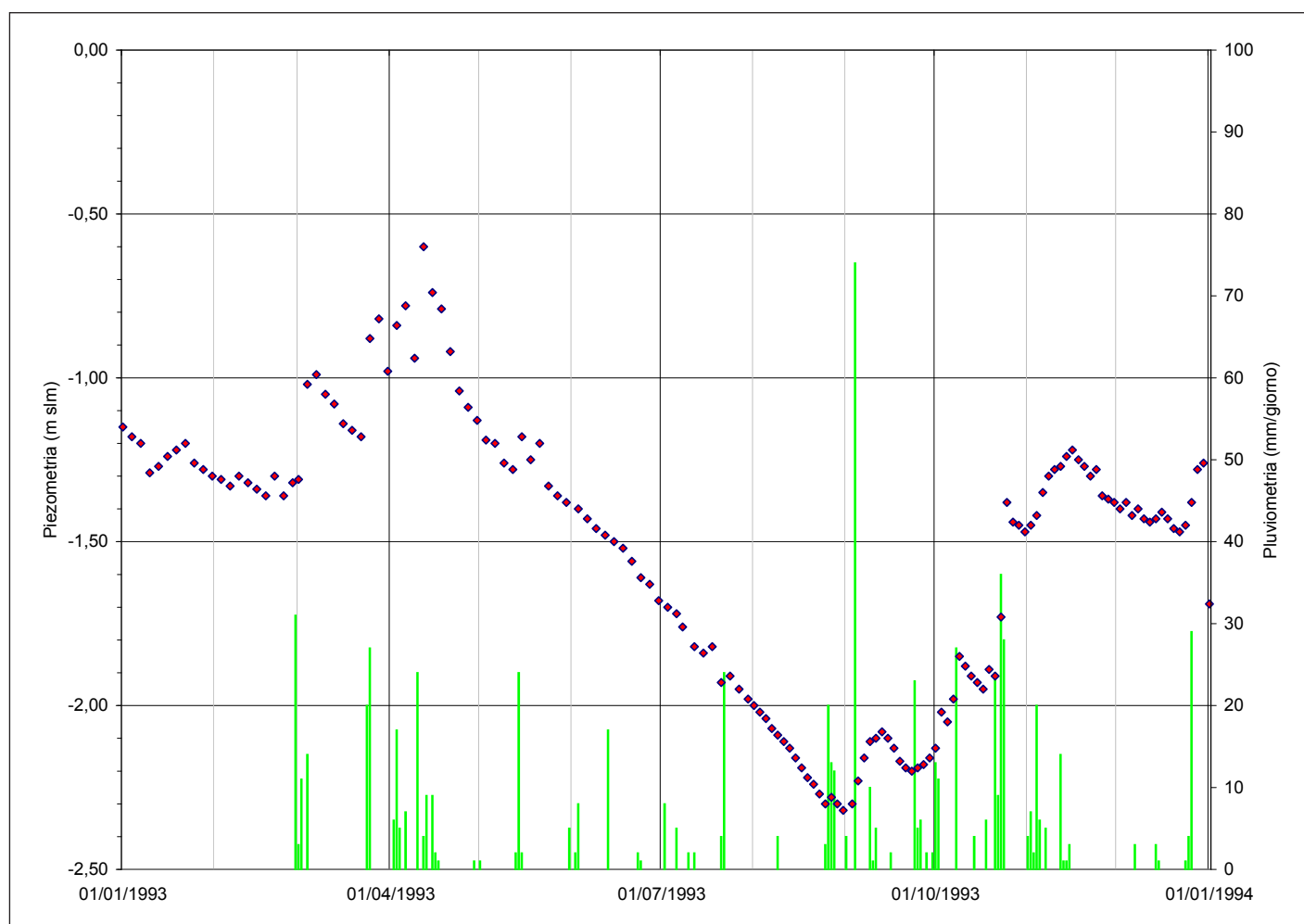


Fig. 8.9. Misure potenziometriche al piezometro "Civrana" e confronto con la pluviometria per l'anno 1993.

direttamente correlato alle precipitazioni in quanto tiene conto anche del diverso "franco di bonifica" che viene mantenuto durante i vari periodi colturali.

In conclusione il deflusso della falda è condizionato dalla presenza delle idrovore, tramite la rete di scolo. Di conseguenza, è ipotizzabile che le acque piovane che alimen-

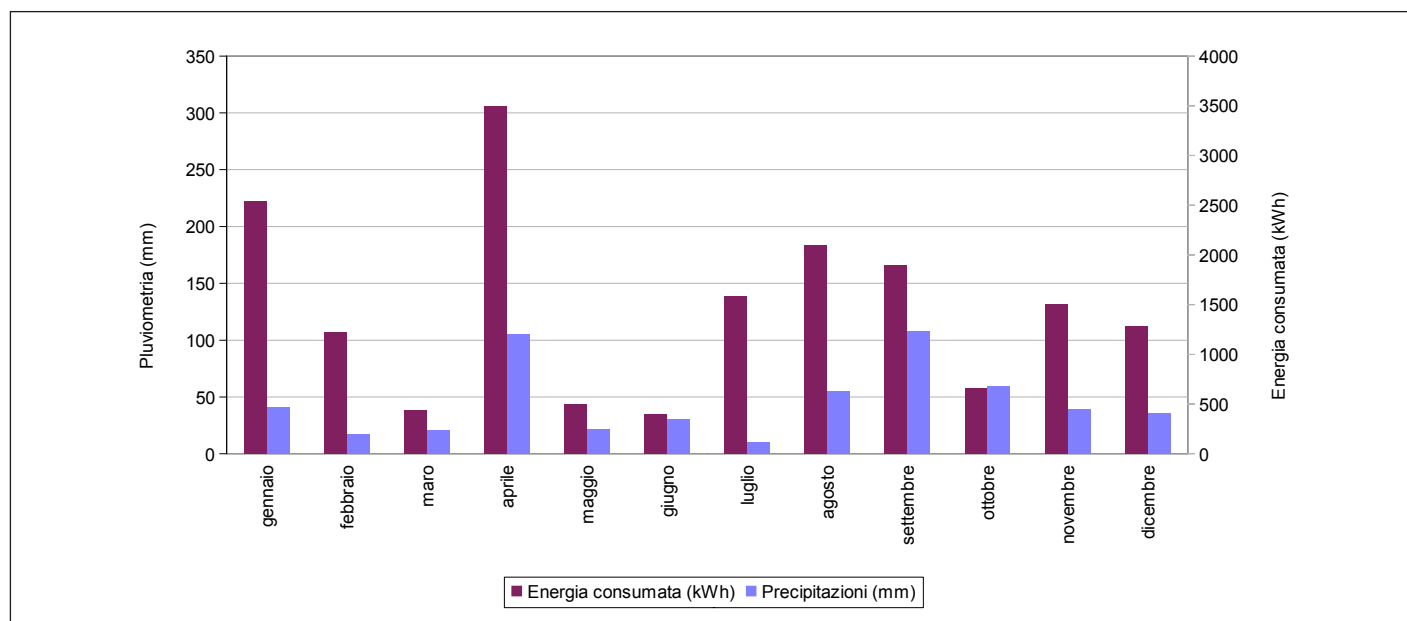


Fig. 8.10. Regime pluviometrico (valori mensili) ed energia consumata dall'idrovora Civrana (anno 1994).

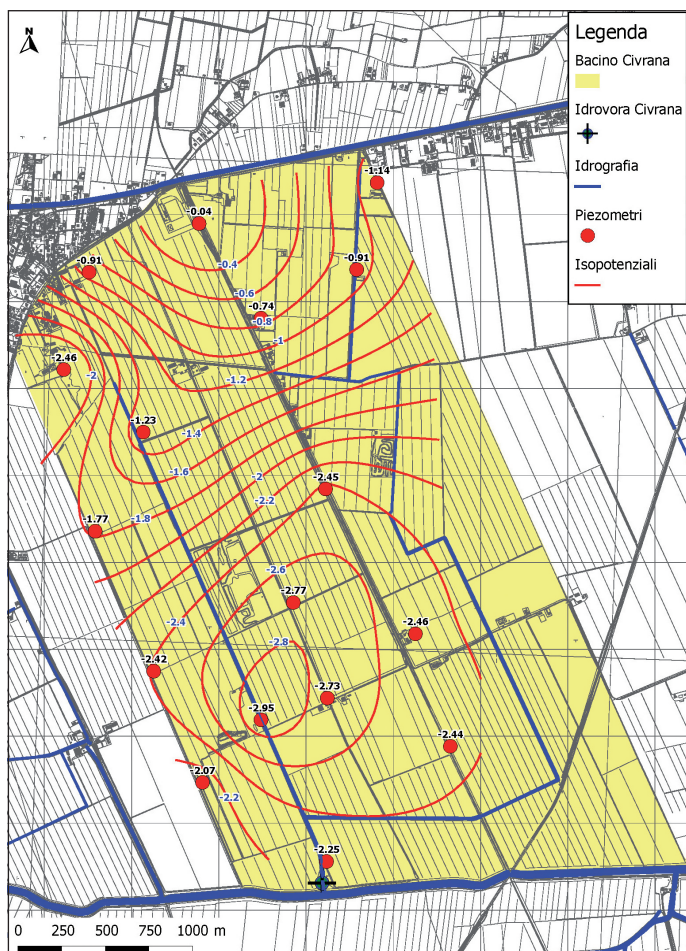


Fig. 8.11. Piezometria del 29 gennaio 1992 (alcuni valori interpolati da misure in altre date) relativa al bacino Civrana.

tano la falda freatica, raggiungano in genere deboli profondità (qualche metro al massimo) per poi filtrare soprattutto in senso orizzontale sotto l'azione drenante della rete di scolo.

In tale situazione, eventuali inquinanti che dal suolo entrano nelle acque sotterranee andranno ad interessare, più che le falde profonde, la falda superficiale e, tramite questa, la rete idrica superficiale che in quest'area scola prevalentemente in laguna di Venezia.

Anche per il Sistema Idrogeologico Meridionale non è possibile fornire una cartografia delle isopotenziali. È possibile però evidenziare le modalità del deflusso idrico sotterraneo attraverso le cartografie relative all'area campione del bacino Civrana (fig. 8.11).

Analogamente a quanto visto per il settore SW del Sistema Idrogeologico Costiero, si osserva come i deflussi siano nettamente influenzati dalla posizione dell'idrovora che induce un flusso in questo caso con direzione nord sud verso l'idrovora stessa.

L'acqua immessa dalle idrovore nella rete superficiale è a sua volta fonte di alimentazione della falda tramite dispersione dal fondo dei canali (in questo caso il canale dei Cuori). Si forma quindi un flusso di acqua dalla falda ai canali e viceversa, dove l'elemento che principalmente controlla il flusso è rappresentato dalle idrovore e dalla rete collegata.

## 9.1. Inquadramento geologico

Il Sistema Idrogeologico Costiero è stato identificato con l'area prossima alla linea di costa interessata dalla trasgressione marina medio-olocenica. Il limite tra questo sistema e i tre sistemi idrogeologici individuati a monte (Nord-orientale, Centrale e Meridionale) è stato convenzionalmente posto in corrispondenza della linea di massima ingressione marina: entro questo limite si sono depositate le sabbie litorali che costituiscono l'*Acquifero sabbioso costiero olocenico* (figg. 9.1 - 9.2), considerato in questo settore come l'elemento più significativo dal punto di vista idrogeologico entro i primi 30 m di profondità.

Nella Tavola 1 il limite dell'acquifero costiero, coincidente con quello del sistema idrogeologico a cui appartiene, è evidenziato da una linea rossa caratterizzata da un andamento a volte sinuoso e da una distanza variabile rispetto alla linea di costa attuale, andando dall'Adige verso il Tagliamento. Questo andamento particolare è legato principalmente all'originaria morfologia della costa alto-adriatica che ebbe un ruolo fondamentale nel guidare l'ingressione marina, generando situazioni

differenziate spesso anche tra zone adiacenti (Fontana, 2008). In particolare, per quanto riguarda la porzione di pianura costiera appartenente al territorio provinciale veneziano, si può osservare che le aree in cui le superfici relitte pleistoceniche sono affioranti fino al margine lagunare (come avviene ad esempio nell'area centrale) hanno subito la trasgressione in modo passivo: generalmente sono le zone in cui il mare ha raggiunto la posizione più interna durante il postglaciale.

Invece, nelle aree in cui sono sfociati i corsi alpini durante l'Olocene (area meridionale e nord-orientale del territorio provinciale), la situazione è più complessa e spesso si riconosce un ciclo trasgressivo-regressivo composto da una iniziale espansione marina sulla pianura preesistente, seguita dall'instaurarsi di un ambiente lagunare o deltizio e dalla successiva progradazione dei sistemi fluviali. A sud della laguna di Venezia è ben riconoscibile un ciclo trasgressivo-regressivo che ha interessato un settore della pianura relativamente esteso, mentre verso nord-est la posizione più interna raggiunta dal mare è in genere meno lontana dalla linea di costa attuale (Fontana, 2008).

Il protendimento verso mare degli apparati fluviali e il sistema

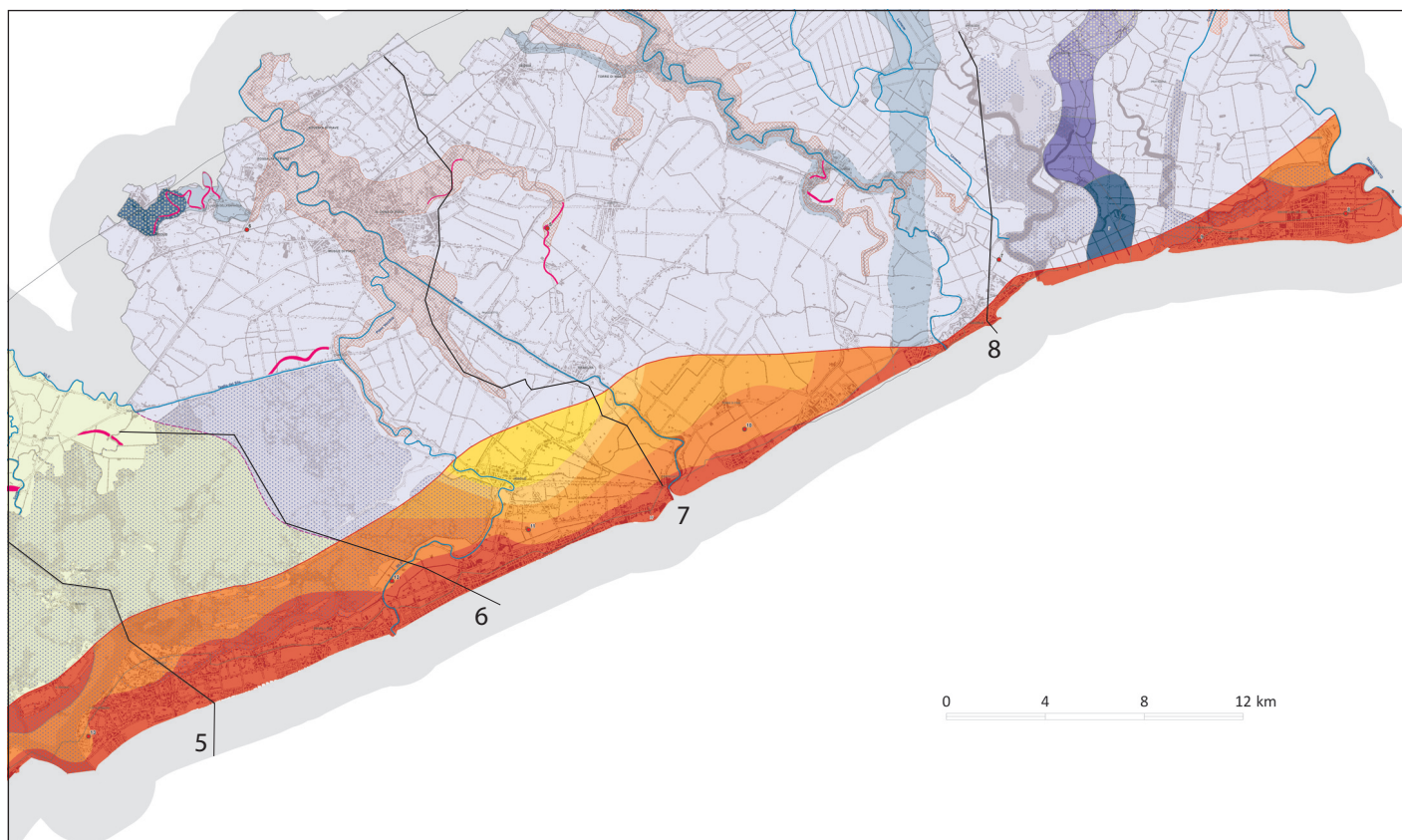


Fig. 9.1. Particolare della carta dei Sistemi Idrogeologici (stralcio della Tavola1) con rappresentato il settore NE del Sistema Idrogeologico Costiero. Sono riportate le tracce dei profili (linee nere) delle figure 9.13 - 9.17 - 9.18 - 9.19.

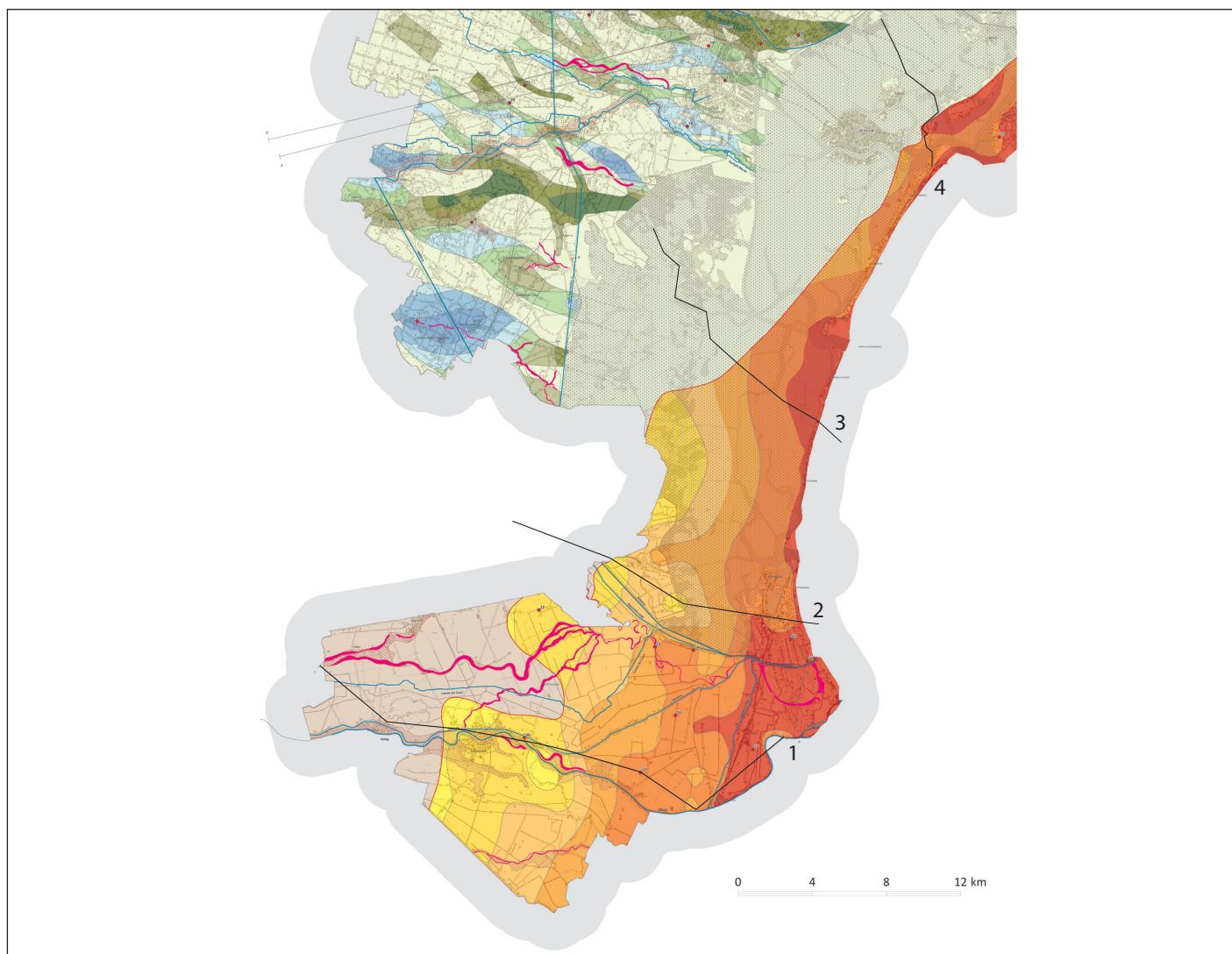


Fig. 9.2. Particolare della carta dei Sistemi Idrogeologici (stralcio della Tavola1) con rappresentato il settore SW del Sistema Idrogeologico Costiero. Sono riportate le tracce dei profili (linee nere) delle figure 9.13 - 9.14 - 9.15 - 9.16.

dei lidi da essi creato hanno isolato specchi di mare generando le lagune. La prima formazione delle lagune sembra essere documentata a circa 7500-6000 anni fa, in corrispondenza della massima ingressione marina. In realtà la trasgressione non fu un evento sincrono in tutto l'Adriatico in quanto avvenne in momenti diversi nei vari settori costieri, com'è testimoniato dalle datazioni dei depositi lagunari associati all'ingressione stessa. Nel settore meridionale della laguna e del delta dell'Adige è segnalata un'età leggermente più antica per i primi depositi lagunari (Favero & Serandrei Barbero, 1980), mentre nel settore compreso tra Piave e Tagliamento si riconoscono sedimenti lagunari soprastanti la pianura pleistocenica datati attorno al 5000 a.C. (Galassi & Marocco, 1999; Fontana, 2006).

Soprattutto in quest'ultimo settore, la risalita marina e l'espansione dei sistemi lagunari sono state fortemente condizionate dalla morfologia della pianura preesistente. Le acque salmastre hanno invaso per prime le aree depresse e, in particolare, le incisioni corrispondenti ad alcuni profondi paleoalvei del Tagliamento, permettendo alla laguna di raggiungere zone della pianura molto più interne rispetto alle zone circostanti. Il caso più evidente è quello verificatosi in corrispondenza di due incisioni esistenti al di sotto degli attuali corsi dei fiumi Lemene e Reghe-

na, lungo le quali le acque salmastre giunsero fino a Portogruaro (Fontana, 2004; 2006).

Lo schema geologico di figura 8.2 (profilo tratto da Bondesan *et al.*, 2008), pur essendo riferito alla sola area meridionale del territorio provinciale (la traccia del profilo è riportata in fig. 8.1), rappresenta in dettaglio la successione stratigrafica tipica del Sistema Idrogeologico Costiero. Tale successione, infatti, si riscontra lungo tutta la fascia costiera dall'Adige fino al Tagliamento, anche se i vari corpi sedimentari identificati presentano estensione e spessore diversi.

Per la realizzazione di questo schema sono stati interpretati alcuni transetti (figure da 9.3 a 9.9), trasversali rispetto all'asta fluviale dell'Adige (le tracce dei transetti sono riportate in fig. 8.1), distribuiti lungo tutta la sezione (circa 30 km) che partendo dal confine provinciale arriva in prossimità della linea di costa con direzione E-W. I transetti trasversali utilizzati per la realizzazione dello schema geologico si sono dimostrati un valido ausilio per la ricostruzione dell'architettura tridimensionale di questa parte del Sistema Idrogeologico Costiero.

Alla base dello schema geologico di figura 8.2 vengono identificati i depositi di piana alluvionale di età pleistocenica, il cui tetto, contraddistinto dalla presenza di un orizzonte sovraconsolidato (livello guida denominato *caranto*), si trova a una profondità di

circa 24-25 m in prossimità della linea di costa e di circa 9-10 m verso ovest dove si chiude il Sistema Idrogeologico Costiero. All'interno dei depositi pleistocenici sono stati individuati corpi fluviali giustapposti tra loro che danno luogo a sequenze sabbiose talora di notevole spessore (maggiore di 10 m).

Sopra le alluvioni pleistoceniche si sono depositati i primi sedimenti legati alla trasgressione marina medio-olocenica, formati all'interno di lagune e paludi d'acqua dolce/salmastrea situate a monte dei cordoni litorali (Amorosi *et al.*, 1999; Tosi *et al.*, 2007b). Si tratta di depositi di retrobarriera, il cui spessore è ge-

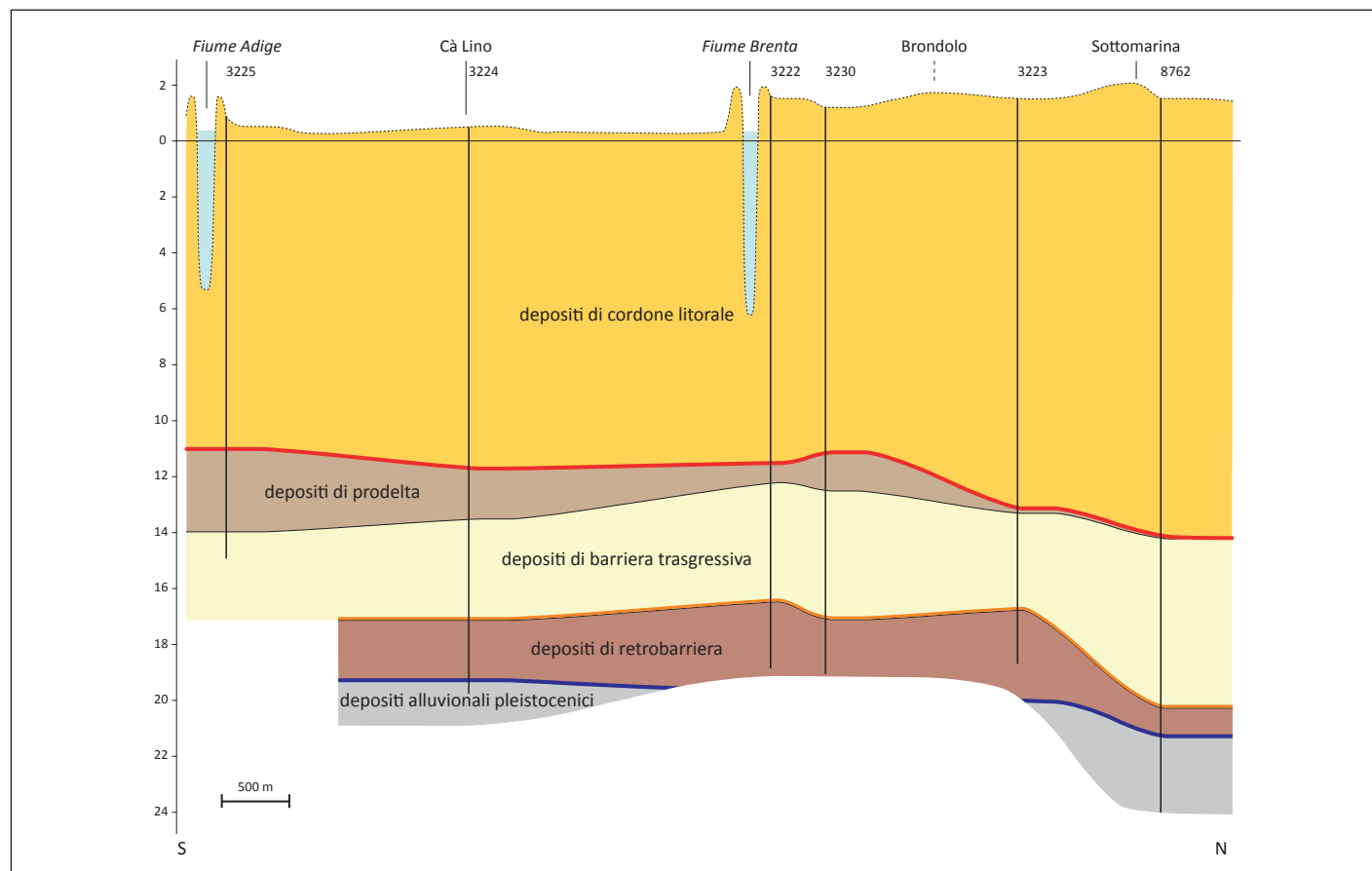


Fig. 9.3. Transetto n. 53 in fig. 8.1 (da Bondesan *et al.*, 2008, modificato).

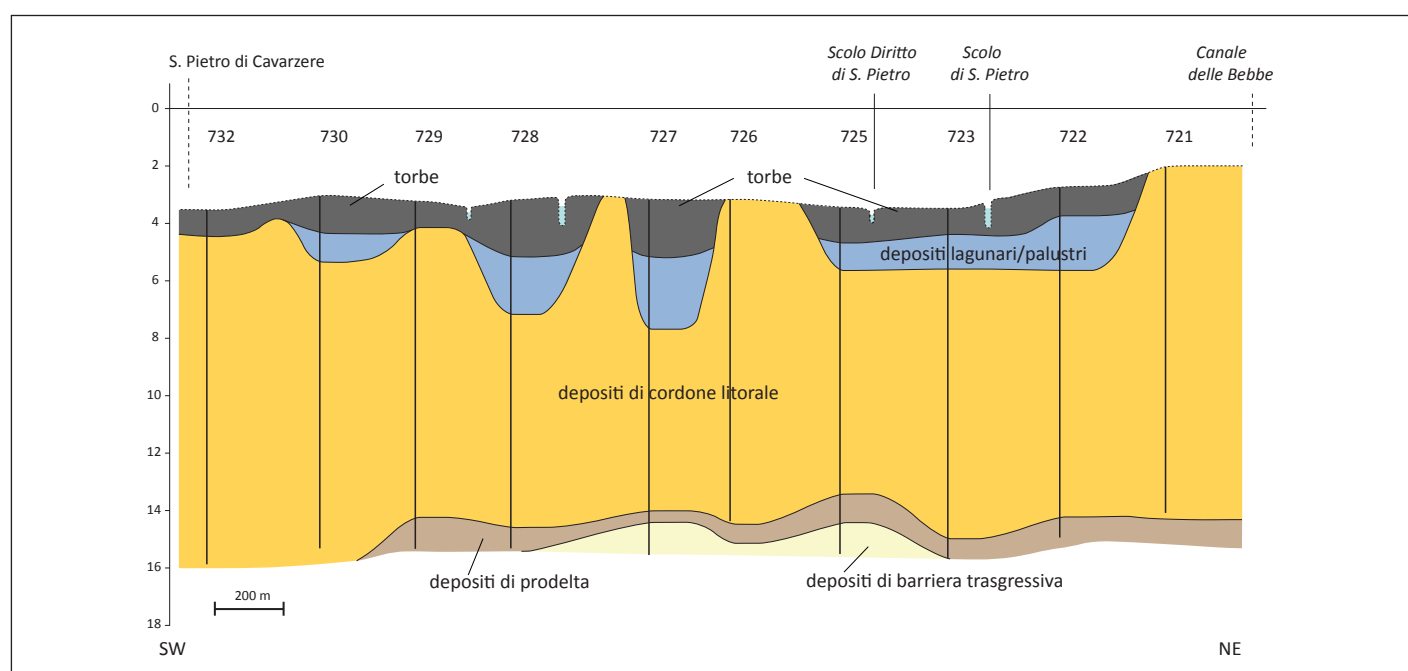


Fig. 9.4. Transetto n. 52 in fig. 8.1 (da Bondesan *et al.*, 2008, modificato).

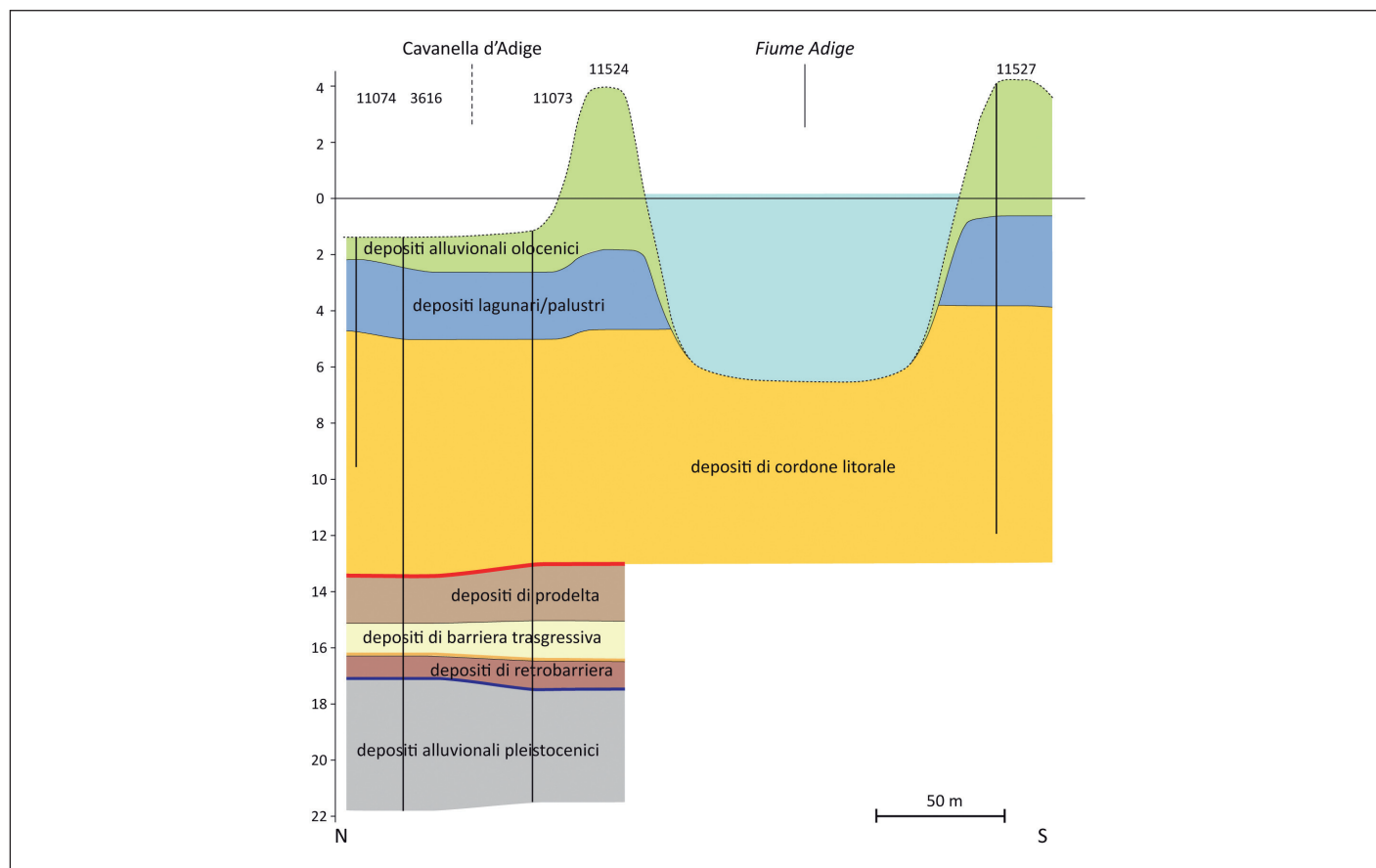


Fig. 9.5. Transetto n. 47 in fig. 8.1 (da Bondesan et al., 2008, modificato).

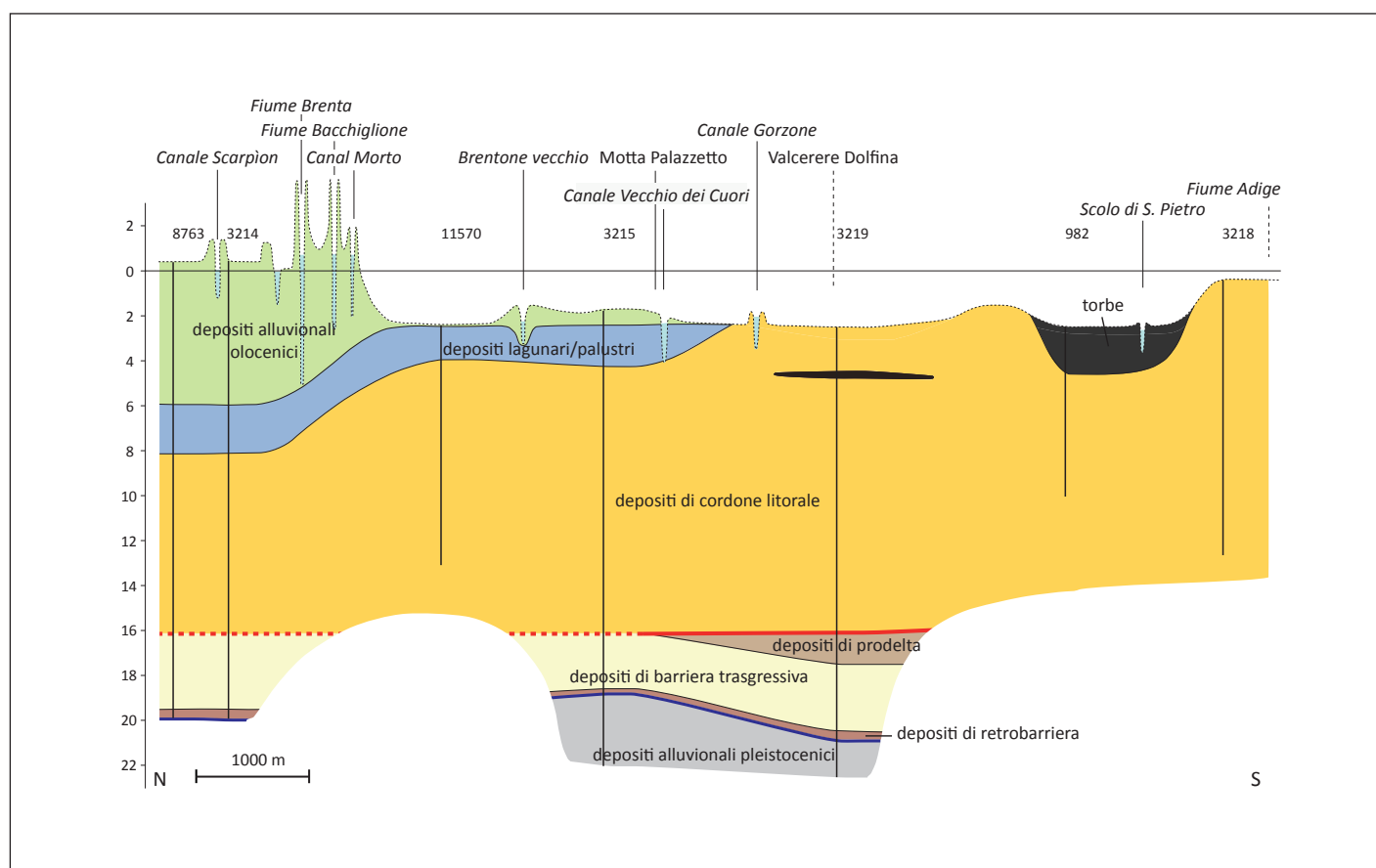
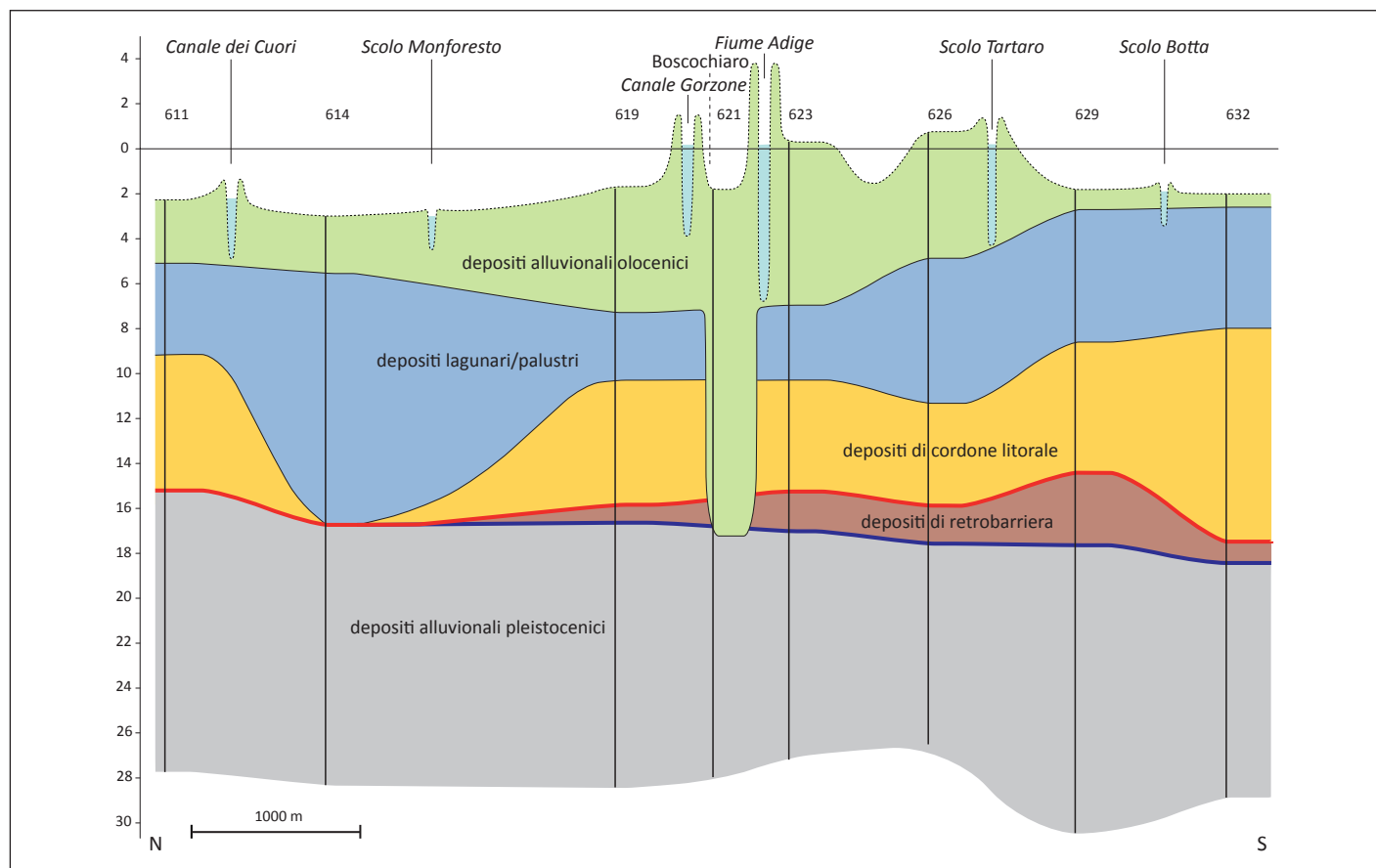
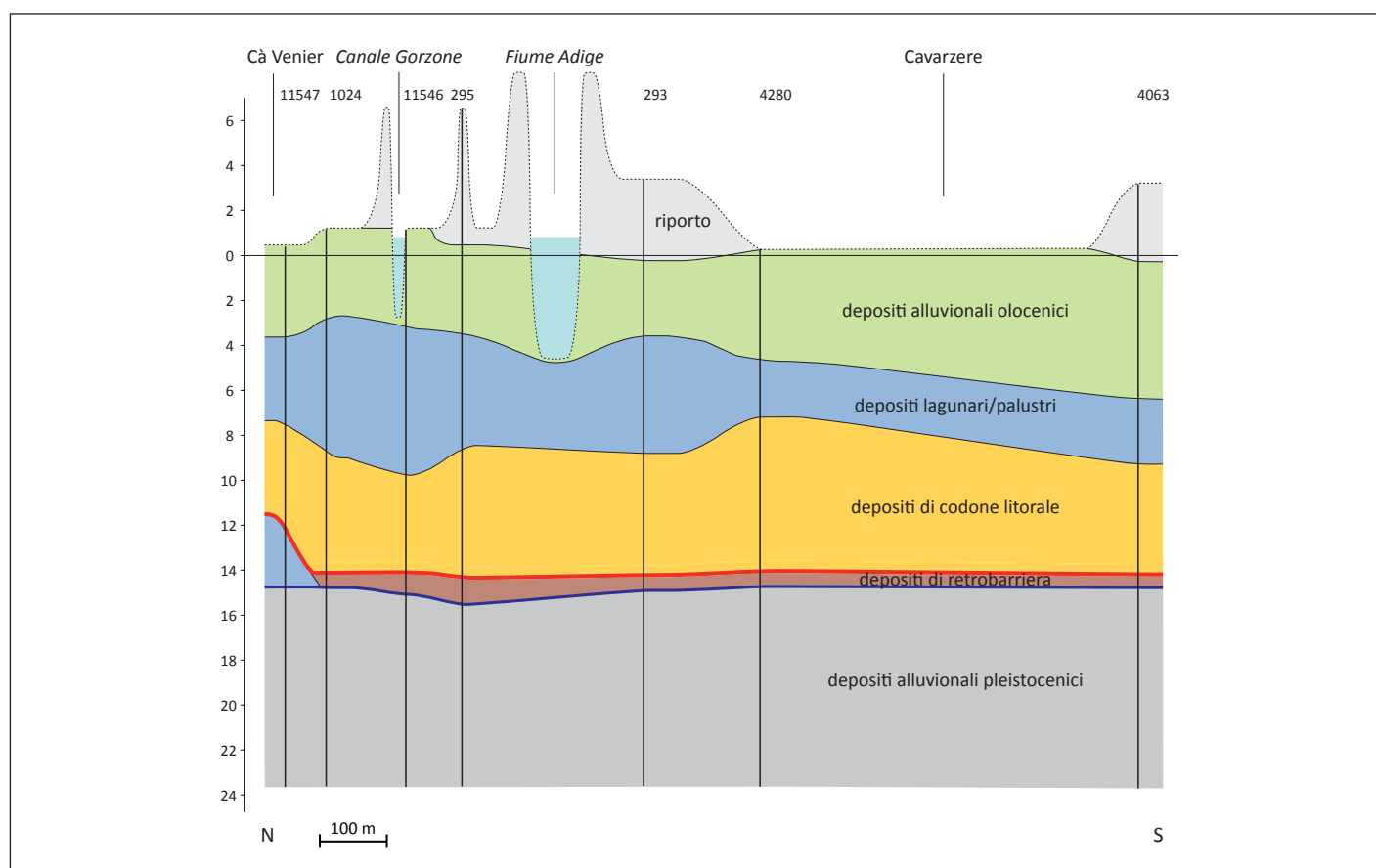


Fig. 9.6. Transetto n. 48 in fig. 8.1 (da Bondesan et al., 2008, modificato).

Fig. 9.7. Transetto n. 49 in fig. 8.1 (da Bondesan *et al.*, 2008, modificato).Fig. 9.8. Transetto n. 50 in fig. 8.1 (da Bondesan *et al.*, 2008, modificato).

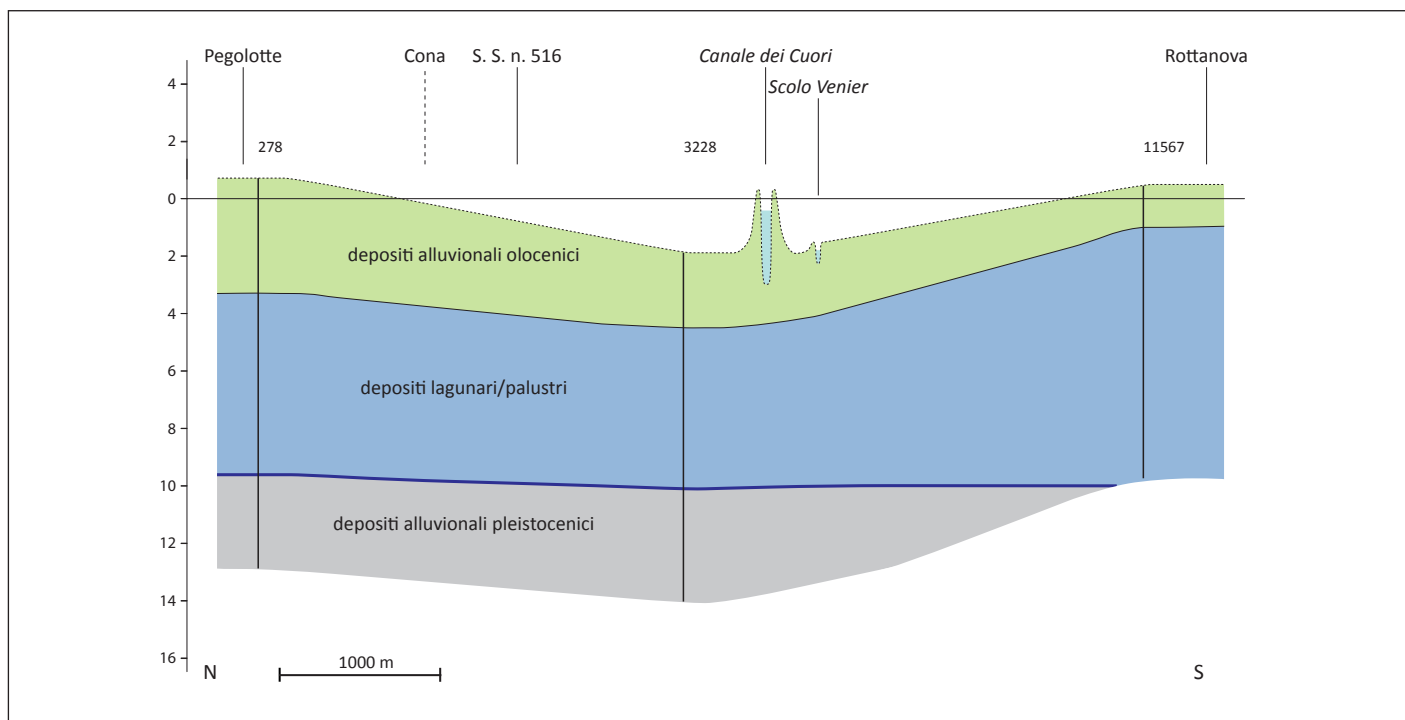


Fig. 9.9. Transetto n. 51 in fig. 8.1 (da Bondesan *et al.*, 2008, modificato).

neralmente inferiore al metro, costituiti da limi argillosi e argille limose, a volte organici o con locali accumuli di torbe.

Una superficie erosiva (superficie di *ravinement*, RS) debolmente immergente verso est, separa i depositi di retrobarriera dai sovrastanti depositi di barriera litorale trasgressiva. Questi ultimi sono costituiti da sabbie fossilifere con spessori di 1-2 m corrispondenti a depositi di spiaggia; alla base di questi depositi è spesso presente un caratteristico orizzonte conchigliare con spessore massimo di circa 50 cm.

Nelle porzioni di territorio prossime alla linea di costa (figure 9.3 - 9.4 - 9.5 - 9.6) si passa gradualmente dalle sabbie trasgressive a una alternanza di livelli centimetrici di argille e limi argillosi con sabbie fini limose, caratterizzate dalla presenza di fossili marini e talora da livelli organici. Questi sedimenti corrispondono a depositi di prodelta, caratterizzati da una geometria cuneiforme con spessore massimo di circa 5-6 m verso mare, formati in un ambiente marino poco profondo, passante verso est a un ambiente di piattaforma (Amorosi *et al.*, 1999).

Nelle zone interne più lontane dalla linea di costa (figure 9.7 - 9.8 - 9.9) non si rinvenivano i depositi di prodelta e le sabbie di barriera trasgressiva passano gradualmente ai depositi di cordone litorale regressivi, quest'ultimi costituiti da sabbie fossilifere fini, spesso limose, più raramente da medie a grossolane con abbondanti bioclasti.

Le sabbie di cordone litorale presentano uno spessore massimo di circa 16 m in prossimità della linea di costa (fig. 9.3) mentre si assottigliano verso NW fino alla chiusura del cuneo. A monte di Cavarzere non si rinvenivano più sabbie di ambiente litorale (fig. 9.9).

Nelle aree più interne dove i depositi litorali non affiorano, si passa attraverso un contatto netto dalle sabbie litorali ai sovrastanti depositi lagunari (figure 9.4 - 9.5 - 9.6 - 9.7 - 9.8). Questi ultimi sono costituiti da argille e limi argillosi fossiliferi, talora sabbiosi o associati ad alternanze di sottili livelli di sabbia fine e limo.

Al di sopra dei sedimenti lagunari si individuano, mediante un

contatto graduale, i depositi di palude salmastra rappresentati da argille limose e limi argillosi con abbondanti resti vegetali e frammenti di legno, e talora da argille con livelli torbosi o torbe di spessore variabile che aumenta spostandosi verso le zone più interne.

Infine si passa ai sovrastanti depositi alluvionali olocenici, costituiti da argille limose, limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie di piana di esondazione, di argine e rotta fluviale, e localmente da sabbie fini limose e sabbie medie legate alla presenza di corpi di canale con spessore massimo fino a 12 m (fig. 9.7).

Come precedentemente citato, la descrizione della successione stratigrafica relativa alla porzione meridionale del Sistema Idrogeologico Costiero si può generalmente estendere anche al settore centrale e orientale del sistema stesso.

È comunque importante sottolineare il fatto che, spostandosi da SW verso NE lungo l'arco costiero, si evidenzia una differenza sostanziale nella posizione raggiunta dai depositi sabbiosi litorali verso l'interno rispetto alla linea di costa, e, anche se in misura minore, nello spessore dei depositi stessi. Tale differenza si percepisce molto bene dal confronto tra il profilo F-F' e H-H', rappresentati entrambi nella Tavola 2c: il primo schematizza la situazione del settore meridionale (il tracciato di questo profilo coincide con quello dello schema di figura 8.2), mentre il secondo attraversa un settore del Sandomatese, partendo dal Lido di Jesolo presso Cortellazzo fino al confine provinciale. Nel settore meridionale i depositi litorali sono presenti fino a una distanza di circa 20 km dalla linea di costa, mentre nei pressi di Jesolo raggiungono al massimo una distanza di circa 5 km. Nel profilo F-F' lo spessore massimo dei depositi sabbiosi litorali è di 16 m, mentre nel profilo H-H' è di circa 8 m.

Il profilo I-I', riportato nella Tavola 2c, rappresenta invece una situazione particolare che si riscontra in corrispondenza delle incisioni del Tagliamento (in questo caso l'incisione di Teglio Veneto - Valle Vecchia). La presenza dell'incisione, formata prima dell'ingressione marina, ha favorito la risalita del mare verso l'interno: in queste aree ristrette e ben delimitate, i depositi marini

si rinvenivano più in profondità rispetto alle zone circostanti, sia in senso verticale (la base dell'incisione si trova a una profondità di circa 28 m) che orizzontale. Purtroppo la mancanza di sondaggi sufficientemente profondi, caratteristica di queste aree lagunari recentemente bonificate, non ha permesso di mappare in dettaglio i depositi sabbiosi litorali e, di conseguenza, di cartografare l'andamento del limite del sistema costiero all'interno delle incisioni.

## 9.2. Caratterizzazione idrostratigrafica

Dal punto di vista idrostratigrafico, è possibile suddividere il Sistema Idrogeologico Costiero in più parti.

Nel suo complesso, entro i primi 16 m di profondità dal p.c. si individua un corpo sedimentario sabbioso esteso lungo tutto l'arco costiero del territorio provinciale, identificato come *Acquifero sabbioso costiero olocenico*.

La base di questo acquifero è stata convenzionalmente posta in corrispondenza del limite inferiore dei depositi litorali regressivi, costituiti da sedimenti prevalentemente sabbiosi e massivi corrispondenti a spiagge, cordoni litoranei e sistemi di dune.

Per quanto riguarda il settore meridionale del territorio provinciale, questo limite è ben riconoscibile in prossimità della linea di costa data la presenza dei sottostanti depositi fini di prodelta, mentre verso l'interno, nelle aree in cui questi sedimenti non sono più rilevabili e si assiste alla coalescenza e amalgamazione dei depositi litorali regressivi più superficiali con quelli di barriera trasgressiva più profondi, il limite è posto in coincidenza con la base dei depositi sabbiosi trasgressivi (profilo F-F'). Nel settore centrale e nord-orientale della provincia, il ciclo trasgressivo-regressivo medio-olocenico non è altrettanto ben rappresentato e il limite inferiore dell'acquifero costiero è stato posizionato in

corrispondenza del primo passaggio di facies netto tra le sabbie litorali e i depositi fini sottostanti.

Il tetto dell'acquifero costiero è affiorante in vaste aree del settore meridionale della provincia, in particolare in corrispondenza dell'unità geologica di S. Anna, e lungo tutto l'arco costiero provinciale rappresentato dall'unità Litorale Indifferenziata e dall'unità di Bibione (vedi *"Le unità geologiche della provincia di Venezia"*, Bondesan et al., 2008) presso la foce del Tagliamento (profilo B-B').

La superficie del tetto tende ad approfondirsi verso l'interno, come evidenziato nella Tavola 1 che riporta la profondità del tetto dell'acquifero costiero in m dal p.c. Nelle aree dove il tetto non affiora, il limite superiore dell'acquifero è posto in corrispondenza del contatto tra le sabbie litorali e le facies più fini dei depositi lagunari/palustri e alluvionali che le ricoprono e fungono da acquitrando/acquiclude.

Lo spessore dei soprastanti depositi lagunari/palustri è variabile e aumenta andando da sudovest verso nordest. Lungo il litorale di Sottomarina, infatti, questi depositi si riscontrano solo nelle aree più interne del territorio provinciale, mentre spostandosi più a nord, in particolare lungo il litorale di Caorle e Valle Vecchia, prevalgono i depositi lagunari che raggiungono spessori fino a 10-12 m (Fontana, 2008).

Nella Tavola 1, all'interno del Sistema Idrogeologico Costiero, sono stati cartografati gli *Acquiferi sabbiosi di paleoalveo*. L'esiguo numero di paleoalvei riportati in carta è dovuto alla scelta di rappresentare solo quelli indagati tramite sondaggi o transetti geologici effettuati nell'ambito del presente studio o derivanti da indagini pregresse (Bondesan et al., 2008). Tali acquiferi corrispondono a corpi di canali superficiali, costituiti da sabbie da medio-grosse a fini, talora limose, con spessore rilevante (generalmente superiore a 5 m) e larghezza mediamente compresa tra 100 e 200 m.

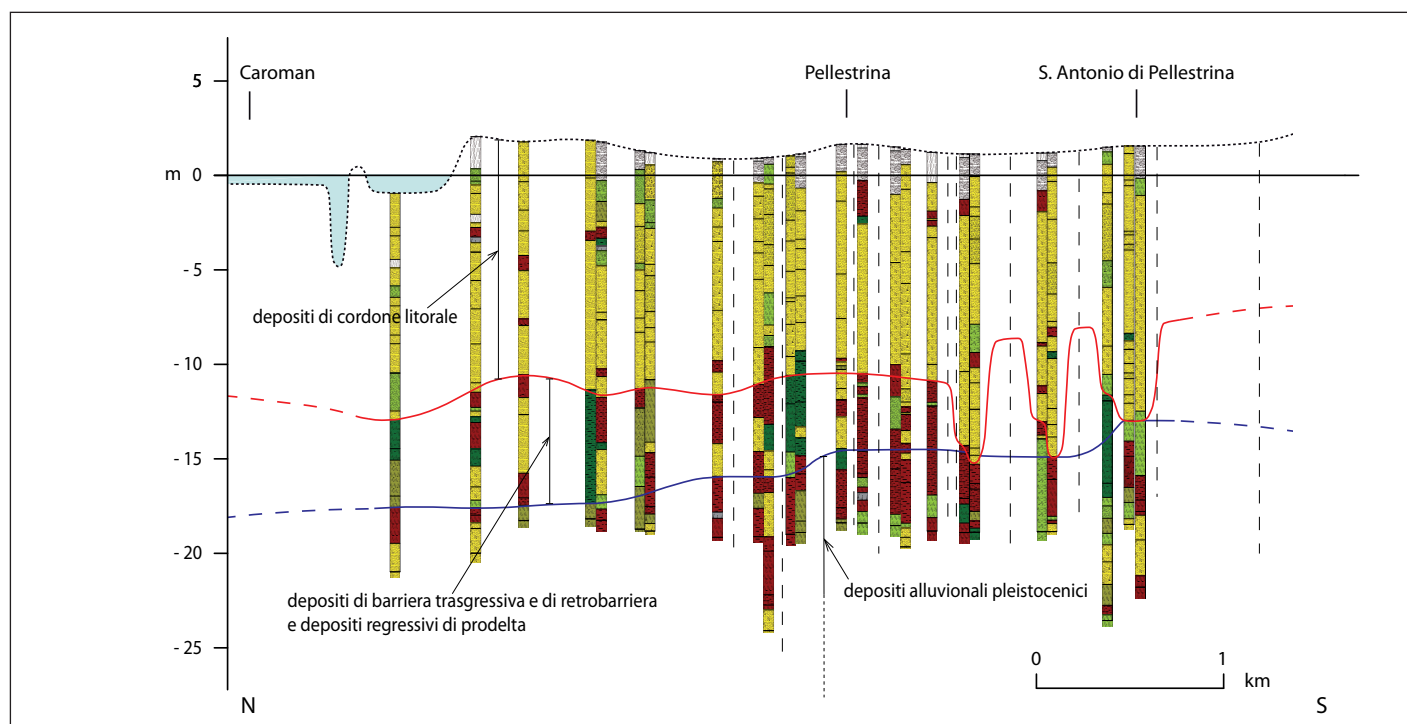


Fig. 9.10. Particolare del profilo costiero B-B' della Tavola 2a rappresentativo dell'unità Litorale Indifferenziata presso Pellestrina. La linea blu corrisponde al limite tra i depositi pleistocenici e quelli olocenici (caranto), mentre la linea rossa rappresenta il letto delle sabbie litorali corrispondente alla base dell'acquifero costiero. La legenda relativa alle stratigrafie dei sondaggi è riportata all'interno dell'Allegato 1 (vedi "Legenda Profilo Geologico").

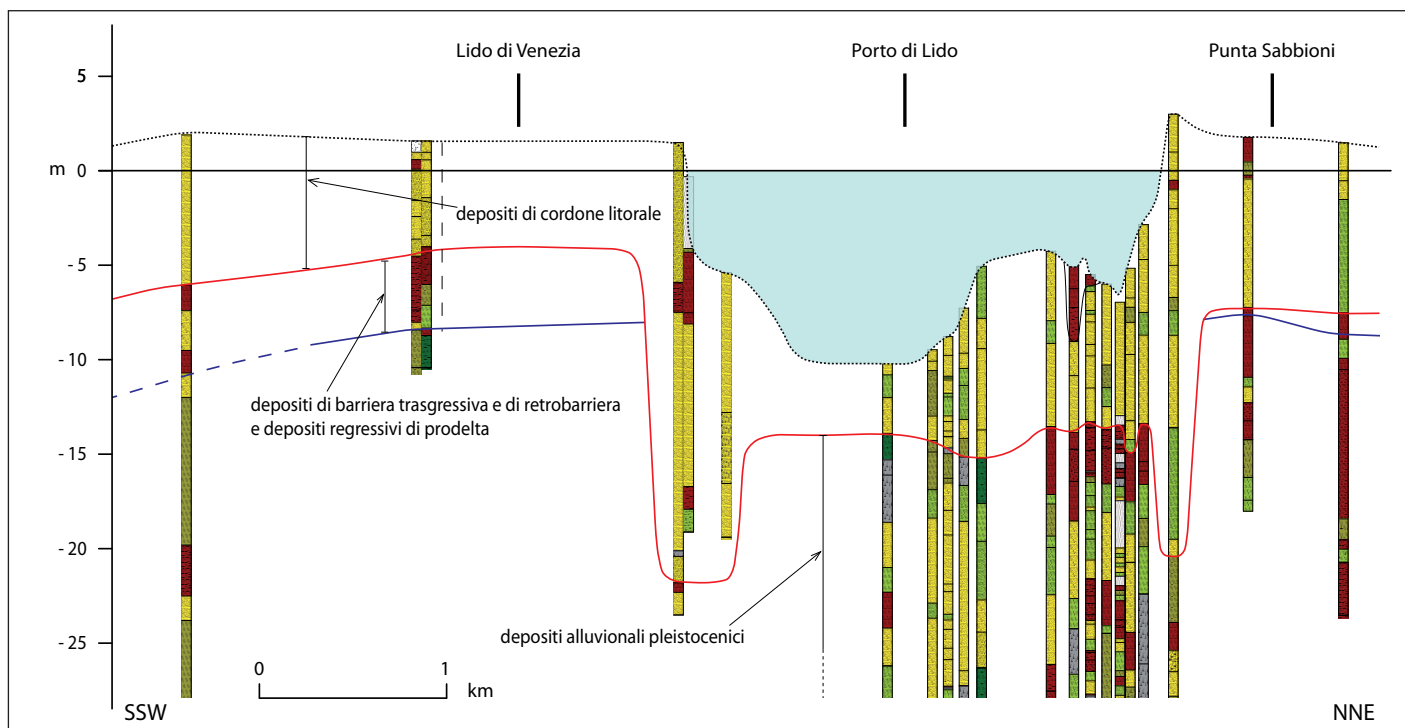


Fig. 9.11. Particolare del profilo costiero (B-B') della Tavola 2a rappresentativo dell'unità Litorale Indifferenziata presso il Lido di Venezia. La linea blu corrisponde al limite tra i depositi pleistocenici e quelli olocenici (caranto), mentre la linea rossa rappresenta il letto delle sabbie litorali corrispondente alla base dell'acquifero costiero. La legenda relativa alle stratigrafie dei sondaggi è riportata all'interno dell'Allegato 1 (vedi "Legenda Profilo Geologico").

La parte più profonda non affiorante del Sistema Idrogeologico Costiero, identificata come acquitardo/acquiclude, corrisponde al passaggio di facies tra i depositi sabbiosi e massivi superficiali e i sottostanti depositi fini stratificati. Il limite superiore di

questi depositi prevalentemente impermeabili o semipermeabili (coincidente con la base dell'acquifero costiero), si colloca a profondità variabili ed è leggermente immergente verso mare. In prossimità della costa si trova a profondità mediamente com-

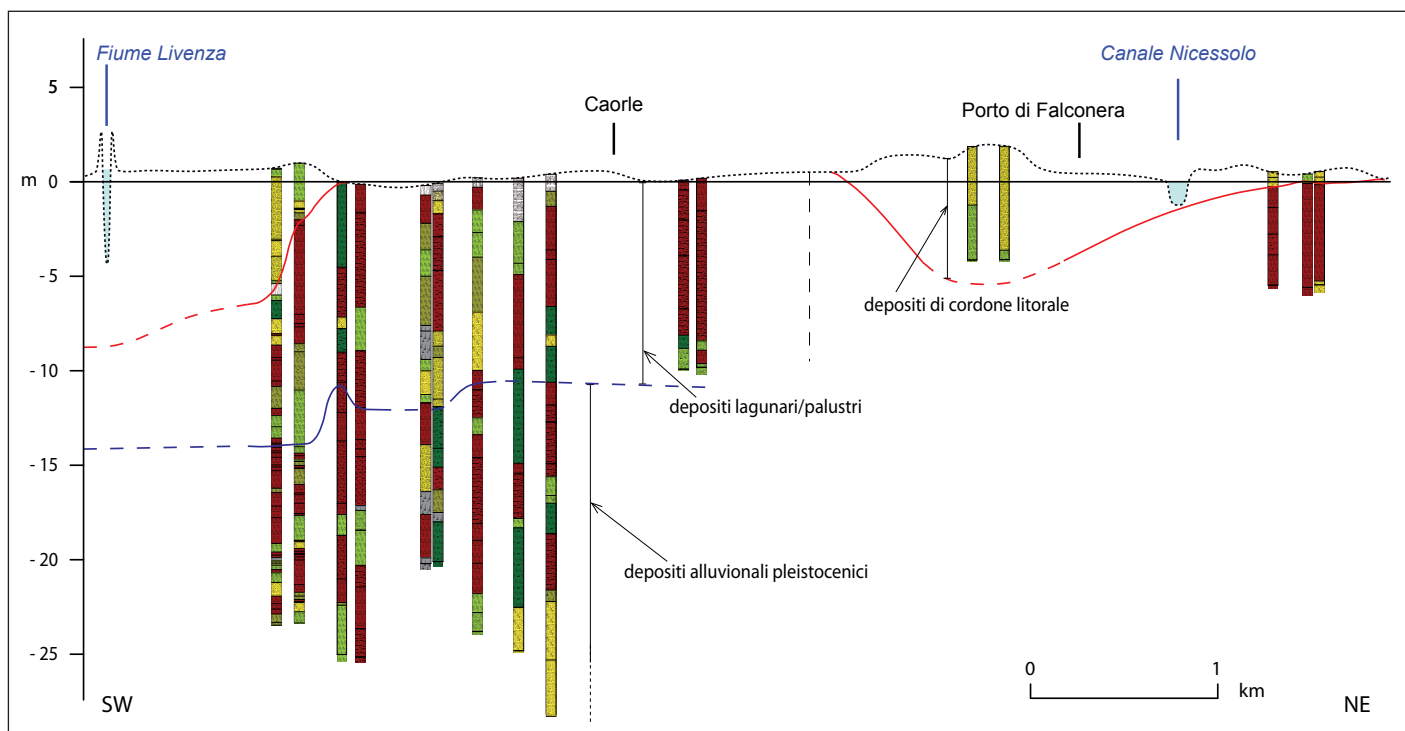


Fig. 9.12. Particolare del profilo costiero B-B' della Tavola 2b rappresentativo dell'unità Litorale Indifferenziata presso Caorle. Si osserva che la profondità del caranto (linea blu) passa da circa 15 m a circa 11 m andando verso est, mentre le sabbie litorali si riducono di spessore fino a sparire lasciando il posto ai depositi lagunari. La legenda relativa alle stratigrafie dei sondaggi è riportata all'interno dell'Allegato 1 (vedi "Legenda Profilo Geologico").

prese tra 16 e 6 m dal p.c. andando da sudovest verso nordest. All'interno di questo acquitardo/acquiclude più profondo si trova una importante superficie di discontinuità (limite Pleistocene-Olocene) corrispondente a un orizzonte di argille sovraconsolidate talora con presenza di noduli carbonatici: se presente, questo livello può costituire una ulteriore importante barriera di permeabilità. Osservando il profilo geologico B-B' riportato nelle Tavole 2a e 2b, si nota che il limite Pleistocene-Olocene (livello guida denominato *caranto*) è posto a profondità variabili lungo tutto il litorale. Partendo da sud, il tetto dei depositi pleistocenici si trova a circa 23 m di profondità a Sottomarina (fig. 9.3) e risale fino a una profondità di 16 m all'altezza di Pellestrina (fig. 9.10). Il tratto di litorale corrispondente al Lido (fig. 9.11) è caratterizzato nel sottosuolo dalla presenza di un alto morfologico presso l'attuale bocca di Porto di Lido, dove il *caranto* si intercetta a una profondità di circa 9 m, mentre ritorna ad abbassarsi fino a una profondità di 14 m lungo il litorale del Cavallino. Proseguendo verso nord, si passa gradualmente dai circa 13 m di profondità presso Lido di Jesolo, fino ai 12 m di Caorle (fig. 9.12) e della foce del Tagliamento.

All'interno dei depositi fini pleistocenici si riconoscono dei corpi sabbiosi, talora con estensione latero-verticale considerevole

(possono raggiungere spessori dell'ordine di una decina di metri), corrispondenti a corpi di canale fluviale, interpretati come singoli acquiferi confinati. Questa tipologia di acquiferi non è stata cartografata nella Tavola 1 a causa del limitato numero di sondaggi profondi presenti in tutta l'area litorale, che ha impedito uno studio sufficientemente dettagliato di questi corpi di canale.

### 9.2.1. Acquifero sabbioso costiero olocenico

L'*Acquifero sabbioso costiero olocenico* è costituito da depositi litorali corrispondenti a spiagge, cordoni litoranei e sistemi di dune, formati da sabbie fini e medie e sabbie limose, con presenza di bioclasti; talora i resti di molluschi marini possono essere particolarmente abbondanti. Nelle depressioni interdunali, o lame, si rinvengono alternanze di limi argillosi e sabbie limoso-argillose, con percentuali variabili di sostanza organica e talvolta torbe; sono spesso presenti resti di molluschi sia di acqua salmastra che dolce.

La ricostruzione tridimensionale della geometria dell'acquifero è stata convenzionalmente identificata con i seguenti limiti:

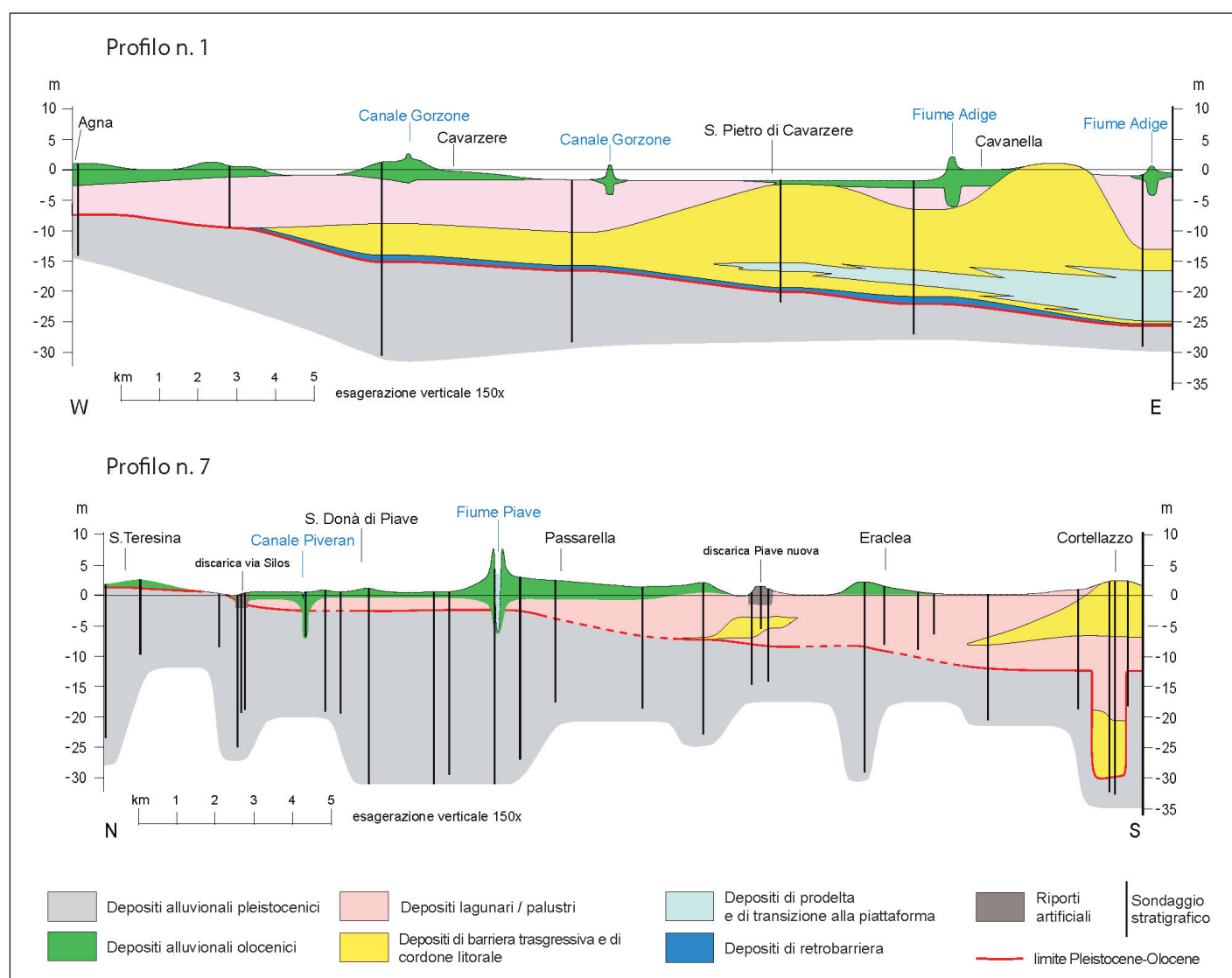


Fig. 9.13. Sopra: profilo geologico costiero n. 1 (da Amorosi *et al.*, 2009, modificato). Sotto: profilo geologico costiero n. 7, elaborato nell'ambito del presente studio. Le tracce dei profili sono riportate nelle figure 9.1 e 9.2

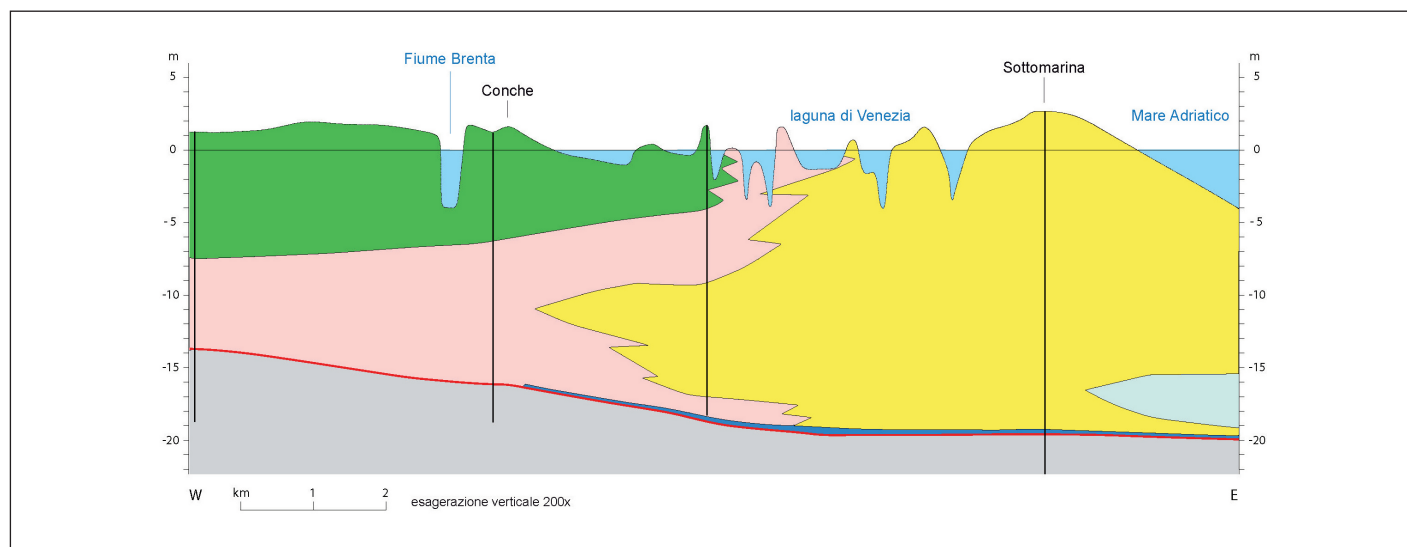


Fig. 9.14. Profilo geologico costiero n. 2 (da Tosi *et al.*, 2007a, modificato). Vedi legenda in figura 9.13. La traccia del profilo è riportata in fig. 9.2.

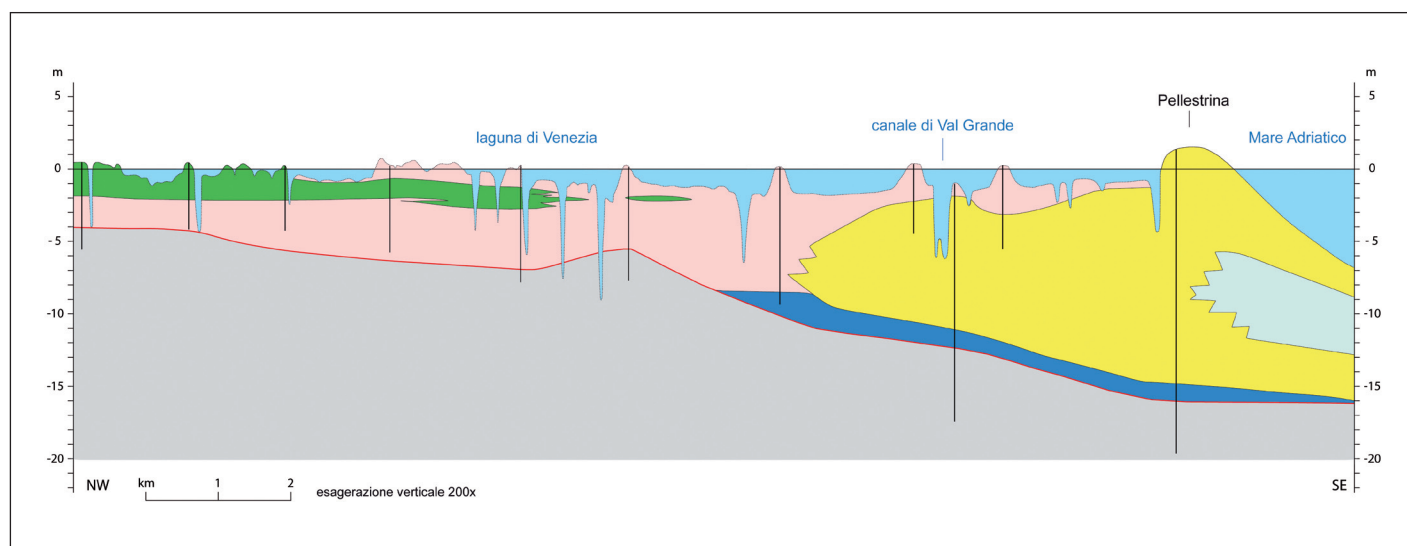


Fig. 9.15. Profilo geologico costiero n. 3 (da Tosi *et al.*, 2007a, modificato). Vedi legenda in figura 9.13. La traccia del profilo è riportata in fig. 9.2.

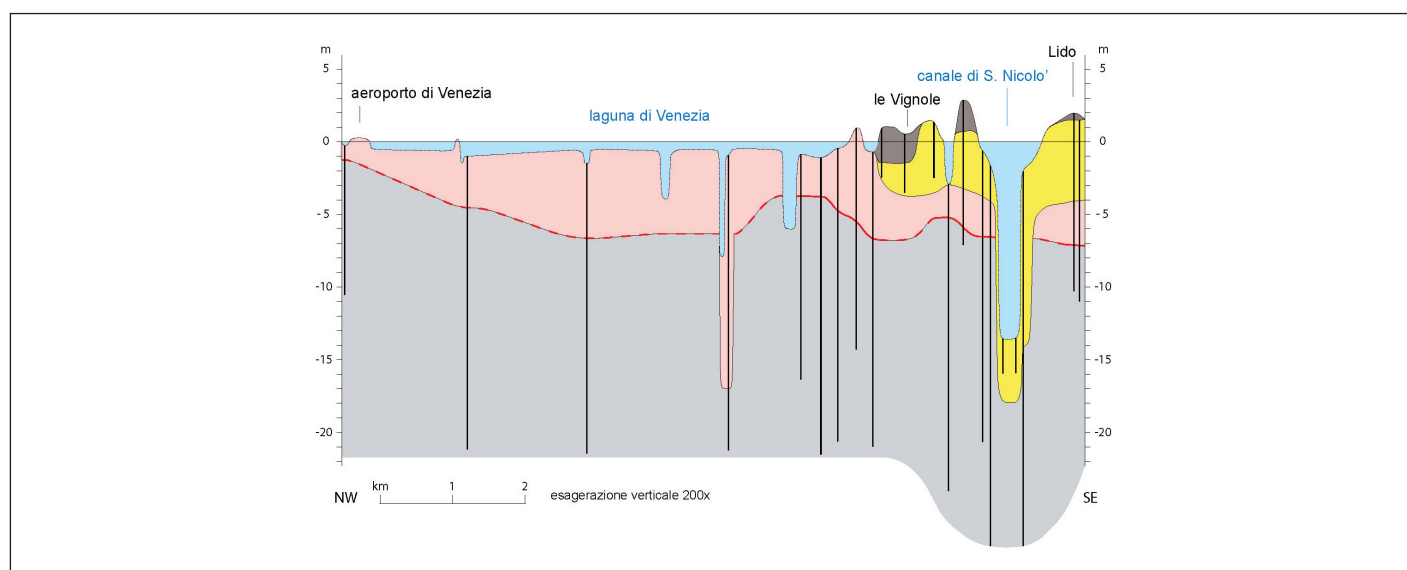


Fig. 9.16. Profilo geologico costiero n. 4. Vedi legenda in figura 9.13. La traccia del profilo è riportata in fig. 9.2.

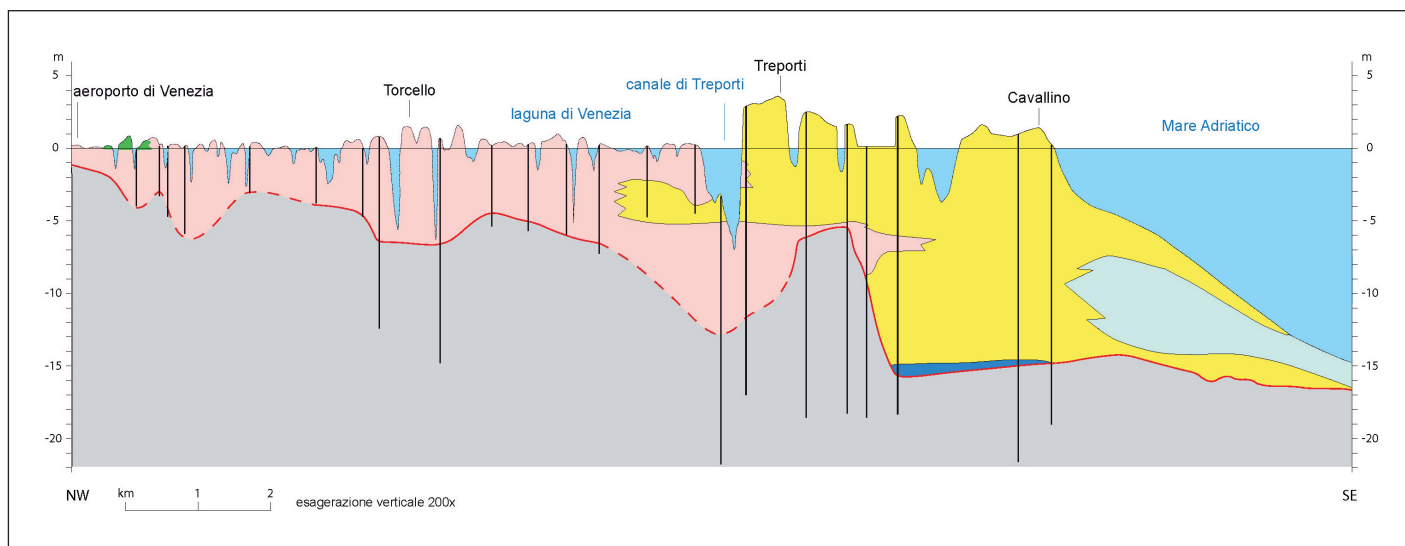


Fig. 9.17. Profilo geologico costiero n. 5 (da Tosi *et al.*, 2007b, modificato). Vedi legenda in figura 9.13. La traccia del profilo è riportata in fig. 9.1.

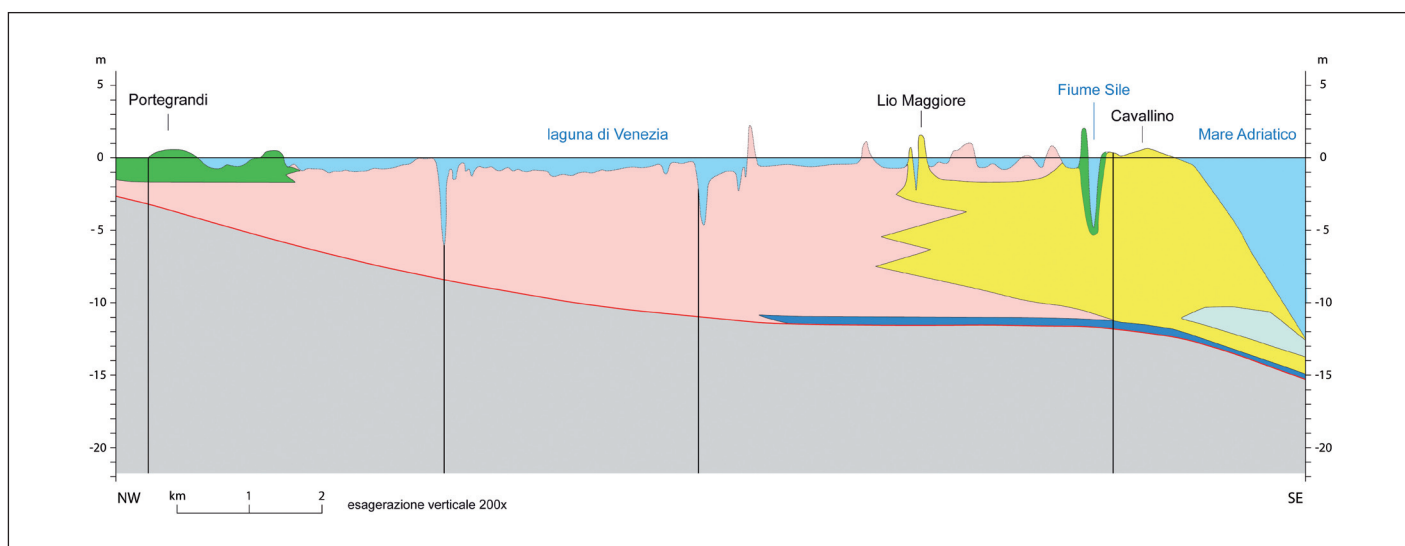


Fig. 9.18. Profilo geologico costiero n. 6 (da Tosi *et al.*, 2007b, modificato). Vedi legenda in figura 9.13. La traccia del profilo è riportata in fig. 9.1.

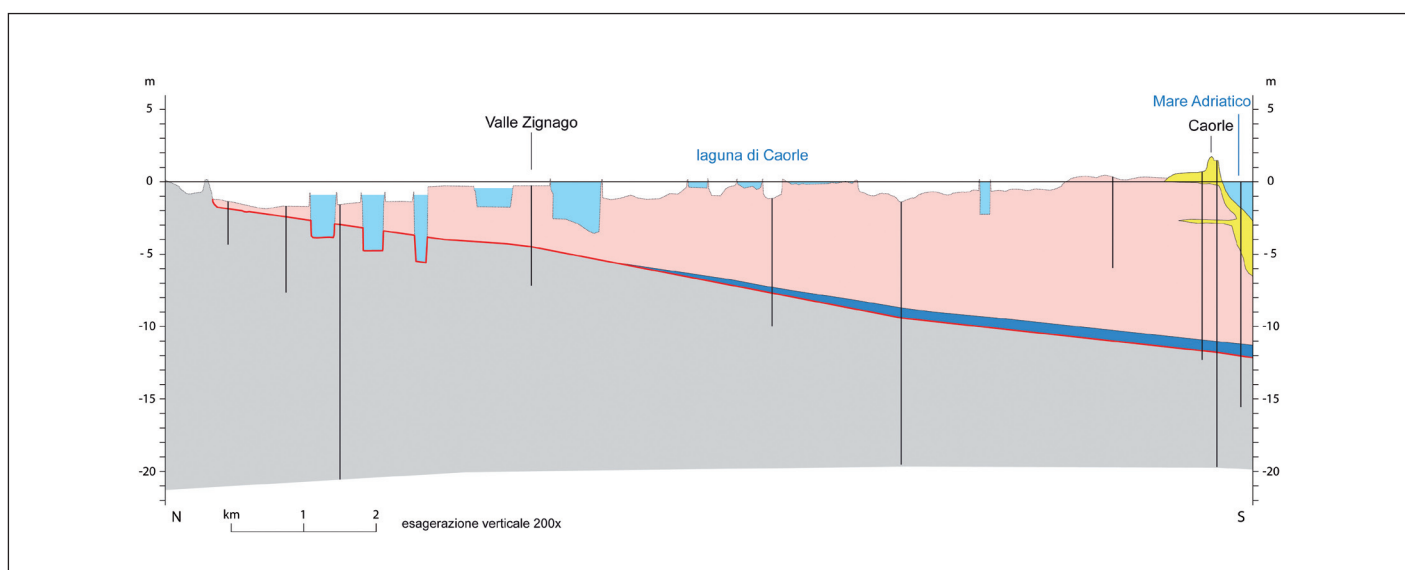


Fig. 9.19. Profilo geologico costiero n. 8 (da Amorosi *et al.*, 2008, modificato). Vedi legenda in figura 9.13. La traccia del profilo è riportata in fig. 9.1.

- il limite inferiore corrisponde alla base dei depositi sabbiosi litorali;
- il limite superiore coincide con la superficie topografica nelle aree in cui le sabbie affiorano, mentre, spostandosi verso l'interno, coincide con la base dei soprastanti depositi lagunari;
- verso valle il limite è fissato in corrispondenza della linea di costa attuale (limite oltre il quale l'acquifero non è stato indagato);
- verso monte il limite coincide con il limite della massima ingressione marina olocenica oltre il quale non si rinvenivano più sabbie di ambiente litorale.

Nella Tavola 3 è rappresentato il tetto e lo spessore dell'acquifero sabbioso costiero.

Le quote del tetto sono riferite al livello medio mare e l'andamento della superficie del tetto è evidenziato dalle isoipse tracciate con equidistanza di 1 m. Le quote più elevate si riscontrano in prossimità della linea di costa, mentre quelle minime (pari a circa -11 m slm) sono localizzate all'interno dell'area meridionale.

Dal confronto con la Tavola 1 (in cui viene rappresentata la profondità del tetto dal piano campagna) si evidenzia che l'acquifero è freatico lungo la fascia litorale in quanto affiorante, mentre si approfondisce spostandosi verso l'interno, diventando progressivamente semi-confinato e confinato all'aumentare dello spessore dei soprastanti depositi fini lagunari.

L'acquifero costiero presenta spessori massimi nell'area meridionale in prossimità del litorale (spessore massimo di 16 m) e in corrispondenza delle antiche linee di costa. L'elaborazione dello spessore delle sabbie rappresentato nella Tavola 3 ha messo in evidenza, infatti, l'allineamento più antico (corrispondente all'unità geologica di Motte Cucco) dove l'acquifero raggiunge uno spessore di circa 11 m, mentre l'antica linea di costa coincidente con l'unità geologica di Cavanella d'Adige è delineata con minor dettaglio a causa della scarsità di sondaggi sufficientemente profondi presenti nell'area.

Lungo il litorale di Pellestrina e di Malamocco l'acquifero raggiunge uno spessore massimo di circa 12 m. A est del Porto di Lido, l'acquifero è caratterizzato da uno spessore massimo di circa 10 m lungo il litorale del Cavallino e presso il delta attuale del Tagliamento. All'interno della laguna di Venezia, l'elaborazione dello spessore dell'acquifero ha evidenziato la presenza dell'antico cordone litoraneo di S. Elena - La Certosa - Le Vignole - S. Erasmo (spessore massimo di circa 13 m).

Le sezioni stratigrafiche riportate nelle figure da 9.12 a 9.19 sono state d'aiuto per la ricostruzione della geometria dell'acquifero sabbioso costiero olocenico, in particolare per il settore della laguna di Venezia: si tratta di 8 profili geologici posizionati trasversalmente rispetto alla linea di costa, di cui 4 (profili 2, 3, 4 e 5) situati all'interno del bacino lagunare.

Due profili sono stati realizzati nell'ambito del presente lavoro (profili 4 e 7); gli altri, invece, sono tratti da precedenti pubblicazioni (profili 1 e 8: Amorosi *et al.*, 2008; profili 2 e 3: Tosi *et al.*, 2007a; profili 5 e 6: Tosi *et al.*, 2007b). Tutti i profili sono stati modificati per rendere possibile un confronto diretto tra loro, uniformando la scala orizzontale e verticale e codificando in modo uniforme i vari tipi di deposito.

Osservando i profili in figura 9.13, appare subito evidente come l'ampiezza del cuneo sabbioso si riduce passando dal litorale di Chioggia (profilo n. 1) a quello di Jesolo (profilo n. 7), fino a sparire quasi completamente nei pressi del litorale di Caorle (profilo n. 8, fig. 9.19). La serie di profili conferma, inoltre, quanto emerso dall'elaborazione rappresentata nella Tavola 3: lo spessore dell'acquifero sabbioso varia notevolmente sia an-

dando da mare verso l'entroterra, sia spostandosi lungo la costa da SW verso NE.

### 9.3. Caratterizzazione idrogeologica

Sulla base della ricostruzione della geometria degli acquiferi (paragrafo 9.2), risulta che l'*Acquifero sabbioso costiero olocenico* è costituito da sabbie sature che alloggiavano un acquifero che risulta non confinato nelle aree più prossime alla costa, per poi divenire semiconfinato o confinato nelle aree più interne (si vedano le isobate del tetto dell'acquifero in Tavola 1). Lo spessore varia da pochi metri ad una ventina di metri.

Nel complesso l'acquifero costiero interessa un'area di quasi 600 km<sup>2</sup>; il volume dell'acquifero è stato stimato pari a 1706 Mm<sup>3</sup> per il settore NE e di 2197 Mm<sup>3</sup> per il settore SW, pari ad un volume complessivo di circa 4000 Mm<sup>3</sup> (corrispondente a un volume teorico di acqua gravifica, ipotizzando una porosità efficace di 0,12, di circa 500 Mm<sup>3</sup> - volume colmato in parte da acqua dolce ed in parte anche consistente d'acqua salata).

L'acquifero è stato caratterizzato idrogeologicamente mediante test idrogeologici in situ, monitoraggi piezometrici in continuo ed elaborazioni di misure idrogeologiche pregresse. Le elaborazioni hanno inoltre valutato gli elementi idrologici che possono influenzare gli afflussi-deflussi dal sistema ed il regime potenziometrico.

#### Permeabilità

I valori caratteristici di permeabilità sono stati valutati mediante slug test eseguiti sugli stessi piezometri in monitoraggio e da dati pregressi.

In totale si hanno 26 misure in situ (11 slug test, 8 Lefranc e 7 prove di pompaggio), dei quali 10 nel settore NE del sistema ed i rimanenti nel settore SW. L'ubicazione dei punti di misura

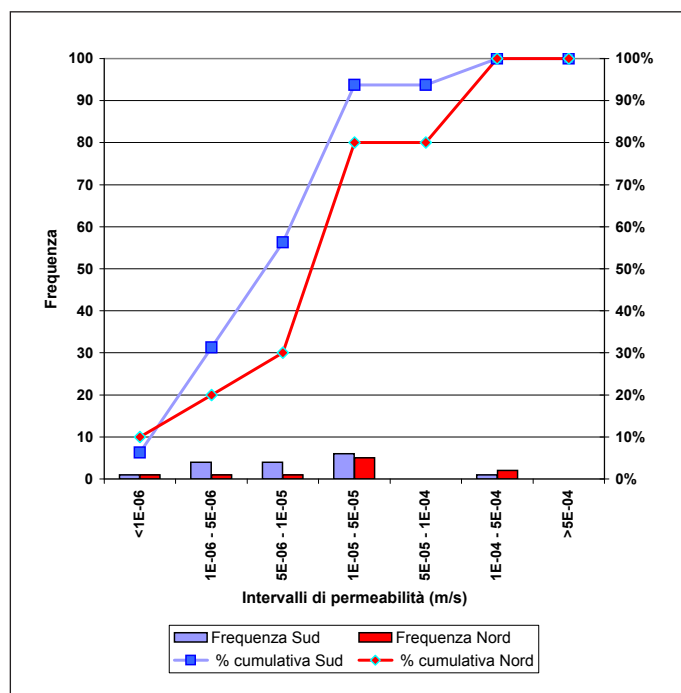


Fig. 9.20. Frequenza dei valori e percentuale cumulativa delle misure di permeabilità in situ.

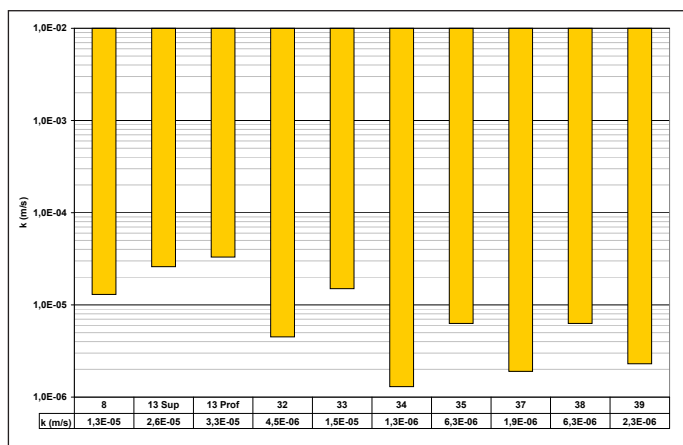


Fig. 9.21. Permeabilità determinata tramite slug test sui piezometri in monitoraggio continuo.

è in Tavola 5, suddivisi in base alla classe di permeabilità ed al metodo di prova.

I valori caratteristici di permeabilità sono riportati nella tabella 9.1, i valori misurati sono rappresentati tramite la frequenza e la percentuale cumulativa in figura 9.20.

Nella figura 9.21 si riporta una rappresentazione grafica relativa a 10 misure effettuate, con metodologia uniforme (slug test) su 10 piezometri, su cui si sono effettuati anche i monitoraggi piezometrici in continuo.

Si osserva come, in relazione al meccanismo sedimentario che ha formato l'acquifero (si tratta in netta prevalenza di sabbie litorali ben classate) il range di valori sia piuttosto ristretto. Si osserva inoltre come le permeabilità nel settore NE siano maggiori rispetto al settore SW a causa delle diverse caratteristiche granulometriche dei sedimenti nei due settori.

### Contesto idrografico

Il settore SW del Sistema Idrogeologico Costiero è caratterizzato da una rete idrografica principalmente costituita dai fiumi Brenta, Bacchiglione e Adige e da una fitta rete di bonifica (fig. 9.22).

Gran parte di questo territorio è soggetto a scolo meccanico (si

**Tabella 9.1. Valori caratteristici di permeabilità degli acquiferi del Sistema Idrogeologico Costiero (elaborazione su 25 valori ottenuti con diverse metodologie di prova)**

Area	Percentile 10	Percentile 25	Mediana	Percentile 75	Percentile 90
Settore NE	4,0E-06	7,4E-06	2,0E-05	4,0E-05	2,3E-04
Settore SW	1,3E-06	3,4E-06	9,1E-06	1,3E-05	1,6E-05
Complessiva	1,3E-06	4,6E-06	1,2E-05	1,7E-05	7,9E-05

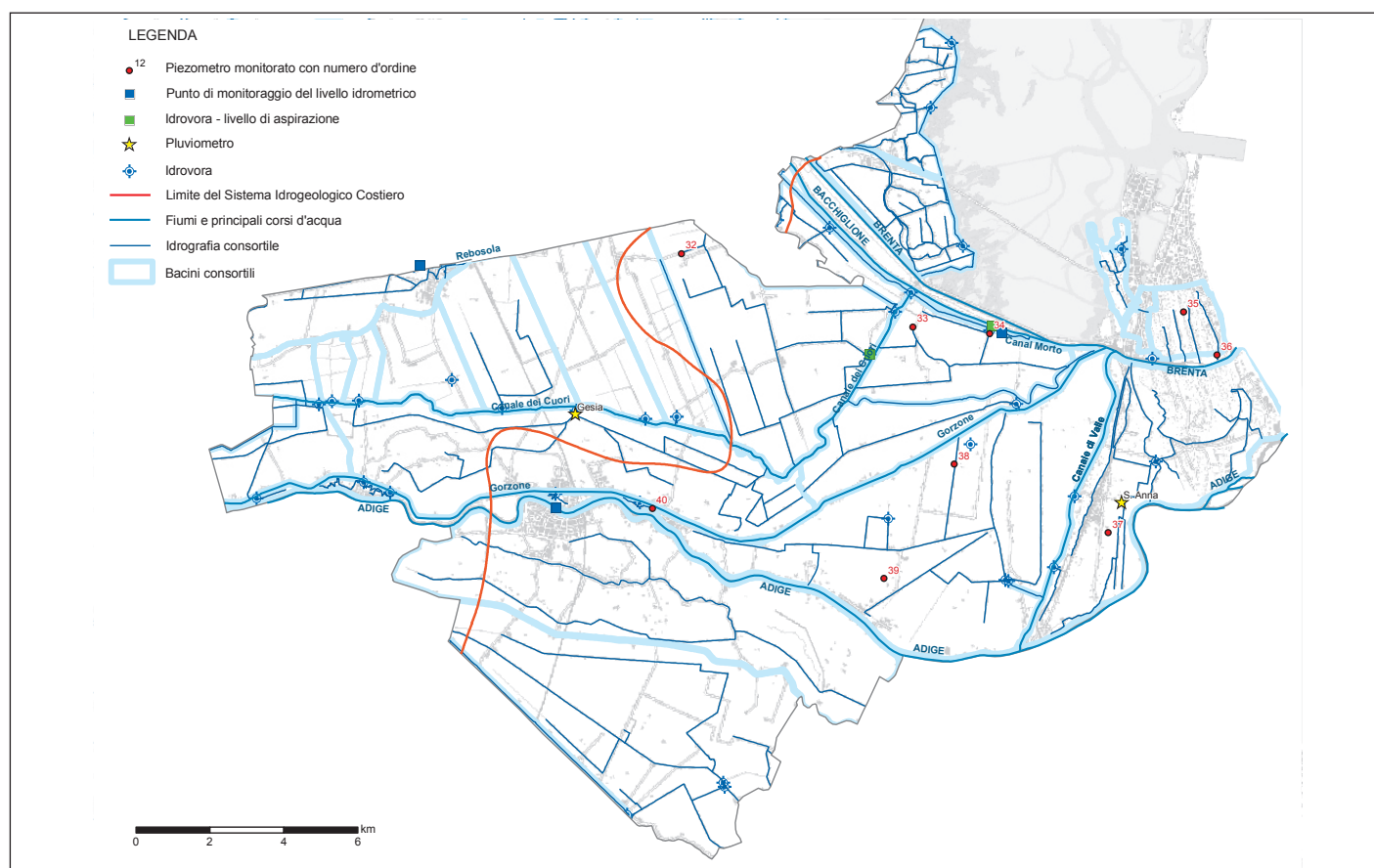


Fig. 9.22. Inquadramento idrografico del settore SW e ubicazione dei punti di monitoraggio.

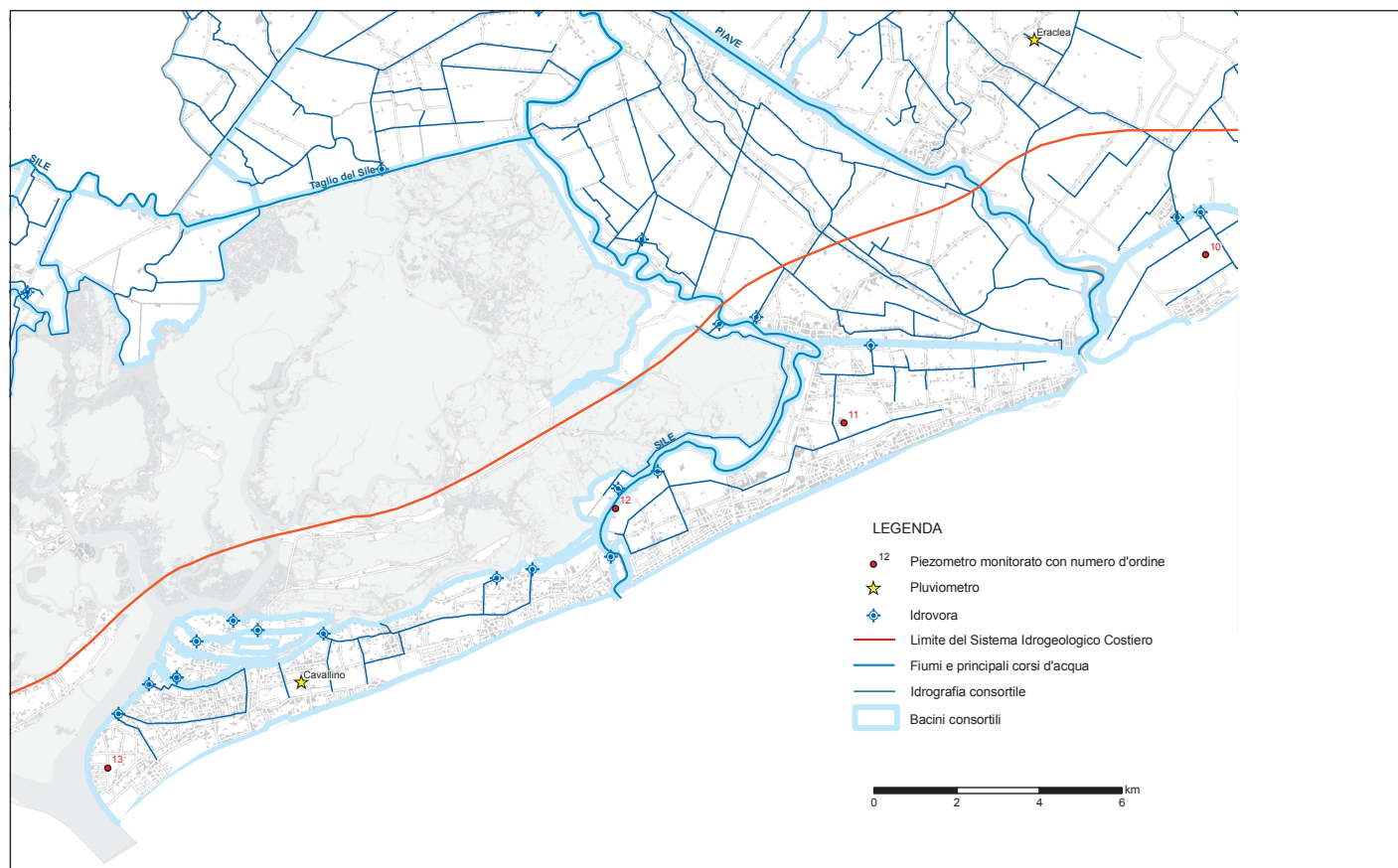


Fig. 9.23. Inquadramento idrografico del settore NE tra il Porto di Lido e il fiume Piave e ubicazione dei punti di monitoraggio.

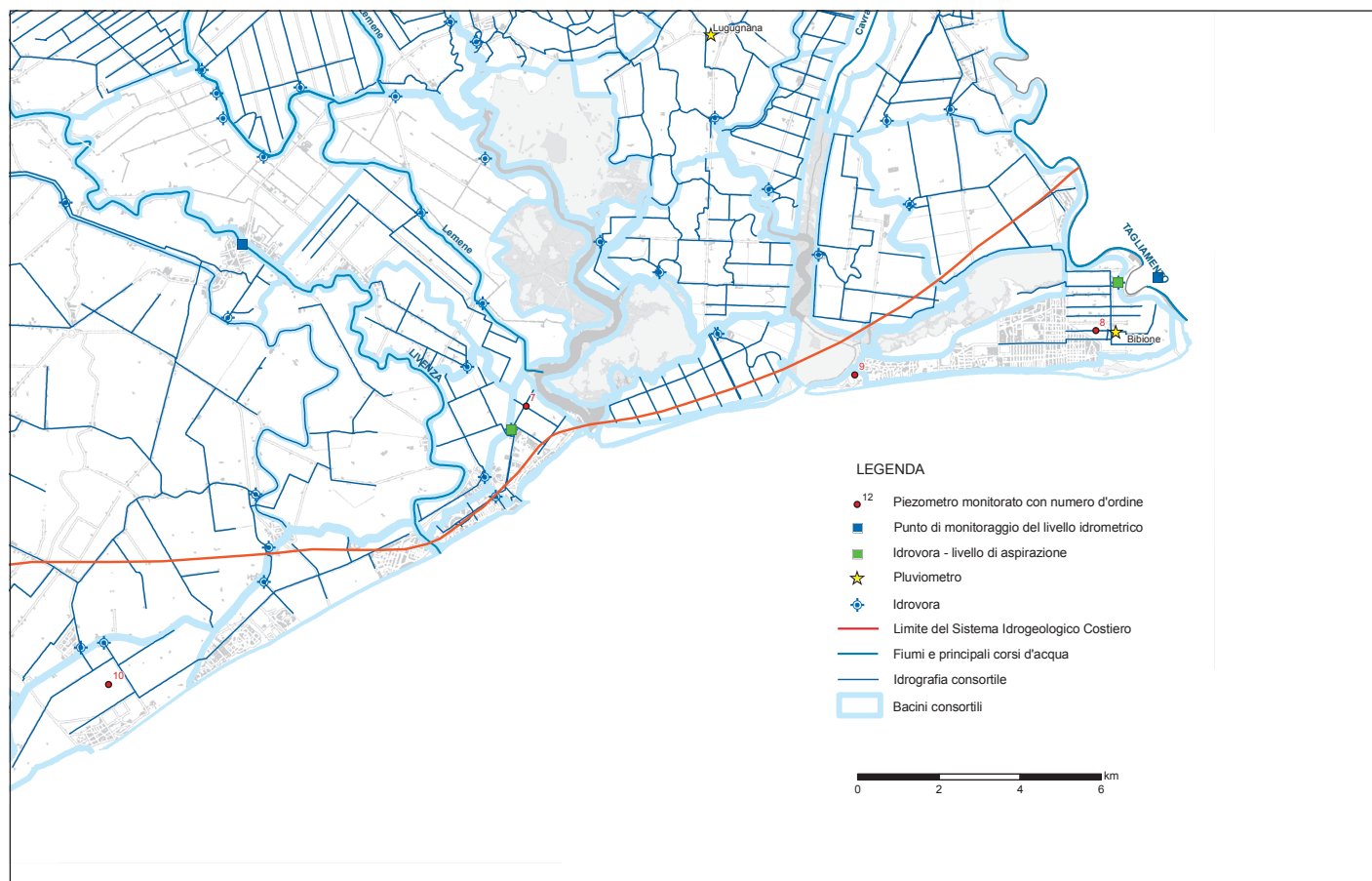


Fig. 9.24. Inquadramento idrografico del settore NE tra i fiume Piave e Tagliamento e ubicazione dei punti di monitoraggio.

veda Tavola 5) in quanto le quote topografiche sono per lo più al di sotto del livello medio del mare.

La rete di bonifica ha un regime quasi completamente artificiale. Il territorio è suddiviso in una serie di bacini, ognuno dei quali recapita le acque ad una idrovora, principalmente il canale Morto, il canale dei Cuori, il canale Gorzone e il canale di Valle (fig. 9.22). Anche la rete idrografica dei grandi fiumi è in parte artificiale, sia come percorso (il Brenta e il Bacchiglione sono stati deviati artificialmente dai veneziani per prevenire l'interramento della laguna), sia come regime idrologico. Difatti lungo questi corsi d'acqua, sia nel bacino montano che in pianura, vari elementi (dighe, chiuse, derivazioni, canali di interconnessione) ne regolano artificialmente il flusso.

Come si evidenzierà nel paragrafo successivo, ne consegue che la bonifica idraulica, gestita dai Consorzi di Bonifica, controlla il regime sia delle acque superficiali che sotterranee. Vi è quindi una stretta correlazione tra acque sotterranee e acque superficiali, limitatamente però alla falda superficiale (oggetto del presente studio), mentre le falde profonde sono del tutto indipendenti.

L'interferenza tra falda freatica e acque superficiali è causata dal fatto che il territorio è prevalentemente soggetto a scolo meccanico e quindi l'altezza del pelo libero dell'acqua nella rete di bonifica controlla il regime delle acque sotterranee, tramite il continuo drenaggio operato sulla falda ad opera della rete di scolo.

Nel settore NE del Sistema Idrogeologico Costiero (figg. 9.23 - 9.24) si ha una situazione analoga. Anche qui le quote, fatta eccezione per i litorali, sono normalmente al di sotto del livello del medio mare e il drenaggio delle acque superficiali (e, indirettamente, sotterranee) è garantito da una fitta rete di canali di bonifica collegati a idrovore. Nella parte più prossima alla costa si hanno anche aree a scolo naturale.

### **Regime potenziometrico**

Le quote e il regime potenziometrico sono controllati da un elevato numero di fattori influenti sia di carattere naturale che antropico. Le suddette quote sono quindi state analizzate con un elevato numero di piezometri monitorati in continuo (15, dei quali 9 nel settore SW e 6 nel settore NE).

Gli elementi che possono influenzare i livelli potenziometrici sono:

#### *naturali*

- marea;
- pluviometria;
- livelli idrometrici dei corsi d'acqua.

#### *artificiali*

- bonifica idraulica (idrovore e rete di drenaggio/irrigazione ad esse collegate);
- livelli idrometrici dei corsi d'acqua (in parte soggetti a regolazione artificiale).

Nella caratterizzazione del regime potenziometrico, analogamente a quanto fatto per la ricostruzione della geometria degli acquiferi, si presenteranno separatamente i dati relativi ai settori SW e NE dell'acquifero costiero.

### **Regime potenziometrico ed afflussi-deflussi del settore SW dell'acquifero costiero**

I Consorzi di Bonifica tendono a mantenere i livelli idrometrici dei canali ad una altezza costante prestabilita. In generale, si hanno valori più elevati, finalizzati a favorire l'irrigazione, nel

periodo estivo, mentre nel resto dell'anno, per motivi di sicurezza idraulica, i livelli vengono mantenuti bassi dalle idrovore.

Un'analisi del regime potenziometrico a scala di area vasta è possibile tramite il confronto delle misure in continuo (fig. 9.25). L'elaborazione è relativa all'anno idrologico 2010, in ragione della maggiore consistenza dei dati.

Le misure di livello della falda sono confrontate con la pluviometria, il livello di aspirazione (lato "monte") di una delle numerose idrovore presenti (idrovora Zennare), il livello del canale Rebosola e del fiume Adige.

Il regime potenziometrico è caratterizzato da un'oscillazione nell'anno di limitata entità, spesso inferiore al metro. Si osserva inoltre come a diversi livelli estivi ed invernali nella rete di bonifica corrispondano livelli potenziometrici differenziati.

Va rilevata inoltre l'analogia nel regime potenziometrico della maggior parte dei punti di controllo con l'eccezione dei piezometri 35 e 36, ubicati presso gli "orti di Chioggia". I piezometri monitorati mostrano in genere un'interazione con lo scolo meccanico regolato dai Consorzi di Bonifica. In figura 9.25 è particolarmente significativo il confronto tra il regime (lato "monte") all'idrovora Zennare e il regime potenziometrico della falda.

Va precisato che il regime misurato all'idrovora Zennare è sostanzialmente analogo a quello delle numerose altre idrovore che controllano la bonifica idraulica di questa zona ed è quindi rappresentativo della regolazione della bonifica idraulica della gran parte dell'area.

Nel periodo estivo i livelli della rete consortile vengono mantenuti a livelli più elevati e, analogamente, i piezometri evidenziano (nonostante la scarsa piovosità estiva) un aumento dei livelli potenziometrici.

La correlazione tra livelli potenziometrici e livelli idrometrici alle idrovore è molto netta nei piezometri 33, 34, 37, 38 e, in parte, 39. Meno evidente nei piezometri ubicati più internamente (32 e 40). In particolare il piezometro 40 (maggiormente profondo e che va ad intercettare i sottostanti sedimenti fluviali) ha un regime potenziometrico influenzato principalmente dal livello del fiume Adige (di conseguenza anche dall'oscillazione di marea essendo il fiume abbastanza prossimo alla foce) e, parzialmente, dalle precipitazioni.

Più in dettaglio, un primo gruppo di piezometri sottoposti a monitoraggio continuo (37-38-39) si localizza nel nucleo del sistema acquifero, dove le sabbie affiorano (acquifero non confinato) e presentano uno spessore di oltre 10 m. Il sistema acquifero costiero in questa fascia acquista la sua massima estensione.

Anche per questi piezometri si registra un'influenza delle precipitazioni sul livello potenziometrico, ma modesta e con una ben più evidente e determinante sovrapposta influenza della rete di bonifica. Essi ricadono in un territorio che si trova ad una quota di 2 metri circa al di sotto del livello del mare.

Non si registra una relazione con il livello del fiume Adige, che si trova vicino (circa 1200 m) al piezometro 39, se non per quegli effetti che sono da relazionare alle precipitazioni in cui si osservano picchi sincroni.

Il piezometro 33 rappresenta il caso più evidente dell'interazione della bonifica sulla falda. Dai dati di monitoraggio si osserva un innalzamento del livello della falda di circa 50 cm nel periodo estivo.

Per tutti i quattro anni di monitoraggio si registra un innalzamento del livello della falda nel periodo compreso tra metà giugno e metà settembre, coincidente con l'innalzamento della rete consortile (si veda la scheda 33).

Il piezometro 32 è invece localizzato nella parte di chiusura del cuneo sabbioso.

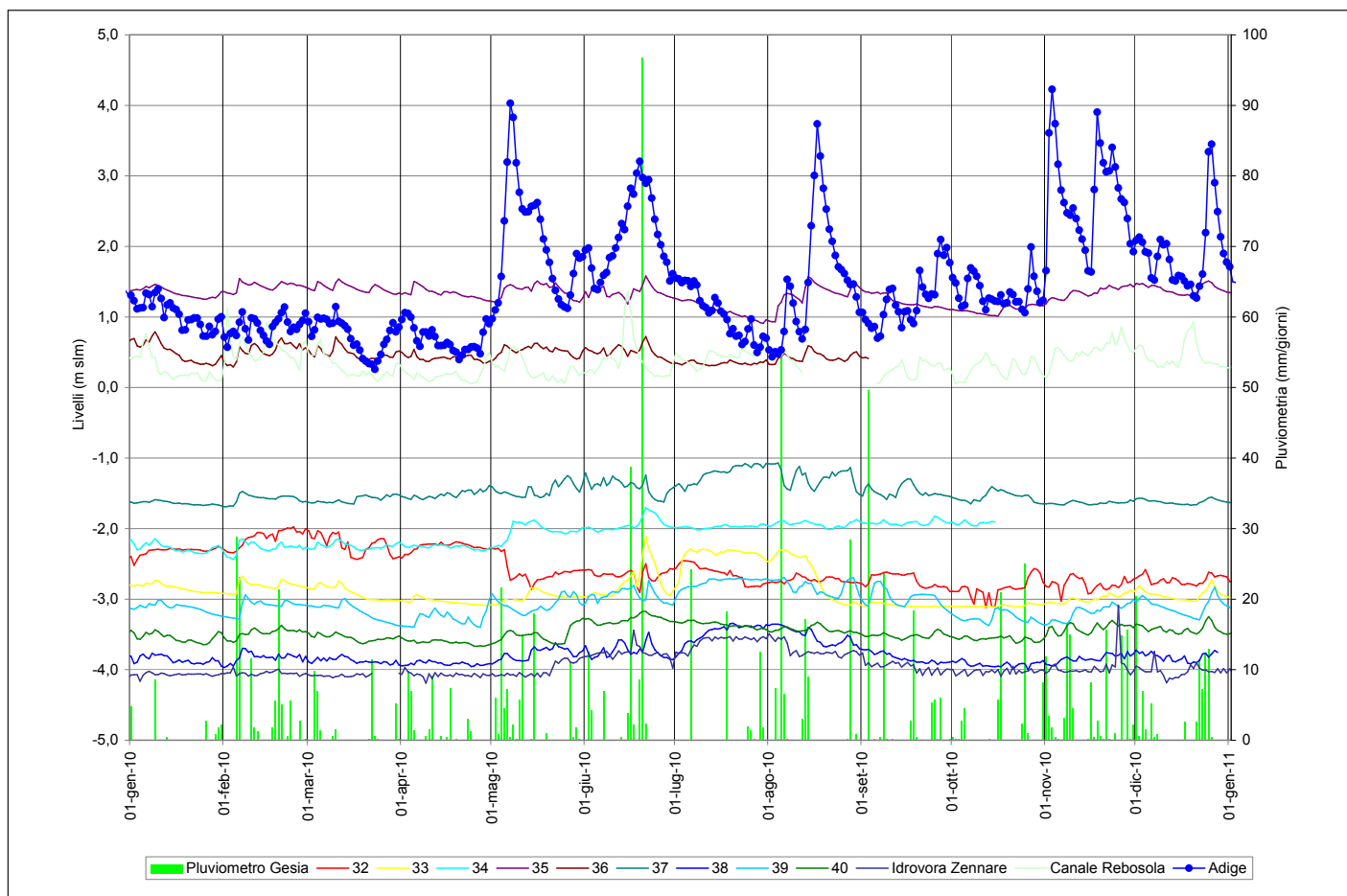


Fig. 9.25. Confronto del regime piezometrico su 9 piezometri nel settore SW dell'acquifero costiero (anno 2010).

Anche in questo caso il regime potenziometrico è soggetto all'interazione della gestione consortile. Le precipitazioni hanno influenza solo nei casi di eventi intensi, ma ciò che regola l'oscillazione della potenziometrica è principalmente la bonifica idraulica. Gli innalzamenti della falda possono corrispondere, oltre che ad eventi piovosi, anche all'alimentazione da parte dei canali principali che a loro volta sono alimentati dalle idrovore. Infine i piezometri 34 e 40 si pongono in condizioni geologiche diverse rispetto agli altri piezometri del settore SW dell'acquifero costiero.

Il piezometro 34 è filtrato, tra 14 e 20 m, in depositi fluviali più antichi (pleistocenici) costituiti da limi sabbioso-argillosi e da sabbie da fini a medio-grosse. Il regime potenziometrico mostra scarsissime oscillazioni ma anche in questo caso si conferma il massimo estivo.

Si osservano alcuni innalzamenti potenziometrici in coincidenza dei principali eventi piovosi ma è il regime di bonifica del Canal Morto, che a sua volta è influenzato dalla marea, che regola l'oscillazione e il livello potenziometrico.

Infine, nel piezometro 40, come già osservato, il regime potenziometrico è influenzato principalmente dal livello del fiume Adige e parzialmente dalle precipitazioni.

Come premesso, diverso è il regime potenziometrico sui piezometri 35 e 36, localizzati nell'area degli "Orti di Chioggia". Tale diversità è legata ad una loro diversa localizzazione rispetto al sistema delle acque superficiali. Si localizzano infatti in un'area prevalentemente a scolo naturale (è presente un'idrovora ma interviene solo in caso di piogge eccezionali).

Come si osserva in figura 9.25, il regime potenziometrico qui ri-

sulta governato dalle precipitazioni. I tempi di risposta all'evento piovoso non superano le 12 ore. Per il piezometro 36, nonostante la vicinanza al mare, non si registra un importante influsso delle oscillazioni di marea sul regime della falda, ma solo una piccola induzione che si manifesta con effetti smorzati rispetto all'evento di marea determinante (vedasi la scheda 36).

Come evidenza il transetto 53 (fig. 9.3) l'acquifero è non confinato ed è costituito da una "lente" di acqua dolce, sovrastante l'acqua salata, che viene alimentata dalle piogge. In luglio si osserva una graduale diminuzione dei livelli potenziometrici, correlabile alla presenza di pozzi a grande diametro che garantiscono l'irrigazione degli orti stessi.

Il regime potenziometrico viene confrontato (piezometri 33-35-37-38-39) su base pluriennale in figura 9.26. Si conferma, nell'area a scolo meccanico, anche su un monitoraggio prolungato nel tempo, il regime caratterizzato da un massimo estivo. Per confronto si riporta anche il piezometro 35 ubicato in area a scolo naturale dove si osservano negli anni 2009 e 2010 livelli potenziometrici più bassi che negli anni 2011 e 2012. Questo si nota anche nei piezometri localizzati in altri acquiferi soggetti ad un sistema di scolo naturale (Sistema Idrogeologico Centrale). In tabella 9.2 si analizza statisticamente la correlazione tra livelli potenziometrici<sup>1</sup> (32-33-35-37-38-39-40), livello dell'idrovora Zennare, idrometria del canale Rebosola ed idrometria del fiume Adige. L'elaborazione è stata effettuata su un anno di misure.

1. Non si sono utilizzati i piezometri 34 e 36 in quanto dotati di una serie temporalmente limitata.

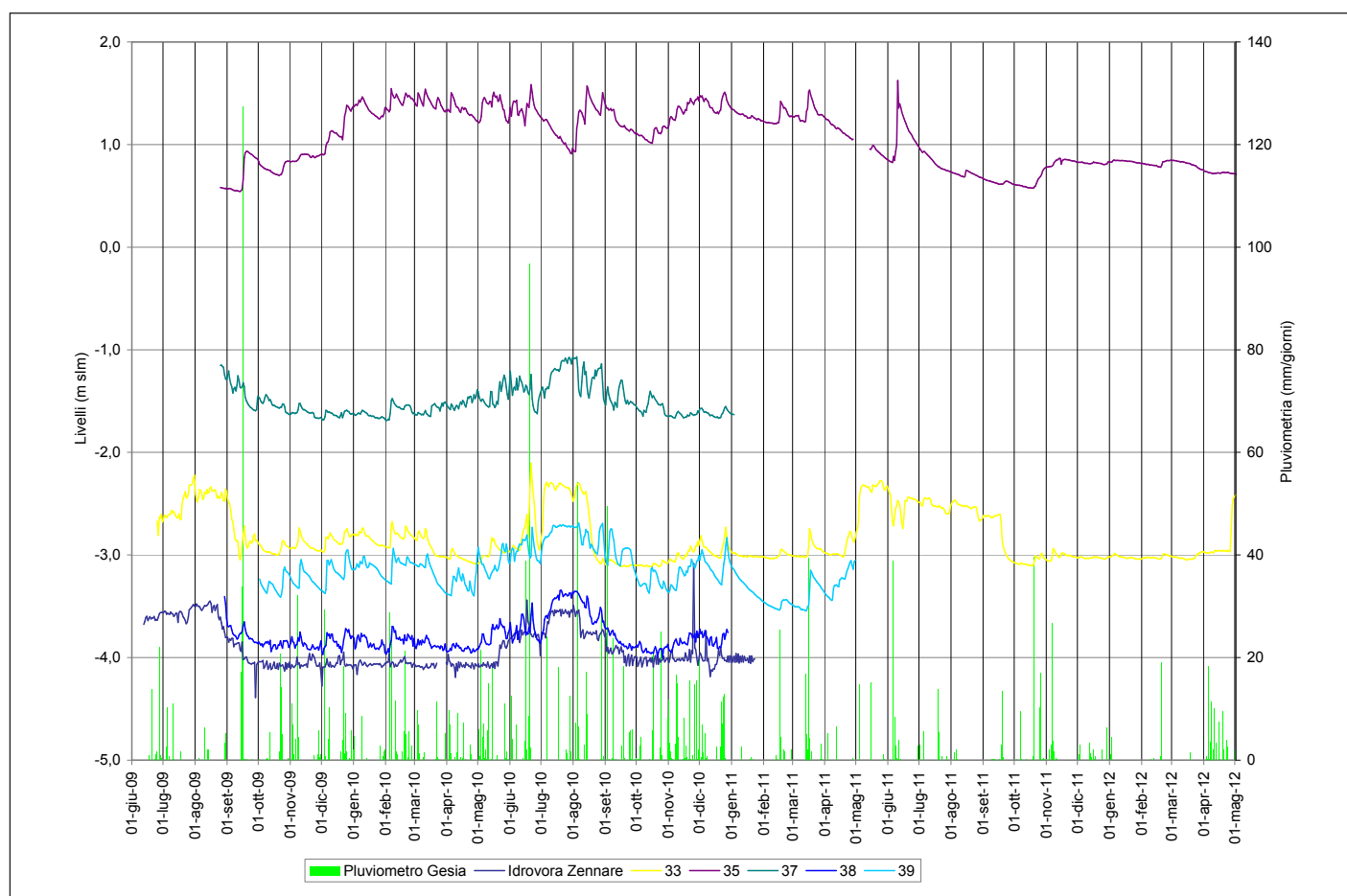


Fig. 9.26. Confronto del regime potenziometrico su circa 3 anni di misura per i piezometri 33-35-37-38-39.

Si osserva l'elevata correlazione tra i piezometri 33-37-38-39 ed i livelli all'idrovora, nonché tra loro. Ciò conferma l'uniformità sia di caratteristiche idrogeologiche che di regime di afflussi-deflussi di questa parte di territorio.

Si nota inoltre che l'unico piezometro che presenta una correlazione significativa con l'Adige è il 40.

La complessità del sistema idrogeologico e la numerosità degli elementi che influenzano i livelli della falda rendono scientificamente non attendibile un'elaborazione dei dati di livello in carte ad isopotenziali.

In termine generali risulta chiaro che il deflusso è orientato, negli strati più superficiali, verso la rete di drenaggio e le idrovore, mentre negli strati più profondi la falda è presumibilmente dotata di bassissime velocità di deflusso.

È possibile invece esemplificare le modalità di deflusso, utilizzando alcuni dati di dettaglio disponibili su due aree campione, una in area a scolo meccanico ed una in un'area a scolo naturale.

L'area di studio per lo scolo meccanico si trova immediatamente a sud dei fiumi Brenta, Bacchiglione e del canale Morto e la sua superficie topografica risulta essere mediamente alcuni metri (intorno ai 2 - 3 m) al di sotto del livello medio del mare (Fig. 9.27); dal punto di vista idraulico l'idrovora Casetta, tramite un canale collettore (canale consorziale Barche), raccoglie le acque sia dei campi circostanti, sia del canale Brentone Vecchio e le pompa nel canale Morto.

Il livello della falda risulta più elevato nei piezometri a ridosso del canale Morto, per poi decrescere verso sud con gradiente via via più basso e le direzioni di deflusso mostrano una evidente relazione con il drenaggio imposto dai canali di bonifica.

Risulta quindi un effetto drenante della idrovora che drenando la rete scolante porta ad un drenaggio anche della falda. L'immissione di acqua a valle dell'idrovora (nel caso specifico nel canale Morto) porta, incrementando il livello idrometrico del canale stesso, anche ad un'alimentazione della falda che verrà nuovamente drenata dalla rete di bonifica in una sorta di "loop". Si ha quindi un continuo flusso della parte sommitale dell'acquifero sotto l'azione della regimazione delle acque superficiali. Tale flusso di acqua dolce avviene spesso al di sopra del sottostante livello di acqua salata.

Per quanto riguarda le aree a scolo naturale, si riporta (fig. 9.28) un esempio relativo alla già citata area degli Orti di Chioggia (dove ricadono i piezometri di monitoraggio 35 e 36).

In questo caso l'alimentazione della falda è data principalmente dalle acque piovane e il deflusso della falda assume un andamento centrifugo (pur essendo presenti alcune anomalie locali legate ad influenze artificiali).

Ciò corrisponde ad una alimentazione prevalentemente legata all'infiltrazione delle piogge e ad un drenaggio nelle aree che bordano gli orti. Si ha quindi una sorta di "lente" di acqua dolce che galleggia sulla sottostante acqua salata.

#### ***Regime potenziometrico ed afflussi-deflussi del settore NE dell'acquifero costiero***

Nel settore NE del territorio provinciale, l'acquifero costiero si sviluppa in una fascia che, perpendicolarmente alla linea di costa, risulta molto meno ampia rispetto al settore SW. Su

Tabella 9.2. Correlazione su valori medi giornalieri (anno 2010)

	32	33	35	37	38	39	40	Marea	Canale Rebosola	Livello aspirazione Idrovora Zennare	Pluviometro Gesia	Adige
32	1,00											
33	0,06	1,00										
35	0,44	-0,10	1,00									
37	-0,26	0,52	-0,43	1,00								
38	-0,24	0,80	-0,19	0,77	1,00							
39	-0,19	0,68	-0,15	0,70	0,83	1,00						
40	-0,29	0,54	0,09	0,32	0,51	0,56	1,00					
Marea	-0,14	-0,06	0,20	-0,31	-0,12	-0,08	0,33	1,00				
Canale Rebosola	-0,10	0,21	0,03	0,04	0,19	0,22	0,36	0,33	1,00			
Idrovora Zennare	-0,38	0,65	-0,36	0,76	0,80	0,74	0,59	-0,17	0,23	1,00		
Pluviometro Gesia	-0,06	0,11	0,06	0,09	0,08	0,04	0,18	0,22	0,10	0,07	1,00	
Adige	-0,50	-0,07	0,24	-0,13	0,01	0,02	0,53	0,37	0,24	0,09	0,09	1,00

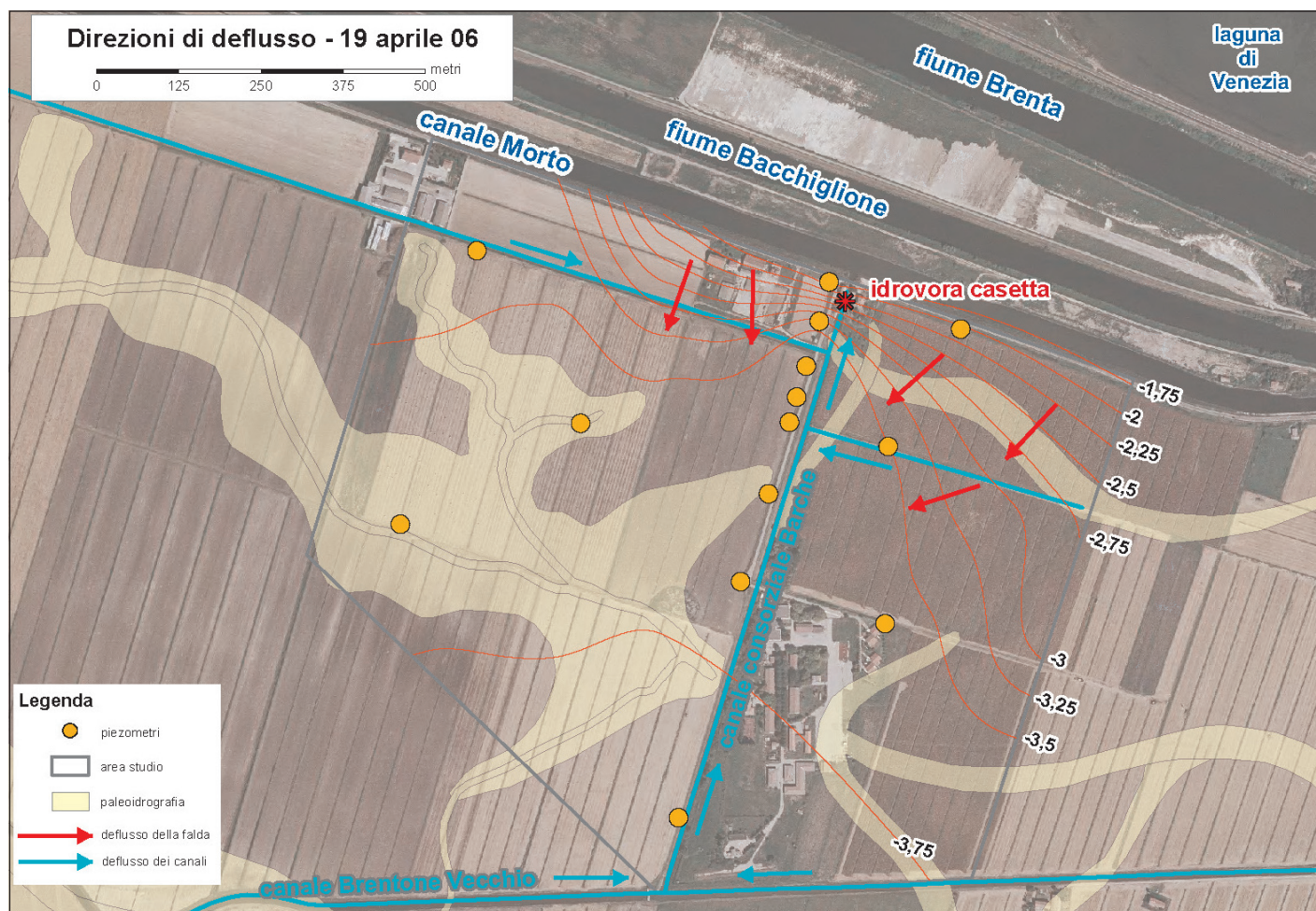


Fig. 9.27. Idrografia superficiale e deflusso della falda freatica su un'area soggetta a scolo meccanico (da Bassan et al., 2006, modificato)

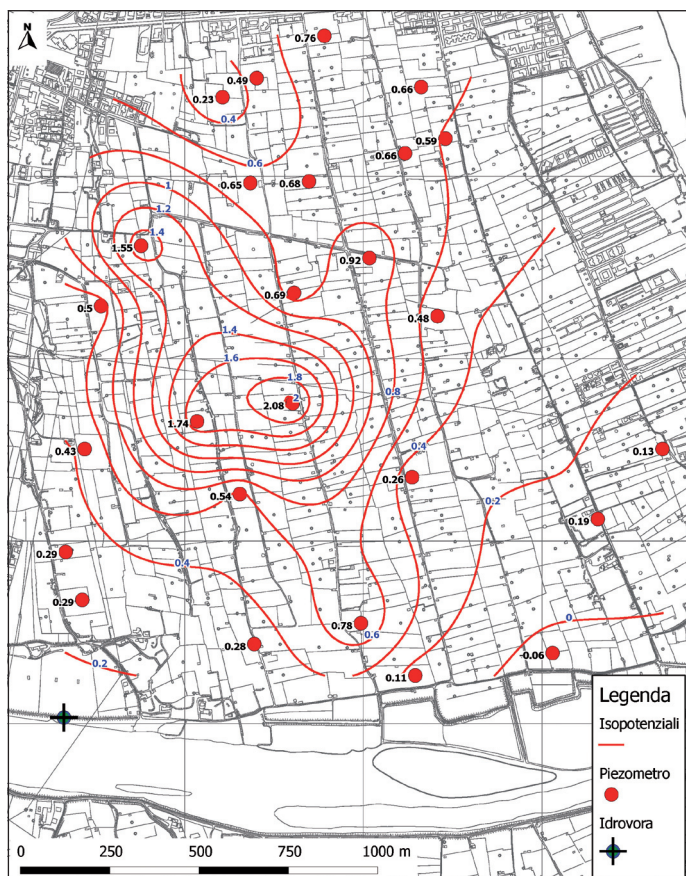


Fig. 9.28. Isofreatiche del 13 maggio 2011 (località "Orti di Chioggia").

quest'area ricadono 6 piezometri in monitoraggio continuo. In figura 9.29 si riportano i diagrammi relativi ai primi due piezometri ubicati a Cavallino-Punta Sabbioni (13) e nei pressi del Sile (12).

Sul punto 13 si hanno 2 piezometri filtrati a intervalli di profondità differenti: il primo, filtrato tra 1 e 15 m, misura la parte di acquifero costiero costituito da sabbie da fini a medio-fini talora limose, mentre quello più profondo, filtrato tra 20 e 25 m, misura i sottostanti depositi fluviali più antichi (pleistocenici) costituiti da sabbie limose, limi sabbiosi e limi argillosi. I valori di permeabilità misurati su entrambi i livelli mediante slug test sono confrontabili:

$K_{sup} = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

$K_{prof} = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

Nonostante questa distinzione di depositi attraversati, si registra un andamento del livello potenziometrico pressoché uguale, a parte l'intensità di oscillazione. Nel piezometro profondo l'oscillazione massima, nei 3 anni di monitoraggio, è di 1 metro, mentre per quello più superficiale di 1,5 m.

In entrambi, l'analisi del diagramma potenziometrico evidenzia una correlazione con il regime della marea mensile. L'oscillazione giornaliera di marea non ha influenza nel regime di falda, mentre dal confronto dell'oscillazione tra i regimi mensili di marea e falda è lampante l'influenza della prima.

Oltre all'influenza di marea è presente, in minor misura, quella delle precipitazioni. L'area è soggetta a scolo di tipo meccanico soltanto nel caso di piogge eccezionali quando le idrovore intervengono diminuendo i livelli idrometrici massimi e conseguentemente quelli della falda.

L'analisi del gruppo di piezometri localizzato tra Jesolo ed il fiu-

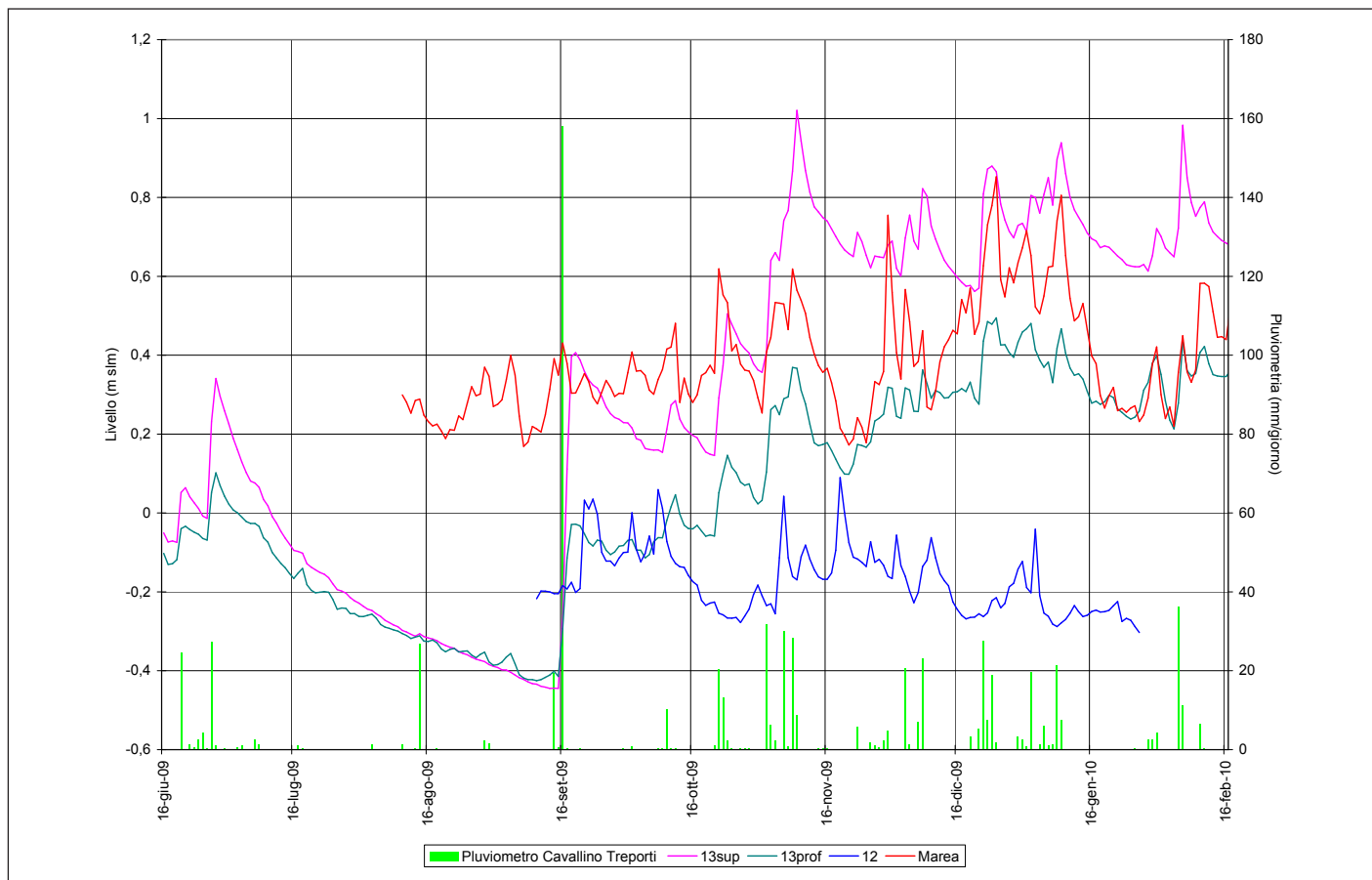


Fig. 9.29. Regime potenziometrico ai piezometri 13 (sup. e prof.) e 12 e confronto con la marea media giornaliera e con la pluviometria.

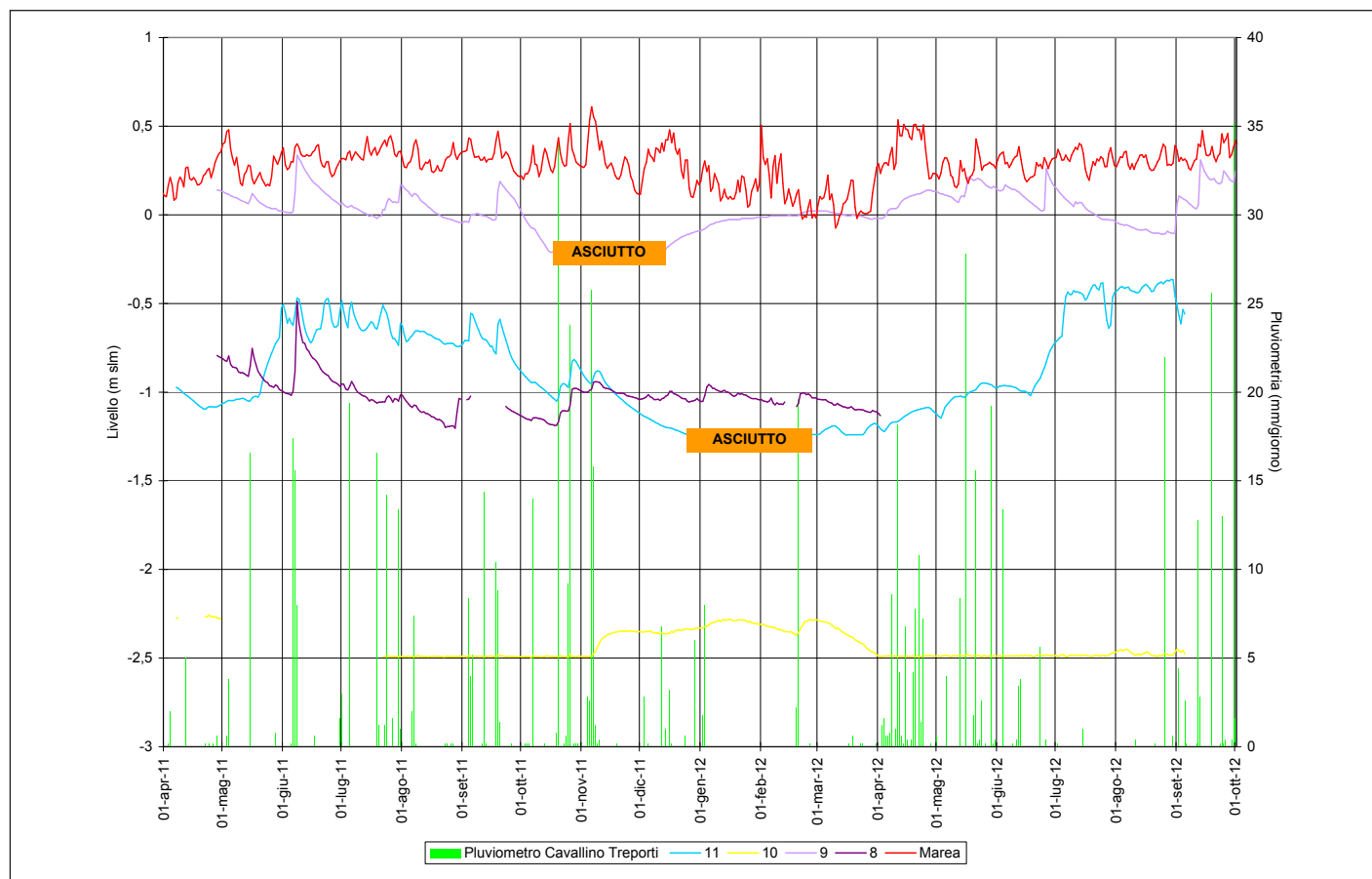


Fig. 9.30. Regime potenziometrico ai piezometri 1-2-10-11 (posizionati lungo la costa tra Jesolo ed il fiume Tagliamento) e confronto con la marea media giornaliera e con la pluviometria.

me Tagliamento (1-2-10-11) evidenzia regimi potenziometrici scarsamente correlati tra loro<sup>2</sup> (fig. 9.30)

Il piezometro 11 ricade in un'area caratterizzata dalla presenza di cordoni dunali attualmente spianati che contengono un acquifero non confinato.

Il regime della falda è controllato, nel breve periodo, dalle precipitazioni. Ad eventi meteorici di almeno 10 mm, corrisponde un innalzamento della superficie potenziometrica nell'arco di alcune ore.

A scala annuale il regime potenziometrico è controllato dalla gestione artificiale della rete di bonifica. Non sono disponibili registrazioni dei livelli idrometrici ma questi sono noti, in termini generali, grazie alle informazioni fornite dai tecnici dei Consorzi. Il livello della rete di bonifica viene tenuto relativamente basso nel periodo autunnale, invernale e inizio primaverile, per motivi di sicurezza idraulica. Ciò comporta valori bassi della quota di falda. All'abbassamento dei livelli nella rete consortile, ad inizio autunno, corrisponde, nel piezometro 11, un abbassamento della potenziometrica.

Si ha quindi un comportamento simile a quello visto nel settore SW dell'acquifero costiero.

Il piezometro 10 intercetta la parte superficiale dell'acquifero. Anche in questo caso il regime potenziometrico è influenzato prevalentemente dalla rete del Consorzio di Bonifica che tende

a mantenere inalterato il livello potenziometrico: si registra il massimo della falda nel periodo invernale.

Infine nella parte più orientale dell'acquifero si localizzano i piezometri 1 e 2.

Il piezometro 2 intercetta la parte superficiale dell'acquifero ed il regime potenziometrico è influenzato dalla rete di bonifica che tende a mantenere costante il livello potenziometrico e quindi con oscillazioni molto limitate. Nonostante la vicinanza alla costa, l'analisi del diagramma potenziometrico non evidenzia una correlazione con il regime della marea. Si osservano anche alcuni innalzamenti potenziometrici in coincidenza dei principali eventi piovosi intensi, che danno risposta di innalzamento di 10-15 cm.

Il piezometro 1 si localizza in vicinanza alla foce del fiume Tagliamento. Nonostante questa vicinanza il fiume non è dispersivo, non alimenta la falda e non partecipa alla dinamica del regime potenziometrico.

Il piezometro, inoltre, si trova vicino alla costa (circa 500 m), ma nonostante tale prossimità la marea non determina alcuna influenza significativa.

Il regime potenziometrico anche in questo caso è influenzato prevalentemente dalla rete del Consorzio di Bonifica che tende a mantenere il livello potenziometrico entro il franco di bonifica con oscillazioni di livello molto limitate.

2. Si precisa che per questo acquifero non si presenta una elaborazione statistica di correlazione a causa di alcune interruzioni nella serie di misure che renderebbero poco significativa l'elaborazione stessa.

# Conclusioni: sintesi del modello idrogeologico

Lo studio, basato su una trentennale attività di progressivo approfondimento delle conoscenze geologiche sul territorio provinciale e su nuove e numerose indagini appositamente svolte, ha permesso di ricostruire il modello degli acquiferi superficiali (indicativamente i primi 20-30 metri di sottosuolo) a scala provinciale.

In un passato molto recente, gli acquiferi superficiali, anche a livello tecnico-progettuale sono stati frequentemente trattati come acquiferi uniformi e di scarso interesse pratico, principalmente per la mancanza di un quadro organico delle informazioni.

I dati scientifici elaborati mostrano invece un modello estremamente complesso e variegato, definendo aree con presenza di acquiferi a geometrie molto differenti, alcuni dei quali continui e con dimensioni importanti (aventi volumi di migliaia di Mm<sup>3</sup>) ed aree con presenza limitata o nulla di acquiferi.

**Complessità  
ed importanza  
degli acquiferi superficiali**

In base alle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche, il territorio provinciale è stato suddiviso in 4 subaree caratterizzate da diverse tipologie di acquifero a loro volta differenziate per diverse caratteristiche sedimentologiche.

**Sistemi idrogeologici**

## *Sistema Idrogeologico Nord-orientale:*

- i principali acquiferi sono rappresentati dai riempimenti ghiaiosi e sabbiosi di incisioni fluviali, che ne hanno condizionato la geometria, e che formano corpi con spessore medio di 7 m e larghezza che supera il chilometro. Costituiscono acquiferi prevalentemente confinati, tranne nella porzione a confine con la provincia di Pordenone dove i sedimenti ghiaiosi affiorano. La permeabilità è variabile in funzione della percentuale di ghiaia, con valori mediamente dell'ordine di 10<sup>-4</sup> m/s;
- di minore importanza, sia per volume che per permeabilità, sono gli acquiferi in corrispondenza di paleovalvei, prevalentemente sabbiosi, olocenici; sono generalmente non confinati o semiconfinati.

## *Sistema Idrogeologico Centrale:*

- l'elemento predominante è dato dalla presenza di importanti corpi sabbiosi (in alcuni casi con ghiaia fine alla base), allungati in senso NW-SE, dimensionalmente larghi 1-3 km e spessi 10-15 m. Si tratta di strutture legate alla dinamica fluvio-glaciale pleistocenica che ne ha condizionato la geometria. Alcuni sono subaffioranti, altri hanno il tetto a maggiori profondità (fino a 10-15 m dal p.c.), quindi sono, in alcuni casi, non confinati o semiconfinati e, in altri, confinati. Costituiscono acquiferi di rilevante volume (complessivamente 3.500 Mm<sup>3</sup>) e con una permeabilità indicativa di circa 10<sup>-5</sup> m/s;
- l'area centrale è poi caratterizzata dalla presenza, nei primissimi metri di sottosuolo, di acquiferi sabbiosi e generalmente non confinati, coincidenti con i principali paleovalvei olocenici. Rispetto ai sopracitati acquiferi in sabbie pleistoceniche, si tratta di acquiferi di modesto volume.

## *Sistema Idrogeologico Meridionale:*

- l'elemento predominante è dato dalla presenza, nei primi 10 m di profondità, di acquiferi costituiti da sabbie di paleovalve in corrispondenza di corpi di canale superficiali, con spessore rilevante (generalmente superiore a 5 m) e larghezza significativa (generalmente da 100 a 200 m). Il volume totale è dell'ordine di 50 Mm<sup>3</sup>.

## *Sistema Idrogeologico Costiero:*

- l'acquifero principale è costituito da sabbie marine a geometria cuneiforme, che ha talora spessore importante verso la costa e tende a chiudersi verso l'entroterra. Interessa la fascia litoranea e, nella parte sud della provincia, anche una vasta fascia nell'entroterra. Si tratta di un acquifero dotato di notevole continuità laterale e notevoli dimensioni (volume di circa

**Schema delle caratteristiche degli acquiferi superficiali provinciali (escluse aree ricadenti in laguna di Venezia)**

<b>Sistema Idrogeologico</b>	<b>Acquifero</b>	<b>Tipo</b>	<b>Volume acquiferi (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Permeabilità mediana (m/s)</b>
<i>Costiero</i>	Acquifero sabbioso costiero olocenico	Non confinato nella parte prossima alla costa e confinato verso l'interno	4.000	1,2E-05
	Acquiferi sabbiosi di paleoalveo	Prevalentemente non confinati	---	---
<i>nord orientale</i>	Acquiferi ghiaiosi sabbiosi di riempimento delle incisioni fluviali	Prevalentemente confinati, ma non confinati in alcune porzioni al confine con la provincia di Pordenone	1.200	1,2E-04
	Acquiferi ghiaiosi e sabbiosi di paleoalveo	Prevalentemente non confinati	250	circa 1,0E-06
<i>Centrale</i>	Acquiferi sabbiosi del Brenta pleistocenico	Non confinati-semiconfinati e confinati (a seconda delle aree)	3.500	2,0E-05
	Acquiferi sabbiosi di paleoalveo	Prevalentemente non confinati	60	---
<i>Meridionale</i>	Acquiferi sabbiosi di paleoalveo	Prevalentemente non confinati	50	---

4.000 Mm<sup>3</sup> e spessori che raggiungono i 20 metri) con permeabilità dell'ordine di 10<sup>-5</sup> m/s. Solo una parte dell'acquifero è saturato da acqua dolce; infatti è presente un importante e diffuso fenomeno di intrusione salina che interessa però anche altri acquiferi e di cui si dirà in seguito relativamente alle caratteristiche qualitative degli acquiferi stessi;

- Sono presenti anche corpi acquiferi minori in corrispondenza di paleoalvei, prevalentemente sabbiosi, olocenici, talora in diretto contatto con l'acquifero costiero.

Quest'ultima tipologia di acquifero interessa in realtà tutti i sistemi idrogeologici nella loro porzione più superficiale e di recente deposizione (Olocene), sebbene con dimensioni diverse. Tali acquiferi, caratterizzati prevalentemente da sabbie e localmente da ghiaie, hanno generalmente volumi, spessori e permeabilità inferiori agli acquiferi principali descritti, ma sono molto diffusi in tutto il territorio. Nello studio, infatti, sono riportati solo quelli specificatamente indagati; sono indicate però anche le aree di dosso fluviale in cui vi è maggiore probabilità di riscontrare tali campi acquiferi. I calcoli di volumi relativi sono quindi sottostimati.

Lo schema sopra riportato riassume le caratteristiche degli acquiferi citati.

**Importanza quantitativa**

Gli acquiferi superficiali del territorio provinciale, sopra descritti, presentano permeabilità decisamente minore rispetto a quelli delle aree di media e alta pianura, utilizzati abbondantemente per il prelievo idropotabile. Essi rappresentano comunque importanti riserve di acqua. Dalle dimensioni e dalle caratteristiche litologiche degli acquiferi in parola, si sono stimati volumi d'acqua stoccata pari a circa dieci migliaia di milioni di m<sup>3</sup> (ovvero 10<sup>4</sup> Mm<sup>3</sup>). Una parte di questa riserva d'acqua è drenata dal sistema della bonifica idraulica, consentendo il mantenimento all'asciutto anche delle aree poste al di sotto del livello medio del mare (i due terzi del territorio provinciale). Si tratta di una riserva d'acqua scarsamente utilizzata (uso domestico e talora irriguo), principalmente a causa delle scarse caratteristiche qualitative.

**Caratteristiche qualitative**

Le acque presenti negli acquiferi superficiali indagati in Provincia di Venezia sono caratterizzate dalla prossimità alla laguna e al mare. Ciò determina l'importante fenomeno dell'intrusione salina. L'interfaccia acqua dolce - acqua salata è abbastanza nota nel territorio provinciale tra il Piave e l'Adige, dove la si incontra, a seconda delle zone, tra i 5 ed i 30 m dal p.c. La salinizzazione delle falde si spinge, in alcuni casi, fino a 20 km dalla costa.

In sinistra Piave fino al Tagliamento il fenomeno è sicuramente presente sebbene non sia ancora stata indagata e misurata la profondità e l'andamento dell'interfaccia acqua dolce - acqua salata. Pur non essendo lo studio finalizzato ad indagare la qualità delle acque di falda, è noto che questi acquiferi sono frequentemente interessati da presenza di un fondo naturale (arsenico, ferro, manganese ed altri elementi di origine geologica) ed inquinamento diffuso, che rendono le loro

acque non adatte all'uso potabile. Si osserva come il quadro idrogeologico, a scala di area vasta qui definito, rappresenta l'indispensabile base idrogeologica per una corretta interpretazione dei dati relativi al fondo naturale.

Si tratta di riserve idriche che però possono essere di interesse per usi non pregiati, quali quello irriguo e lo scambio termico, permettendo il risparmio di risorse idriche di pregio.

Il deflusso sotterraneo in condizioni naturali sarebbe molto lento (dell'ordine dei cm/giorno); nelle zone più prossime alla costa, le acque sotterranee tenderebbero a stagnare ed allagare le zone con piano campagna al di sotto del livello medio del mare.

La presenza di un vasto e capillare sistema di bonifica idraulica, che garantisce il "franco di bonifica" anche nelle aree poste al di sotto del livello medio del mare, rappresenta invece un fattore determinante sul flusso idrico sotterraneo, imponendo nel contempo un interscambio con le acque superficiali. Si evidenzia che, a parte i 537 km<sup>2</sup> di specchi d'acqua lagunari, le aree sotto il livello del mare occupano 622 km<sup>2</sup> di terraferma, pari a circa un terzo dell'intera terraferma del territorio provinciale.

In pratica il drenaggio operato dalle idrovore e dalla rete idraulica ad essa collegata comporta un drenaggio anche delle acque sotterranee che tendono a mantenere un livello potenziometrico costante nel tempo. Lo scarico delle acque pompate dalle idrovore nei canali comporta a sua volta un'alimentazione indiretta della falda tramite le dispersioni dei canali stessi, spesso pensili in queste aree. Si genera quindi un continuo flusso di acqua superficiale-sotterranea da e verso i canali. Tale flusso coinvolge la parte di falda più prossima al piano campagna ed ai canali.

Il regime potenziometrico è influenzato inoltre da fattori naturali quali le precipitazioni, la marea (nell'area più prossima alla costa) e la rete scolante naturale. Tali elementi si influenzano variabilmente tra loro, in funzione soprattutto alla collocazione spaziale. Nelle aree più urbanizzate anche la rete fognaria non in perfette condizioni talvolta svolge azione drenante (fenomeno noto agli Enti gestori delle reti fognarie come "acque parassite").

Nelle aree più prossime alla costa per una fascia che va da poche centinaia di metri ad alcuni chilometri, i livelli potenziometrici sono influenzati dal regime di marea; nelle aree più interne, al sopracitato controllo della bonifica idraulica si sovrappone l'influenza della pluviometria. La risposta dei livelli di falda alle piogge è di solito piuttosto rapida (normalmente entro le 24 ore).

Nelle aree a scolo naturale vi è comunque una relazione con il regime idrometrico della rete scolante.

Le direzioni di deflusso in una situazione idrogeologica così complessa variano rapidamente nel tempo e nello spazio in relazione a fattori locali (rete idraulica, idrovore...).

Il gradiente idraulico e, quindi, la direzione di deflusso può non solo variare nel tempo, ma anche invertirsi. È il caso delle aree dove si registra un regime potenziometrico controllato dal regime di marea, le quote minime e massime di marea (ogni sei ore ed un quarto) che portano ad un continuo invertirsi delle direzioni di deflusso.

Non è quindi scientificamente corretto definire una direzione di deflusso valida a scala complessiva, proprio per l'estrema variabilità nel tempo e nello spazio del deflusso stesso, almeno per le zone più depresse e prossime alla costa e alla laguna.

Il lavoro riveste particolare rilevanza non solo per l'aspetto prettamente legato alla gestione delle risorse idriche ma interessa (e da questo si origina l'attività della Provincia) tutti quegli aspetti di interferenza tra opere antropiche ed acque sotterranee.

Gli acquiferi superficiali infatti sono quelli che più frequentemente interferiscono con le attività dell'uomo. Si citano l'attività agricola, le opere di ingegneria nel sottosuolo, la bonifica dei siti contaminati, le opere idrauliche.

Negli ultimi anni sono stati sempre più frequentemente proposti, e in parte realizzati, interventi dimensionalmente importanti nel sottosuolo e a profondità progressivamente crescenti (parcheggi sotterranei, sublagunare, galleria autostradale proposta in alternativa al Passante di Mestre).

Una realizzazione corretta di tali opere dal punto vista ambientale, tecnico ed economico, necessita di un quadro idrogeologico di riferimento di area vasta, che permetta la contestualizzazione e la corretta interpretazione degli indispensabili studi geologici puntuali, adeguatamente e specificatamente approfonditi per le varie opere.

## **Idrodinamica e regime afflussi-deflussi**

## **Acquiferi superficiali ed interferenze con le opere antropiche**

## **Estendibilità metodologica**

L'indagine sugli acquiferi superficiali si è svolta in un periodo di circa 4 anni e sfruttando l'esperienza di precedenti attività sugli acquiferi superficiali, quali la indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera e gli studi sulla salinità delle falde nell'area meridionale - progetto ISES.

Attraverso una iniziale fase su aree campione, si è messa a punto una metodologia specificamente tarata per acquiferi superficiali di bassa pianura. Tale fase preliminare su aree campioni si è resa necessaria in mancanza di una metodologia consolidata di studio di questi acquiferi. La metodologia messa a punto potrà essere utilizzata in altre aree, geologicamente confrontabili con la provincia di Venezia.

## **APPENDICE**



# Linee guida per le indagini geologiche e la progettazione di opere interferenti con gli acquiferi superficiali

## Opere antropiche ed interferenza con l'ambiente geologico

Il progetto IDRO è nato dalla consapevolezza che le opere che interferiscono con gli acquiferi superficiali sono sempre più numerose e diffuse.

Svariati sono i settori in cui è necessaria un'adeguata conoscenza e caratterizzazione degli acquiferi superficiali. Si va dall'utilizzo delle risorse idriche allo sfruttamento delle georisorse, dalla gestione dei rifiuti alla pianificazione urbanistica, dalla valutazione di impatto ambientale alla progettazione della bonifica dei siti contaminati, dal rischio idraulico alle opere di bonifica ed irrigazione, per arrivare a tutte quelle opere di ingegneria che si sviluppano nel sottosuolo od interferiscono con esso.

Se fino a qualche decennio fa erano rare e tecnicamente difficilmente realizzabili opere che andassero ad interessare oltre i primissimi metri di sottosuolo, oggi, l'attenzione al sottosuolo veneziano – fino a circa 50 m di profondità – nelle aree ad intensa urbanizzazione (principalmente nell'area centrale dove il suolo superficiale è stato sovrasfruttato) è dimostrata dal moltiplicarsi dei progetti presentati presso gli Enti competenti (principalmente infrastrutture viarie e ferroviarie con tratti più o meno lunghi in trincea o galleria, ma anche garage interrati multipiano, vasche di raccolta delle acque, cassoni per opere mobili alle bocche di porto ...).

La discontinuità degli acquiferi e la variabilità verticale ed orizzontale dei parametri idrogeologici determinano notevoli problematiche idrogeologiche, condizionando le scelte progettuali (modalità di escavazione per mantenere l'isolamento idraulico, tecniche di consolidamento, ecc.) ed i costi di esecuzione e determinando comunque un impatto sull'equilibrio idrogeologico (interconnessione tra i vari acquiferi, variazione delle condizioni idrodinamiche ed idrochimiche).

Nella realizzazione di opere nel sottosuolo dobbiamo quindi valutare le condizioni geologiche in relazione alle modalità esecutive delle opere e agli impatti che tali opere hanno sull'ambiente geologico stesso, anche in rapporto ai costi.

## Inquadramento tecnico-normativo

Fin dal 1981 (D.M. 21 gennaio 1981, aggiornato poi con D.M. 11 marzo 1988) con le *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*, la normativa prescrive la necessità di garantire la sicurezza e la funzionalità del complesso opere-terreni e di assicurare in generale la stabilità del territorio sul quale si inducono sollecitazioni e deformazioni ovvero, in altri termini, di analizzare le condizioni geologiche ai fini della sicurezza della singola opera, nonché di valutarne l'effetto sull'equilibrio delle zone circostanti.

In tempi più recenti, il D.M. 14 gennaio 2008 *"Norme tecniche per le costruzioni"* (NTC) e la relativa Circolare 2 febbraio 2009 n° 617 del C.S.LL.PP. hanno richiamato la necessità (oltre che l'obbligo normativo), nella progettazione delle opere, di adeguate indagini geologiche i cui risultati devono essere esposti e valutati nelle relazioni geologiche di progetto.

Il capitolo 6 delle NTC indica, in termini generali, che la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Ad ausilio operativo di tale norma, oltre alla citata Circolare 2 febbraio 2009 n° 617 del C.S.LL.PP., sono disponibili varie linee guida redatte da Enti pubblici. Si ricordano, per gli aspetti geologici e geotecnici, le direttive per la redazione delle relazioni geologiche, geotecniche e sismiche ai sensi delle NTC, D.M. 14.01.2008, e della normativa nazionale e provinciale collegata redatte dagli Ordini degli Ingegneri delle Province di Trento e Bolzano e dall'Ordine dei Geologi della Trentino-Alto Adige e gli elaborati operativi redatti dal Gruppo interregionale Ordini dei Geologi: *"Linee Guida Decreto Ministeriale 14.01.2008"*, *"Norme Tecniche per le Costruzioni LINEE GUIDA NTC 08"* (luglio 2010) che forniscono indicazioni tecniche particolarmente precise per la redazione della relazione geologica, della relazione geotecnica e della relazione sismica (quando non già compresa nella relazione geologica). Per specifica attinenza e per completezza delle indicazioni fornite, si citano inoltre le *"Linee guida e metodologie di lavoro per le attività geologiche connesse alla progettazione e alla realizzazione di parcheggi nel comune di Roma"* redatte, su invito del comune di Roma, dall'Ordine di Geologi del Lazio.

Inoltre, per la progettazione delle opere pubbliche il D.P.R. 207/2010 prescrive specifiche indagini e relazioni geologiche per i vari livelli di progettazione (preliminare, definitiva ed esecutiva), volte tra l'altro ad individuare e risolvere nel modo più efficace le interferenze delle opere stesse con l'assetto idrogeologico.

Anche il testo unico in materia ambientale (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.) pone grande attenzione alla caratterizzazione idrogeologica, in ordine sia alla Valutazione di Impatto Ambientale (parte seconda), sia alla Tutela delle Acque (parte terza), sia alla bonifica dei siti inquinati (parte quarta).

Nonostante la presenza di tali prescrizioni, con validità a scala nazionale e, quindi, riferiti a condizioni geologiche estremamente varie e diversificate, si ritiene utile, stante la peculiarità e la particolare fragilità del territorio veneziano, fornire alcune linee guida per le attività di progettazione geologica di opere di ingegneria interferenti con il sottosuolo.

Come indicato dalla normativa, alla base della valutazione dell'interferenza di un'opera con il sottosuolo vi è comunque la definizione del "modello geologico del sito". Una esaustiva definizione del modello geologico deve analizzare tutti gli aspetti

utili alla caratterizzazione del sito (partendo da un ambito territoriale sufficientemente esteso) ai fini della definizione degli scenari di pericolosità geologica, compresi, nel caso specifico del veneziano, gli effetti sulla circolazione idrica sotterranea. Tali concetti si legano imprescindibilmente alla propedeuticità di una analisi del contesto geologico a scala più ampia di quella d'intervento, con la definizione di ambito morfologico significativo, fisicamente contestualizzato, ed il legame che questo ha con la tipologia dell'opera (fase progettuale). Si ritiene che il presente studio sugli acquiferi superficiali possa avere importanti ricadute pratiche anche in relazione alle attività di progettazione. Infatti le necessarie indagini geologiche di dettaglio potranno essere inserite e pianificate nel quadro idrogeologico di riferimento di area vasta costituito dal presente lavoro.

### **Lista di controllo dei contenuti geologici minimi per gli aspetti di interferenza con le falde**

In questo paragrafo si elencano i contenuti minimi degli elaborati geologici per quanto riguarda gli aspetti di interferenza con gli acquiferi superficiali, ferma restando la necessità e la responsabilità del singolo professionista Geologo di valutare i contenuti ed il grado di approfondimento per ciascun progetto.

La lista di controllo potrà essere d'aiuto non solo ai Geologi nell'ambito della loro attività professionale ma in particolare agli Enti che nell'ambito di diverse procedure (permessi di costruire, V.I.A., pianificazione, ...) dovranno valutare i contenuti idrogeologici di piani e progetti. Il grado di approfondimento sarà commisurato all'importanza dell'opera ed alla sua potenziale interferenza con l'ambiente geologico e le attività antropiche.

#### **Aspetti generali**

- Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento;
- quadro normativo di riferimento (nazionale e regionale);
- individuazione e/o definizione delle principali problematiche geologico-ambientali;
- analisi documenti pregressi e cartografia da Piani vigenti, con estratti cartografici (ad es. PTA, PAI, carta della compatibilità geologica del PAT, ...).

#### **Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico**

- Inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico ed idraulico a scala di area vasta;
- analisi e descrizione della eventuali situazioni di dissesto idrogeologico;
- analisi e descrizione delle condizioni di antropizzazione presenti al contorno (ambito idrogeologico significativo);
- estratti di eventuali carte idrogeologiche significative pubblicate;
- individuazione di pozzi per acque destinate al consumo umano e delle relative aree di salvaguardia (art. 94 D.Lgs. 152/2006).

#### **Modello geologico del sito**

Lo studio geologico deve pervenire alla definizione, con preci-

so riferimento al progetto, ad un modello geologico tridimensionale, basato sulla conoscenza dei caratteri litostratigrafici, strutturali, geomorfologici ed idrogeologici del sito d'interesse, acquisiti attraverso specifici rilevamenti ed indagini dirette ed indirette. In particolare, con riferimento agli aspetti idrogeologici si devono individuare gli acquiferi di riferimento.

- Programma delle indagini in funzione degli obiettivi del progetto e delle caratteristiche geologiche, al fine di pervenire ad una ricostruzione geologica di dettaglio;
- standard di riferimento delle indagini;
- carta con ubicazione delle indagini in scala adeguata;
- risultati ottenuti ed eventuali difficoltà ed incertezze incontrate, con produzione di cartografia ed elaborati grafici a scala di dettaglio e comunque idonee a rendere chiare le descrizioni e le analisi realizzate;
- caratteristiche delle singole unità litologiche con particolare riguardo ad eventuali disomogeneità, discontinuità e fattori che possano indurre anisotropia delle proprietà fisiche dei materiali. Particolare attenzione deve essere posta nel riconoscimento di ammassi di origine antropica evidenziandone natura ed origine e specificando eventuali adempimenti derivanti da norme settoriali (ad es. d.lgs 152/06);
- ricostruzione tridimensionale del sottosuolo;
- definizione geometrica degli acquiferi e loro rapporto con quelli individuati a scala di area vasta;
- parametrizzazione idrogeologica con valutazione di permeabilità e trasmissività mediante test idrogeologici in sito;
- schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- flusso idrico sotterraneo (con eventuale cartografia con isopotenziometriche di ciascun acquifero) e sua variazione nel tempo; verifica di eventuali inversioni del flusso nel tempo;
- regime potenziometrico;
- rapporti tra acquiferi ed acque superficiali ed altri elementi potenzialmente influenti come il regime di marea e la bonifica idraulica;
- eventuale caratterizzazione idrochimica;
- presenza del cuneo salino;
- analisi idrologica finalizzata alla individuazione e/o definizione degli eventi estremi o di quelli particolarmente significativi sotto il profilo idrogeologico.

#### **Valutazione idrogeologica**

- Effetti sulla potenziometrica e sul flusso idrico sotterraneo
- effetti sulla vulnerabilità degli acquiferi e la qualità della falda;
- problematiche idrogeologiche sull'acquifero costiero, intrusione salina;
- subsidenza indotta;
- interferenze con i manufatti al contorno e/o quelli in progetto;
- progettazione di eventuali sistemi di drenaggio (ad es. well-point) con previsione degli effetti e definizione di eventuali mitigazioni.

#### **Approfondimento tramite modello di flusso**

Nei casi di particolare complessità o laddove le interferenze possono essere particolarmente significative, appare opportuna l'applicazione di modelli di flusso.

Si ricorda che sono assolutamente inefficaci modelli previsionali

non supportati da dati reali che consentano la calibrazione e validazione dei modelli idrogeologici.

Di conseguenza dovrà essere previsto un adeguato approfondimento dei dati precedentemente elencati; i parametri immessi nel modello (con particolare riferimento alla piezometria ed ai parametri idrogeologici) dovranno essere sito-specifici e derivanti da misure ripetute per un congruo periodo di tempo; i limiti del modello di flusso dovranno essere posti a sufficiente distanza dal sito di progetto.

### ***Controllo e monitoraggio***

Sempre nei casi di particolare complessità o laddove le interferenze possono essere particolarmente significative, andrà redatto un programma di monitoraggio (in particolare nel caso di utilizzo del metodo di osservazione presente nelle NTC) che indicherà strumentazione da impiegare, ubicazione degli strumenti e frequenza e durata delle misure.

