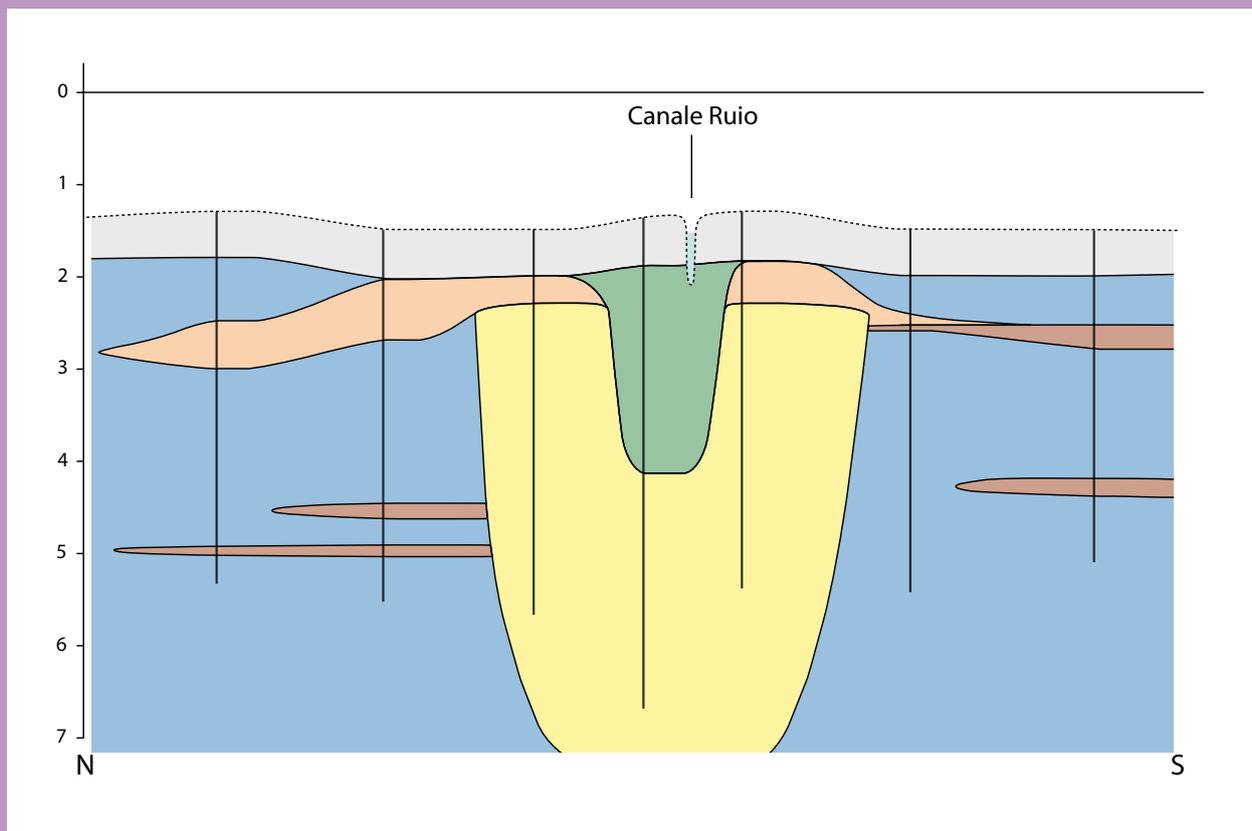




# LE UNITÀ GEOLOGICHE DELLA PROVINCIA DI VENEZIA









**PROVINCIA DI VENEZIA**

SERVIZIO GEOLOGICO E DIFESA DEL SUOLO



UNIVERSITÀ DI PADOVA  
Dipartimento di Geografia  
"G. Morandini"

# **LE UNITÀ GEOLOGICHE DELLA PROVINCIA DI VENEZIA**

a cura di

ALDINO BONDESAN, SANDRA PRIMON,  
VALENTINA BASSAN, ANDREA VITTURI

contributi specifici:

TIZIANO ABBÀ, VALENTINA BASSAN, ARIANNA BISAZZA, ALDINO BONDESAN,  
ENRICO FAGARAZZI, ALESSANDRO FONTANA, ROBERTO FRANCESE,  
PAOLA FURLANETTO, ANDREA MAZZUCCATO, PAOLO MOZZI, SILVIA PIOVAN,  
SANDRA PRIMON, CRISTINA STEFANI, ANDREA VITTURI

## PROVINCIA DI VENEZIA

### Presidente

*Davide Zoggia*

### Assessore alla Difesa del Suolo

*Ezio Da Villa*

### Dirigente del Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo

*Andrea Vitturi*

### Responsabile del Servizio Geologico Provinciale

*Valentina Bassan*

**Responsabile del progetto:** Andrea Vitturi<sup>1</sup>

**Coordinamento del progetto:** Valentina Bassan<sup>1</sup>

**Responsabile scientifico:** Aldino Bondesan<sup>2</sup>

**Coordinamento scientifico:** Aldino Bondesan<sup>2</sup>, Alessandro Fontana<sup>2</sup>, Mirco Meneghel<sup>2</sup>, Paolo Mozzi<sup>2</sup>

**Direttore del rilevamento:** Sandra Primon<sup>2</sup>

## CARTA DELLE UNITÀ GEOLOGICHE (2 fogli allegati)

**Raccolta ed elaborazione dati:** *Tiziano Abbà*<sup>1</sup> analisi delle banche dati, interpretazione dei sondaggi, profili geologici; *Valentina Bassan*<sup>1</sup> pianificazione, definizione della legenda, geologia dell'area meridionale; *Aldino Bondesan*<sup>2</sup> pianificazione, definizione della legenda, geologia del Sandonatese; *Paola Furlanetto*<sup>3</sup> archeologia; *Alessandro Fontana*<sup>2</sup> pianificazione, definizione della legenda, geologia dell'area orientale; *Andrea Mazzucato*<sup>1</sup> gestione delle banche dati, elaborazioni informatiche; *Mirco Meneghel*<sup>2</sup> pianificazione, definizione della legenda; *Paolo Mozzi*<sup>2</sup> pianificazione, definizione della legenda, geologia dell'area centrale; *Sandra Primon*<sup>2</sup> analisi delle banche dati, interpretazione dei sondaggi, profili geologici, redazione cartografica

**Rilevamento geologico:** *Tiziano Abbà*<sup>1</sup>, *Alessandro Fontana*<sup>2</sup>, *Francesca Furlanetto*<sup>1</sup>

**Aggiornamento banca dati stratigrafici:** *Francesca Furlanetto*<sup>1</sup>, *Tiziano Abbà*<sup>1</sup>, *Andrea Benozzi*<sup>1</sup>, *Arianna Bisazza*<sup>1</sup>, *Amelia De Lazzari*<sup>1</sup>, *Enrico Fagarazzi*<sup>1</sup>

**Allestimento cartografico:** *Arianna Bisazza*<sup>1</sup>, *Aldino Bondesan*<sup>2</sup>, *Andrea Mazzucato*<sup>1</sup>, *Sandra Primon*<sup>2</sup>

### Stampa

Cierre Grafica

via Ciro Ferrari 5, Caselle di Sommacampagna (Verona)

tel. +39 045 8581572 fax +39 045 8589883

www.cierrenet.it

---

1. Provincia di Venezia – Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo

2. Università di Padova - Dipartimento di Geografia

3. Akeo - Padova

4. Geologo

5. ATO "Laguna di Venezia"

6. ARPAV – Osservatorio Regionale Suoli

# INDICE

<i>Prefazione di Davide Zoggia ed Ezio Da Villa</i> .....	7	<b>Sistema alluvionale del Piave</b>	
<i>Prefazione di Alberto Carton</i> .....	7	Unità di San Donà di Piave .....	72
<i>Prefazione di Danilo Belli e Pietro Antonio De Paola</i> .....	11	Unità di Caposile .....	76
<b>1. Inquadramento del progetto</b> .....	13	Unità di Cittanova .....	78
1.1. Introduzione .....	13	Unità di Grassaga .....	81
1.2. Scopi e limiti dello studio .....	13	Unità di Losson .....	82
<b>2. Introduzione alla geologia della provincia di Venezia</b> .....	16	Unità di Meolo .....	84
2.1. Cenni di geodinamica e origine della pianura veneto-friulana .....	17	<b>Sistema alluvionale del Sile-Piave</b>	
2.2. I megafan alluvionali		Unità di Portegrandi .....	86
2.2.1. <i>Differenziazione longitudinale</i> .....	19	<b>Sistema lagunare-palustre</b>	
2.2.2. <i>Differenziazione trasversale</i> .....	19	Unità di Ceggia .....	87
2.2.3. <i>Megafan telescopici o compositi: fasi di aggradazione ed erosione</i> .....	19	Unità di Caorle .....	88
2.3. Evoluzione della pianura dal Pleistocene superiore all'Olocene .....	20	Unità di Montiron .....	90
2.3.1. <i>Pre-LGM (&gt; 30.000 anni fa)</i> .....	21	<b>Sistema alluvionale del Brenta</b>	
2.3.2. <i>LGM</i> .....	22	Unità di Mestre .....	92
2.3.3. <i>Post-LGM (ultimi 17.000 anni)</i> .....	26	Profilo di Porto Marghera e relazioni con l'area centrale della provincia di Venezia .....	110
<b>3. Cenni metodologici</b> .....	34	Mappe della distribuzione delle sabbie .....	112
3.1. Banche dati del Servizio Geologico della Provincia di Venezia .....	34	Unità di Dolo .....	120
3.1.1. <i>Banca dati delle indagini geognostiche</i> .....	34	Unità di Camponogara .....	123
3.1.2. <i>Descrizione della stratigrafia</i> .....	36	Unità Delta Brenta .....	128
3.2. Interpretazione dei dati .....	37	<b>Sistema alluvionale dell'Adige</b>	
3.3. Rilevamento geologico .....	38	Unità di Cavarzere .....	130
3.4. Datazioni geocronologiche .....	40	Unità di Adria .....	134
3.5. Analisi compositiva di alcuni livelli sabbiosi .....	42	Unità di Pegolotte .....	136
3.6. L'archeologia .....	44	Unità dei Cuori .....	139
3.6.1. <i>La metodologia di ricerca</i> .....	44	Schema geologico rappresentativo del settore meridionale della provincia di Venezia .....	140
3.6.2. <i>Strumenti</i> .....	44	<b>Sistema costiero</b>	
3.6.3. <i>Risultati</i> .....	45	Unità di Motte Cucco .....	148
3.7. Il contributo della geofisica per la mappatura e la caratterizzazione di dossi fluviali e di paleovalvei sepolti .....	45	Unità di Cavanella d'Adige .....	148
3.7.1. <i>Introduzione</i> .....	45	Unità di Sant'Anna .....	150
3.7.2. <i>Analisi ed elaborazione dei dati geofisici</i> .....	45	Unità di Treporti .....	150
3.7.3. <i>Risultati e discussione</i> .....	47	Unità di Sant'Erasmo .....	150
3.8. Allestimento cartografico .....	48	Unità di Lio Piccolo .....	150
<b>4. Le unità geologiche</b>		Unità di Piave Vecchia .....	151
4.1. Criteri di rappresentazione cartografica .....	49	Unità di Jesolo .....	151
4.2. Stralci cartografici inseriti nelle schede descrittive delle unità geologiche .....	50	Unità di Torre di Fine .....	152
<b>Sistema alluvionale del Tagliamento</b>		Unità di Motteron dei Frati .....	152
Unità di Latisana .....	52	Unità di Bevazzana .....	153
Unità di Concordia .....	54	Unità di Bibione .....	153
Unità di Lugugnana .....	56	Unità Litorale Indifferenziata .....	154
Unità di Alvisopoli .....	58	<b>Sistema antropico</b>	
Unità di Cinto Caomaggiore .....	60	Unità di Marghera .....	158
Unità di Torresella .....	62	<b>5. Appendici</b>	
Unità di Lison .....	64	5.1. Carta della quota della base dei depositi post-LGM .....	159
<b>Sistema alluvionale dei corsi di risorgiva e del reticolo locale</b>		5.1.1. <i>Genesi, stratigrafia e distribuzione del caranto</i> .....	159
Unità di Loncon .....	66	5.1.2. <i>La carta della quota dei depositi post-LGM</i> .....	159
Unità dei Fiumi di Risorgiva .....	67	5.2. Il Passante autostradale di Mestre .....	161
<b>Sistema alluvionale del Piave-Livenza</b>		5.2.1. <i>Paleovalveo pleistocenico del Brenta</i> .....	161
Unità di Torre di Mosto .....	68	5.2.2. <i>Paleovalveo del Lusore</i> .....	165
Unità del Piavon .....	70	5.2.3. <i>Piana di esondazione</i> .....	167
		Schema cronostratigrafico del tardo Pleistocene e dell'Olocene .....	174
		<b>6. Bibliografia</b> .....	175



La situazione geologica del territorio è una condizione determinante in molte decisioni; basti pensare ai temi relativi agli impianti di smaltimento dei rifiuti, alle bonifiche e piani di caratterizzazione, allo spargimento fanghi e liquami per uso agronomico, per recuperi ambientali, nel campo dell'attività estrattiva, solo per fare alcuni esempi. Per questo la Provincia di Venezia ha posto particolare cura nel completare l'acquisizione delle principali conoscenze sulla situazione geologica del territorio provinciale, uno strumento conoscitivo che le sempre maggiori competenze in questo campo rendevano non solo necessario ma addirittura urgente. Le conoscenze geologiche sono ad esempio uno degli strumenti su cui si sono fondate diverse considerazioni alla base della pianificazione provinciale: dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) al Piano Provinciale d'Emergenza (PPE) fino al Piano Gestione Rifiuti (PGR). Tutti strumenti pianificatori di cui questa Amministrazione ha voluto dotarsi nella consapevolezza che solo agendo in un quadro generale è possibile ottimizzare le scelte di competenza facendo nel contempo comprendere alla popolazione amministrata le motivazioni delle proprie scelte.

In un senso più vasto poi, la situazione geologica condiziona le scelte di pianificazione territoriale ed urbanistica oltre che un ampio spettro dei vari rischi insistenti nella nostra provincia a cominciare da quello idrogeologico (che da noi riguarda essenzialmente il rischio idraulico, da mareggiate ed i preoccupanti fenomeni della subsidenza e dell'intrusione salina).

Oltre che per la pianificazione, il substrato geologico riveste uno specifico interesse anche per la vasta attività istruttoria che il Servizio Geologico della Provincia svolge a favore sia di altri Settori provinciali sia di varie Amministrazioni (per esempio per i PAT/PATI) e sia di privati: si va, ad esempio, alle istruttorie per VIA, VAS e VINCA fino ad attività di supporto che hanno un interesse non solo economico ma anche culturale, come ad esempio nel campo archeologico.

Il disporre oggi di uno strumento così perfezionato è quindi motivo soprattutto d'interesse pratico per una molteplicità di utenti. I tecnici che a vario titolo saranno chiamati ad affrontare un problema specifico concernente il sottosuolo avranno infatti la possibilità di programmare le proprie indagini a ragion veduta ed a loro volta potranno interpretare i propri dati puntuali in un ambito più vasto, cosa che consentirà loro non solo economie di tempi e costi, ma principalmente aumenterà la qualità del livello interpretativo, assai complesso e difficile in un territorio quale quello veneziano.

Per tutte queste considerazioni, riteniamo che il lavoro svolto dai tecnici del Servizio Geologico della Provincia con la collaborazione degli studiosi del Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova resterà a lungo imprescindibile per chi vorrà approfondire le proprie conoscenze sulla geologia veneziana e per una gestione oculata e compatibile di questo delicato e complesso territorio.

IL PRESIDENTE  
 *Davide Zoggia*

L'ASSESSORE ALLA DIFESA DEL SUOLO  
 *Ezio Da Villa*



Con la pubblicazione del lavoro sulle unità geologiche, la Provincia di Venezia si dota di un altro insostituibile strumento indispensabile per la conoscenza e la gestione del suo territorio. È questo infatti il quindicesimo lavoro di carattere geologico e di difesa del suolo che riguarda il territorio veneziano. I vari tematismi che caratterizzano la collana degli studi in oggetto, pubblicata a partire dal 1983, esprimono l'attenzione e l'interesse che le amministrazioni preposte alla gestione del territorio veneziano hanno dimostrato verso questo tipo di studi, affrontando via via tematiche che si sono spostate da interessi estremamente specialistici (problematiche di tipo agricolo) a tematiche geoambientali a più ampio spettro di conoscenze, come le attività estrattive, l'idrogeologia, la geomorfologia ecc. Un altro merito che va riconosciuto alla Provincia è l'aver reso pubblico, in forma completa, il patrimonio di dati in suo possesso ed i risultati dei lavori svolti dai suoi tecnici e dai ricercatori del Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova. Vorrei a questo punto sottolineare l'importanza e l'efficacia di una così stretta sinergia che si è andata via via formando tra i tecnici e gli studiosi del Dipartimento di Geografia, a fronte della quale è stato possibile realizzare prodotti di carattere estremamente pratico e di diretta fruibilità, senza però perdere quel rigore scientifico nella interpretazione del dato, tipico della ricerca accademica. Si tratta quindi di lavori che possono essere impiegati dal professionista, ma che soddisfano anche lo scienziato puro. Come sottolineato nell'inquadramento del progetto dagli autori di quest'opera, tecnici, amministratori e studiosi troveranno in questo lavoro le risposte ai loro quesiti od altri spunti di partenza per nuove ricerche.

Il lavoro sulle unità geologiche della provincia di Venezia, associato allo studio geomorfologico di recente realizzazione, fornisce la terza dimensione del "piatto" ed apparentemente monotono paesaggio della "Serenissima". Le forme di superficie, a luoghi appena abbozzate, messe in evidenza con estremo dettaglio dalla carta geomorfologica della provincia di Venezia, trovano in questo lavoro la loro completa identità. Le quasi 9400 stratigrafie relative a sondaggi distribuiti sull'intero territorio provinciale, contenute nella banca dati del Servizio Geologico provinciale, sono state, forse per la prima volta, correlate tra loro da "un'unica mente" che ha potuto collocarle nel quadro dei sistemi deposizionali tardo quaternari, in un modello evolutivo esteso all'intera pianura veneto-friulana. Uno dei pregi di questo lavoro è anche quello di mostrare ciò che normalmente "non si vede" perché posto sotto la superficie topografica. La geologia di una pianura non è infatti esposta come quella che si può osservare su una parete dolomitica, ed inoltre risulta di estrema complessità per le continue variazioni laterali di facies che un impianto idrografico, dominante in un sistema pianiziale, genera nella sua evoluzione. La conoscenza di queste variazioni non si limita al piacere scientifico di riconoscere un conoide inciso da un antico corso d'acqua o un paleomeandro in migrazione, ma ha immediati risvolti di tipo applicativo dal punto di vista idrogeologico, dello smaltimento dei rifiuti, della staticità delle fondazioni ecc.

Le schede a corredo della carta delle "Unità geologiche della provincia di Venezia" offrono al lettore sia l'informazione di superficie (unità geologica, geomorfologia, ubicazione dei sondaggi) che quella del sottosuolo. Degna di nota la doppia rappresentazione di ciascun transetto, che ripropone nella prima sezione i *log* stratigrafici così come vengono riportati nella documentazione originale, mettendo in risalto la facies dei sedimenti, mentre nella seconda trova spazio l'interpretazione che mette in risalto l'unità di appartenenza e l'ambiente di sedimentazione. Il pregio di questa doppia rappresentazione consiste nella "non perdita del dato originale", offrendo quindi la possibilità di confrontare una nuova stratigrafia con quelle acquisite in precedenza e nell'aiutare nell'interpretazione chi non possiede il quadro evolutivo dell'intero territorio.

In definitiva la consultazione della carta e del volume sulle unità geologiche della provincia di Venezia soddisfa ogni tipo di curiosità scientifica e fornisce un ulteriore esempio di quanto si può ottenere da una ricerca di tipo interdisciplinare che ha visto attori (funzionari della Provincia e ricercatori universitari) e contributi scientifici differenziati (datazioni geocronologiche, analisi compositiva di livelli sabbiosi, archeologia, geofisica) integrarsi in modo organico. Il lavoro, che dal mero punto di vista accademico rappresenta un valido esempio di ricerca di geologia del Quaternario, ha anche il pregio di essere stato concepito come un prodotto che conduce a ricadute di pubblica utilità e che costituisce il punto di partenza per la redazione di proposte di intervento sul territorio.

Molti hanno collaborato alla realizzazione di questa opera, ed in modo particolare dirigenti e funzionari di istituzioni non accademiche estremamente sensibili nei riguardi dell'ambiente e della ricerca pura ai quali va il ringraziamento per le varie opportunità offerte. Decisiva è stata anche la scelta strategica dell'Amministrazione provinciale di decidere di realizzare questo tipo di studi, conscia che l'attività intellettuale deve precedere ed accompagnare la realizzazione delle opere, a loro volta indispensabili per la tutela, la valorizzazione e lo sviluppo di un territorio. Desidero anche sottolineare il ruolo determinante che hanno avuto nella realizzazione di questo lavoro i ricercatori del Dipartimento di Geografia "G. Morandini" dell'Università di Padova, che hanno messo a frutto le conoscenze e le esperienze maturate nel corso dell'ultimo ventennio in questo settore della ricerca. Nell'intero studio appare ancora una volta l'impronta della scuola geografica padovana che, dagli studi sulla Pianura Padana, condotti sotto la guida di G. B. Castiglioni, passa attraverso la carta geomorfologica della provincia di Venezia, e si configura come una "scuola" di rilevamento geomorfologico e di geologia del Quaternario della pianura e di indagini connesse.

DIRETTORE DIPARTIMENTO DI GEOGRAFIA "G. MORANDINI"  
UNIVERSITÀ DI PADOVA  
*Prof. Alberto Carton*



Questa pubblicazione, di alto contenuto scientifico-tecnico, approccia la geologia della provincia di Venezia su basi metodologiche composite e complesse, inizialmente costituite da analisi frammentarie di tipo genetico, sedimentologico, litologico, geochimico-cronostratigrafico, tettonico, geomorfologico, idrogeologico, radiometrico, geognostico, geofisico, paleoclimatico, pedologico, eustatico, archeologico ecc., prodotte in oltre venti anni di attività da parte di numerosi Enti pubblici e dallo stesso Servizio Geologico Provinciale e, infine, da quest'ultimo raccolte, interpretate, correlate, organizzate e sistemizzate, fino a formare un coerente quadro geologico territoriale, le cui tessere fondamentali sono rappresentate dalle unità geologiche.

Il modello geologico territoriale che ne scaturisce è perfettamente definito e reso prezioso da un complemento di profili conoscitivi, analitico-sperimentali, tecnici e scientifico-speculativi, di altissimo livello culturale e professionale.

È immediato intuire come su questo immane lavoro – dato che per la sua costruzione sono stati manipolati migliaia di dati – aleggi, oltre alla scienza, sapienza e conoscenza, una passione infinita, consapevole, illuminata, assolutamente meritoria, giacché al traguardo gli Autori non conseguiranno altro premio se non l'alloro del riconoscimento della loro competenza e la soddisfazione di aver reso alla comunità scientifica, alla comunità professionale, alla collettività, un prezioso servizio.

Questa affermazione deriva dalla esperienza di quanti sono costretti a cimentarsi giornalmente con problematiche che attengono alla sfera delle trasformazioni territoriali nell'ottica dello sviluppo sostenibile, ecocompatibile, solidale; quando si devono, cioè, coniugare sviluppo socio-economico, rischi geonaturali, tutela delle georisorse, variazioni climatiche, questioni energetiche ed altro ancora.

È in questi frangenti che occorre disporre di quella somma prestigiosa, complessa, indifferenziata, imprescindibile, di informazioni e di conoscenze sinteticamente definita come *modello geologico*.

Un modello davvero unico, particolare, assolutamente originale, è in sé geometrico, numerico, analitico, analogico, sperimentale, parametrico, descrittivo, assolutamente aleatorio perché caratterizzato da ben cinque dimensioni.

Sì, cinque dimensioni; quelle tridimensionali dello spazio, più la dimensione temporale e, infine, la dimensione antropica.

Il modello geologico trascende, perciò, dalla modellazione convenzionale per assumere una connotazione fisica più complessa, quella di un vero e proprio *spettro geologico*, funzione articolata a diversa scala territoriale e parametrica.

Ma proprio su quest'ultimo aspetto è opportuno richiamare l'attenzione degli operatori professionali non geologi, spesso adusi ad utilizzare il modello geologico territoriale di area vasta per qualunque problema applicativo.

Al forte richiamo espresso dagli Autori aggiungiamo anche il nostro: il modello geologico territoriale deve essere considerato come modello conoscitivo di riferimento sul quale tarare la coerenza, la correttezza e la compatibilità dello *spettro geologico* locale, riferito ad una ben delimitata area e finalizzato allo studio e soluzione di uno specifico problema applicativo.

In questa prospettiva si inquadra l'efficace e solido strumento conoscitivo in esame, conferma scientifica della complessa ed articolata storia geologica della Pianura Veneta, che si contrappone, superandolo, all'approccio semplicistico finora adottato per quella realtà geologico-territoriale.

Per questi motivi riteniamo di poter esprimere, a nome dell'intera collettività geologica, il più vivo apprezzamento ed il più vivo ringraziamento a quanti hanno collaborato alla realizzazione di questo lavoro, a tutti gli Autori e, in particolare, ad Andrea Vitturi, di cui per anni abbiamo seguito l'appassionato lavoro professionale, l'impegnativa ricerca scientifica e la responsabile attività di Dirigente del Servizio Geologico della Provincia di Venezia.

PRESIDENTE ORDINE GEOLOGI VENETO  
Danilo Belli

PRESIDENTE CONSIGLIO NAZIONALE GEOLOGI  
Pietro Antonio De Paola



# 1. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO

Valentina Bassan, Aldino Bondesan, Andrea Vitturi

## 1.1. Introduzione

Questa pubblicazione, che riguarda *“Le unità geologiche della provincia di Venezia”*, inizialmente nata con l’acronimo *S.In. P.A.V.* (Sistema Informativo delle Unità di Paesaggio Antico della Provincia di Venezia), poi evolutosi col sostanziale modificarsi del progetto iniziale in *“geoSINPAV”*, per molti versi può essere considerata il punto d’arrivo di un’attività ultradecennale che ha visto impegnato il Servizio Geologico provinciale nelle sue varie accezioni<sup>1</sup> sia in forma di diretto attuatore che di promotore e coordinatore con altri enti aventi analoghi interessi e competenze istituzionali nel campo delle conoscenze su suolo e sottosuolo.

Alla fine di questo volume è riportato l’elenco degli studi pubblicati nella *“Collana degli studi geologici e di difesa del suolo della provincia di Venezia”* a partire dal 1983, di cui il presente – e finora ultimo – studio è il quindicesimo. Numerosi sono però anche altri lavori rimasti per il momento inediti e di cui quelli a maggior valenza generale e non superati dalle ulteriori conoscenze nel frattempo acquisite dovrebbero trovar spazio, ancorché in sintesi, in un’ulteriore pubblicazione allo stato in avanzata fase di programmazione.

Si è partiti, negli anni ’80, con studi mirati soprattutto a conoscere gli aspetti più attinenti al suolo in quanto l’interesse dell’Amministrazione provinciale era allora più rivolta agli aspetti agricoli, per poi gradualmente passare ad occuparsi di tematiche geoambientali (peraltro già presenti nel primissimo studio, a dimostrazione di una continuità di programmazione della *“collana”* nel tempo), di attività estrattiva, di idrogeologia ed infine di geomorfologia.

Da segnalare la recentissima pubblicazione che completa le conoscenze sui suoli dell’intera provincia in un quadro unitario ed inserito in un contesto regionale, nazionale ed europeo.

Dallo studio *“Geomorfologia della provincia di Venezia”*, che ha visto per anni impegnata una qualificata e numerosa squadra di esperti di varie discipline, è stato possibile assemblare e completare tutta una serie di dati, peraltro già presenti presso il Servizio Geologico provinciale, che a loro volta sono stati anche alla base della presente ricerca.

A questo punto è anche il caso di sottolineare il fatto che tutte le varie indagini eseguite, anche con la collaborazione di scienziati, universitari e professionisti illustri, hanno avuto finalità eminentemente di carattere pratico, di diretta applicazione per una molteplicità di utenti, e ciò in linea con gli obiettivi delle Amministrazioni che si sono via via succedute nel tempo e che hanno sempre giustamente privilegiato l’acquisizione delle conoscenze necessarie per ben amministrare, il tutto però nell’ambito di un provato rigore scientifico di base. Quindi, da un lato metodologie consolidate o innovative, dall’altro risultati direttamente fruibili da parte dei cosiddetti *“lettori acculturati”*, dai tecnici a vario titolo interessati e dagli amministratori locali.

Gli studi presenti nella *“Collana degli studi geologici e di di-*

*fesa del suolo della provincia di Venezia”* hanno avuto anche un’altra peculiarità: sono stati principalmente realizzati in collaborazione con vari altri Enti a diverso titolo interessati alle tematiche svolte.

Il Servizio Geologico provinciale ha generalmente avuto il ruolo di promotore, coordinatore e co-finanziatore, ma in tal modo si sono avute importanti sinergie economiche e temporali ed inoltre i risultati sono così diventati patrimonio comune di più enti, che in vari casi (per esempio con Regione del Veneto, ARPAV, CNR-ISMAR, Magistrato alle Acque di Venezia, Università di Padova - Dipartimento di Geografia, SIGEA, ATO *“Laguna di Venezia”*) sono addirittura sfociati in banche dati condivise, periodicamente aggiornate.

## 1.2. Scopi e limiti dello studio

In questo quadro il progetto *“geoSINPAV”* che ha portato all’allestimento della carta delle *“Unità geologiche della provincia di Venezia”* nasce dalla necessità, da parte del Servizio Geologico e Difesa del Suolo provinciale, di avere un riferimento geologico certo, a scala provinciale, a supporto delle decisioni e dei pareri che spesso è chiamato ad esprimere per conto dell’Ente o direttamente o a supporto di altri Settori, tanto che tale attività sta diventando sempre più impegnativa.

L’ormai quasi trentennale archiviazione delle stratigrafie, dapprima cartacea e successivamente informatizzata e georeferenziata, la produzione di studi e l’elaborazione di numerose cartografie tematiche hanno via via consentito un crescente grado di competenza dei tecnici del Servizio Geologico e Difesa del Suolo provinciale nella loro attività specifica in campo geologico, raggiungendo un livello di conoscenze ed una disponibilità di informazioni sul sottosuolo tali da giudicare maturi i tempi per la realizzazione di un modello geologico sull’intera provincia, ancorché con un grado di dettaglio a volte eterogeneo, ma comunque sempre giudicato buono.

Si fa riferimento in particolare agli studi ed alle indagini condotti per la realizzazione degli studi (con cartografie) geoambientali, geomorfologico, dei suoli, del microrilievo, del rischio da mareggiate, delle elaborazioni a carattere storico, della vulnerabilità dell’acquifero superficiale, dei censimenti dei geositi e delle cave. Dati confluiti in *geodatabase* ben organizzati ed ampiamente utilizzati non solo per gli scopi d’ufficio ma anche, a determinate condizioni, per utenti esterni.

Inoltre, una congiuntura particolarmente favorevole di questi ultimi anni, che ha visto il finanziamento di tre fogli CARG da parte dell’APAT<sup>2</sup> (Venezia, Chioggia - Malamocco, Portogruaro) e la loro realizzazione da parte della Regione del Veneto con la collaborazione della Provincia di Venezia e l’affidamento, sempre da parte della Regione alla Provincia, pure dell’indagine idrogeologica del SIN<sup>3</sup> di Porto Marghera, ha consentito livelli di approfondimento anche molto spinti delle conoscenze geologiche in vaste parti del territorio provinciale non-

1. In principio (1980) fu il *Dipartimento Programmazione - Settore Assetto ed Igiene del Territorio*, poi il *Servizio di Sviluppo Agricolo*, cui seguì per breve periodo il *Settore Ecologia*, quindi il *Servizio Protezione Civile* ed infine dal 2004, con dignità sua propria, l’attuale *Servizio Geologico - Difesa del Suolo*, che si rifà alle competenze istituzionali assegnate alle Province con la Legge n. 142/90, ora D.Lgs. 267/00.

2. Già Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e del Territorio (APAT) ed ora Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), che però altro non sono che il *“Servizio Geologico d’Italia”* d’antica memoria.

3. Sito d’Interesse Nazionale (SIN), che corrisponde ad una vasta area comprendente tutta la zona industriale di Porto Marghera e territori limitrofi, anche in Mestre.

ché la forte implementazione della banca dati stratigrafica<sup>4</sup>, indispensabile per la definizione del quadro stratigrafico del territorio.

Il prodotto del lavoro qui presentato è la “*Carta delle unità geologiche*” a scala 1:50.000, il cui dettaglio è garantito fino alla scala 1:20.000 (scala di rilevamento), ma a volte anche maggiore<sup>5</sup>. Alla carta è associata una cinquantina di profili geologici che descrivono in modo dettagliato il sottosuolo fino a 10-30 m di profondità, ai quali vengono associati schemi e sezioni-tipo rappresentative delle unità geologiche delimitate in carta.

Gli ambiti di applicazione di questo studio vanno dalla pianificazione territoriale (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale - PTCP e Piani d'Assetto del Territorio - PAT/PATI se intercomunali) e di settore (Piano Provinciale di Emergenza - PPE<sup>6</sup>, piani comunali di Protezione Civile, Piano gestione rifiuti, Piano provinciale per l'attività di cava), alla VIA (Valutazione d'Impatto Ambientale), alla Valutazione Ambientale Strategica (VAS), alla Valutazione d'Incidenza Ambientale (VINCA), fino ai pareri e contributi istruttori relativi a progetti di discariche, bonifiche e piani di caratterizzazione, spargimento fanghi e liquami per uso agronomico, recuperi ambientali, avvicinamenti ferroviari ecc.

Nell'ambito della pianificazione territoriale il ruolo dato alla Provincia dalla L.R. 11/04 è quello di predisporre un piano a scala provinciale che individui le politiche sull'uso del territorio basate su un nutrito quadro conoscitivo in cui gli aspetti geologici sono ampiamente considerati principalmente nella matrice suolo e sottosuolo. Da qui le informazioni, che vanno ad implementare la banca dati regionale, confluiscono principalmente nella Carta delle Fragilità. Il PTCP<sup>7</sup>, con il suo quadro conoscitivo e con le sue tavole, è inoltre il presupposto indispensabile per l'approvazione da parte della Provincia dei PAT e dei PATI, redatti con modalità analoghe a livello comunale o intercomunale.

La conoscenza del quadro geologico nei primi 10-30 m di profondità consente di avere indicazioni sulla presenza e vulnerabilità dei corpi acquiferi sotterranei<sup>8</sup>, sulle caratteristiche geomeccaniche generali dei terreni sede di potenziali espansioni urbane o di infrastrutture, sulla previsione degli scenari che si prospetteranno con il previsto innalzamento del livello marino specialmente in aree molto subsidenti, su siti geologici di un certo pregio che potrebbero essere oggetto di tutela particolare ed altro ancora.

Analoghe informazioni vengono pure richieste per pianificazioni di settore nel campo della gestione dei rifiuti (D.Lgs. 152/06 e s.m.i. e L.R. 3/2000) e nel campo della pianificazione dell'attività estrattiva (L.R. 44/82).

Nel primo caso le informazioni ottenute dal presente studio possono essere utilizzate<sup>9</sup> per prevenire ed evitare fenomeni di inquinamenti dei terreni e delle acque; nel secondo le medesime informazioni possono essere utilizzate per individuare gli insiemi estrattivi di un certo interesse e la possibilità o me-

no che i terreni vengano sfruttati a scopo commerciale senza creare danni all'ambiente.

Per la pianificazione in materia di protezione civile è prevista dalla L. 225/92 una fase previsionale, volta alla conoscenza dei rischi presenti nel territorio, fase ribadita nella parte terza del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. nella parte relativa alla difesa del suolo. In questo caso è necessario analizzare il territorio in ordine anche al rischio idraulico e, quindi, tra i vari fattori di vulnerabilità vengono considerati il microrilievo, le condizioni dei grandi corsi d'acqua e della bonifica idraulica, l'esposizione dei litorali ad erosione e mareggiate, la predisposizione all'inquinamento dei vari terreni, il grado di rischio sismico. Si tratta di aspetti che direttamente o indirettamente sono connessi con le condizioni del substrato geologico<sup>10</sup>.

In merito poi all'attività di supporto istruttorio e consulenza all'Ente in ordine a progetti specifici che riguardano il sottosuolo, era necessario avere un quadro geologico che fornisse da un lato il contesto spazio-tempo in cui inserire i modelli geologici prodotti nell'ambito dei progetti presentati, dall'altro la possibilità di riscontro immediato della coerenza di quanto presentato dai progettisti, utilizzando le sezioni-tipo ed i modelli sintetizzati per area nell'ambito di questo studio.

In relazione agli ambiti di applicazione della presente pubblicazione, essa rappresenta la base di partenza per l'ulteriore approfondimento delle conoscenze del territorio provinciale: questo riguarderà lo studio delle falde acquifere superficiali (primi 10-30 m) che è appena stato avviato con l'Università di Padova - Dipartimenti di Geoscienze e di Geografia (progetto IDRO).

Per questo motivo “*Le unità geologiche della provincia di Venezia*”, che all'inizio del presente capitolo erano state indicate in un qualche modo come un “*punto d'arrivo*” di una pluridecennale attività, ora possono a giusto titolo essere considerate anche un “*punto di partenza*” verso nuovi, ambiziosi ed importanti progetti.

Lo studio inoltre consente di avviare ad una delle grandi deficienze dell'Italia moderna, vale a dire la disponibilità di una carta geologica aggiornata e a scala adeguata. Per larghi settori della pianura manca infatti un'edizione recente della Carta Ufficiale dello Stato, dovendo fare riferimento alle vecchie carte in scala 1:100.000 pubblicate parecchie decine di anni fa dal Magistrato alle Acque e dall'allora Servizio Geologico Nazionale, e oramai superate. La Provincia di Venezia, grazie anche ai molti studi pubblicati negli ultimi decenni, ha efficacemente sopperito ad una cronica carenza e il presente studio, pur con tutte le sue intrinseche limitazioni, consente di fornire un quadro geologico aggiornato e a media-grande scala, per di più in un'area di pianura che per mancanza di conoscenze specifiche e di strumenti tecnologici e culturali adeguati era stata solitamente ignorata dai geologi del secolo scorso.

I limiti del presente lavoro sono rappresentati principalmente dall'eterogeneità della distribuzione delle informazioni stratigrafiche, in gran parte realizzate per altri scopi e quindi posizionate in base alle necessità dei progetti a cui erano allegate. Inoltre la loro descrizione è stata affidata a geologi vari, con diverse sensibilità e diversi gradi e campi di preparazione e che hanno operato in tempi e contesti diversi. A ciò si è cercato di supplire con l'esecuzione diretta di numerose stratigrafie con trivella a mano e con la trivella a motore in dotazione alla Provincia<sup>11</sup>, nonché con l'interpretazione stratigrafica di

4. Ora sostanzialmente condivisa, per i fogli geologici “*Venezia*”, “*Chioggia - Malamocco*” e “*Portogruaro*”, tra Provincia e Regione.

5. Per esempio nell'area di Porto Marghera il dettaglio è elevatissimo in quanto – come si è detto – la Provincia ha realizzato, su finanziamento regionale, la “*Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera*” che ha comportato un'accuratissima rappresentazione del sottosuolo fino ad alcune decine di metri di profondità.

6. Alla data odierna l'ultima versione del PPE è quella approvata dal Consiglio Provinciale il 22.05.2008; essa fa seguito alla prima versione del PPE nel 2001 e al suo secondo aggiornamento nel 2003.

7. Il PTCP di Venezia è stato adottato dal Consiglio Provinciale in data 5.12.2008.

8. In proposito si segnala che, sulla base del presente studio, sostanzialmente dall'ottobre 2008 è iniziato il “*Progetto IDRO*”, triennale, di cui si dirà in seguito.

9. Ed in buona parte lo sono già state nel “*Piano Gestione Rifiuti della Provincia di Venezia (PGR)*” approvato dal Consiglio Provinciale nel 2008.

10. Sia il “*Programma Provinciale di Previsione e Prevenzione in materia di Protezione Civile*”, approvato dal Consiglio Provinciale nel 1999, che il “*Piano Provinciale d'Emergenza (PPE)*” di cui alla precedente nota 6, hanno compreso molte conoscenze di tipo geologico. Ciò vale in genere per tutta la pianificazione provinciale d'interesse territoriale (PTCP; PGR).

11. Mantenendo però un elevato livello d'accuratezza di norma solo fino a 6 m di profondità, sono rari i casi di indagini a profondità più elevate; più frequente è il caso inverso. Coprono però con una maglia abbastanza regolare l'intero territorio della provincia.

numerosi scavi condotti a vario titolo. Fortunata è stata l'occasione di seguire gli scavi realizzati lungo i circa 33 km del tracciato del Passante Autostradale di Mestre che taglia quasi perpendicolarmente le principali strutture deposizionali del Brenta Pleistocenico<sup>12</sup>.

Il lavoro generale di rilevamento è servito da integrazione e taratura dei dati disponibili nella banca dati stratigrafica e per una revisione dei dati che ha portato sia alla non considerazione di alcune stratigrafie giudicate non sufficientemente attendibili sia a volte all'interpretazione ragionata dei dati in essi riportati.

Le applicazioni del presente studio riguardano da vicino anche il mondo professionale. Talora gli studi applicati condotti da geologi e da altri liberi professionisti si limitano ad indagare il sito concentrando l'attenzione sull'immediato sottosuolo senza poter inquadrare la stratigrafia nel suo contesto generale a causa della mancanza di studi di riferimento mirati. L'interpretazione viene condotta quasi esclusivamente tenendo conto dei soli parametri geotecnici locali, ma sarebbe fondamentale poter riferire i risultati delle indagini geognostiche ad un modello geologico complessivo, dove le sequenze deposizionali possano essere collocate in un quadro evolutivo generale. Talora la letteratura scientifica disponibile non risponde in pieno alle esigenze di tipo tecnico del professionista.

Questo studio vuol quindi essere uno strumento essenziale per chi opera in provincia di Venezia e intende completare le proprie osservazioni di campagna inserendole in un quadro regionale.

Le note illustrative riportano una cospicua serie di transetti condotti attraverso l'interpolazione di carotaggi eseguiti per scopi molteplici. Il dato di campagna viene quindi interpretato e accompagnato da un modello interpretativo. In questo modo è possibile operare dei confronti diretti tra i *log* eseguiti all'interno di una delle unità geologiche e la sezione geologica di riferimento che meglio approssima la serie stratigrafica attraversata. La possibilità di estendere in questo modo la mera descrizione geolitologica dei carotaggi ad un contesto più generale, che comprenda anche l'intorno del sito, consente di avanzare previsioni sulle possibili variazioni in senso laterale o verticale dei sistemi litologici (per esempio un riempimento a tessitura fine di un paleoalveo tra argini naturali sabbiosi, o una sequenza di linee di riva sabbiose alternate a spazi interdunal argillosi ecc.).

È importante tenere presente che la "*Carta delle unità Geologiche della provincia di Venezia*" consente di integrare gli studi geologici condotti a livello di sito, ma, da quanto sopra esposto, deve risultare chiaramente che **mai la cartografia e gli schemi stratigrafici prodotti possono sostituire le caratterizzazioni geologiche a scala locale**, per le quali va verificata la disponibilità di dati stratigrafici esistenti e la loro idoneità, in termini di quantità e di qualità, a descrizioni di maggior dettaglio disponendone eventualmente la loro integrazione.

Dal punto di vista accademico infine non si può fare a meno di osservare come solo attraverso una sinergia realizzata con un ente quale la Provincia di Venezia sia stato possibile analizzare, integrare e rappresentare una così elevata quantità di dati geologici.

I fondi a disposizione per la ricerca universitaria avrebbero difficilmente consentito la realizzazione di uno studio *ad hoc* su una superficie di quasi 2.000 km<sup>2</sup> con il dettaglio ottenuto, obiettivo che invece è stato possibile raggiungere grazie alla condivisione di risorse e dati.

Attraverso la realizzazione dello studio delle unità geologiche è stato possibile conseguire un ulteriore importante progresso nelle conoscenze della pianura veneto-friulana, anche grazie alle datazioni geocronologiche che sono state effettuate, ai sopralluoghi, alle osservazioni di sezioni aperte in occasioni di scavi e ai carotaggi condotti appositamente per completare il quadro conoscitivo. Sono state inoltre portate avanti anche sperimentazioni metodologiche attraverso l'impiego di tecniche geofisiche applicate allo studio delle forme di pianura e i risultati sono già stati pubblicati in riviste scientifiche internazionali.

Possiamo concludere affermando che questo lavoro ha permesso di superare il luogo comune che gli studi a carattere scientifico siano di scarsa utilità per gli scopi applicativi e viceversa; è stata conseguita al contrario quella comunità di intenti e di risultati che ha portato ad un significativo e proficuo avanzamento sia in campo scientifico che applicativo, realizzando un'opera di consultazione che riteniamo potrà essere di grande utilità all'amministratore pubblico, allo studioso e al professionista.

---

12. Su questo argomento vi è poi un apposito capitolo.

## 2. INTRODUZIONE ALLA GEOLOGIA DELLA PROVINCIA DI VENEZIA

Alessandro Fontana

La provincia di Venezia si estende da NE a SW tra il corso del fiume Tagliamento fin quasi a quello del Po, comprendendo tutta la fascia costiera della pianura veneta e una porzione di quella friulana; il limite geografico occidentale di quest'ultima è infatti rappresentato dal Livenza. Nel complesso la provincia comprende quasi un terzo della pianura costiera dell'Italia nordorientale e il suo assetto stratigrafico, quindi, è rappresentativo della storia geologica tardopleistocenica e olocenica della pianura che si affaccia sull'Adriatico settentrionale. Le caratteristiche delle unità geologiche rappresentate nelle carte allegate e descritte in questo volume (Cap. 4) sono intimamente legate agli elementi geomorfologici riconoscibili in superficie. Complessivamente, sono il prodotto dei processi deposizionali ed erosivi attuatisi tra il Pleistocene finale e l'Attuale. Le ricerche condotte in questi ultimi anni, soprattutto

a seguito dei progetti di cartografia geomorfologica, pedologica e geologica riguardanti la provincia di Venezia e, più in generale, la pianura veneta e friulana (Bondesan et al., 2004; Bondesan & Meneghel, 2004; Ragazzi et al., 2008; Ragazzi & Zamarchi, 2008; ARPAV, 2005; Fontana, 2006; Tosi et al., 2007a; 2007b; Zanferrari et al., 2008) hanno consentito un deciso avanzamento delle conoscenze geologiche del territorio e dell'evoluzione che esso ha avuto. In questo paragrafo vengono ripresi i concetti descritti nelle note illustrative della Carta geomorfologica della provincia di Venezia (Fontana et al., 2004), introducendo le conoscenze più recenti e ampliando lo spazio dedicato agli aspetti stratigrafici e geologici che servono alla comprensione del primo sottosuolo.

I dati attualmente disponibili per la pianura veneziana consentono di descrivere con una discreta affidabilità l'assetto strati-

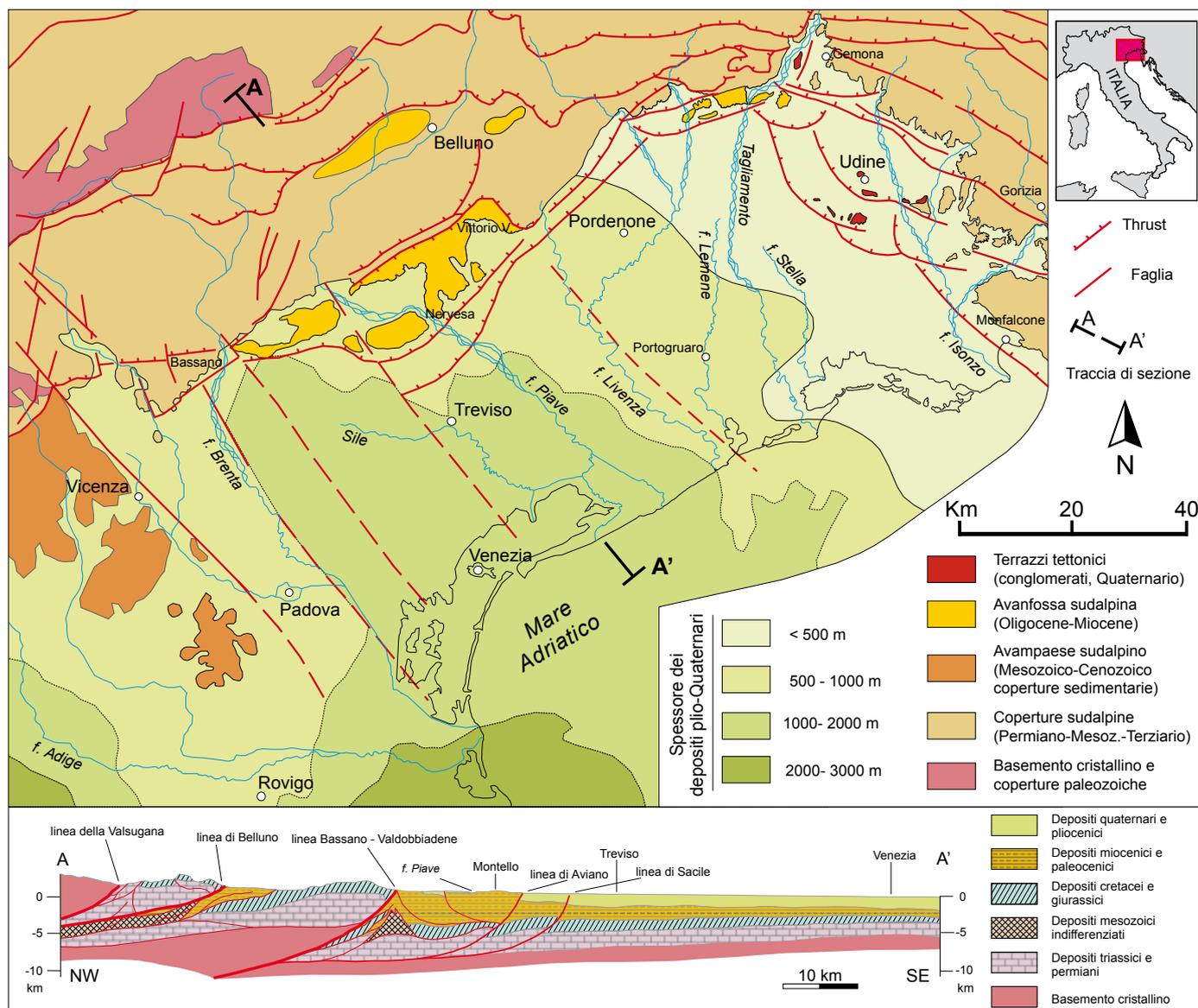


Fig. 2.1. Schizzo geologico strutturale della pianura veneto-friulana, con profilo geologico del settore centrale (da Regione Veneto, 1990; Gasperi, 1997; Peruzza et al., 2002, modificati).

grafico dei depositi presenti nei primi 30 m circa di profondità, mentre per il sottosuolo più profondo si possono tratteggiare solo alcune caratteristiche generali. Infatti, le comuni indagini geognostiche si spingono solitamente fino a 15-30 m. I sondaggi a carotaggio continuo profondi 30-50 m sono in numero limitato e quelli che raggiungono i 100 m corrispondono quasi esclusivamente ai pochi carotaggi realizzati per i nuovi fogli della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 (progetto CARG).

## 2.1. Cenni di geodinamica e origine della pianura veneto-friulana

La realizzazione dei nuovi fogli della carta geologica d'Italia (progetto CARG Regione Veneto), nel complesso, ha fornito una dettagliata sintesi dell'evoluzione geologica-strutturale del territorio provinciale dalla fine del Paleozoico all'Attuale (Tosi et al., 2007a; 2007b; in stampa). La pianura veneto-friulana rappresenta la superficie del riempimento di età terziaria e quaternaria di un bacino deposizionale che è situato all'estremità nordorientale della microplacca adriatica. Si tratta dell'avampaese condiviso fra il settore orientale delle Alpi meridionali e gli Appennini settentrionali. La prima corrisponde ad una catena a *thrust* sud-vergenti sviluppatesi a partire dal Paleogene, mentre la seconda è una catena a *thrust* con vergenza nord-orientale formatesi dal Neogene (Massari, 1990; Doglioni, 1993).

Il fronte alpino più meridionale è sepolto sotto la piana alluvionale pedepalpina, mentre nel settore più orientale, quello friulano, alcuni dei sovrascorrimenti più esterni affiorano in parte nel mezzo della pianura friulana, creando alcuni terrazzi tettonici sollevati di pochi metri vicino a Udine (Zanferrari et al., 2008; Fontana, 2006). Il settore più meridionale della pianura veneta, invece, è stato influenzato fin dal Miocene superiore dall'attività di espansione verso nord dell'avampaese appenninico, i cui *thrust* più esterni si trovano sepolti al di sotto dell'attuale corso del fiume Po. L'influenza della tettonica appenninica ha provocato un *tilting* con immersione verso sud che viene sentito fino alla zona di Venezia (Carminati et al., 2003). La subsidenza indotta dal carico tettonico dell'Appennino settentrionale ha prodotto oltre metà dell'abbassamento verificatosi nell'area della laguna veneta nel Pleistocene, ossia circa 500 m (Carminati et al., 2003; Barbieri et al., 2007). Tuttora i ratei di subsidenza media annua calcolati sugli ultimi 125.000 anni indicano che tutta la pianura costiera veneto-friulana è in subsidenza, ma i valori manifestano un netto trend procedendo dalla zona friulana verso quella padana. In particolare, mentre il tasso di affondamento nella bassa pianura tra Tagliamento e Livenza è di circa 0,45 mm/a, tra Livenza e Venezia è di 0,5-0,6 mm/a e aumenta poi notevolmente a sud di Chioggia, dove supera anche 1 mm/a (Ferranti et al., 2006; Antonioli et al., in stampa).

Fra le varie faglie con andamento NNW-SSE rappresentate in numerose pubblicazioni, il recente lavoro di rianalisi ha documentato l'importanza della faglia Schio-Vicenza anche durante il Quaternario, mentre gran parte degli altri lineamenti con

simile andamento sembrano aver avuto una scarsa attività, che in genere non ha dislocato la base del Pleistocene (Tosi et al., 2007a).

Oltre alle deformazioni tettoniche, l'evoluzione plio-quaternaria è stata fortemente influenzata dall'evento Messiniano (circa 5 milioni di anni fa) che, in risposta all'abbassamento del livello del Mediterraneo, causò l'emersione dell'area e l'azione di notevoli processi erosivi fluviali. Questi portarono alla riorganizzazione del reticolo fluviale e diedero origine a molte delle principali valli alpine e delle maggiori depressioni esistenti nel substrato della pianura. Tali elementi hanno poi guidato la sedimentazione marina pliocenica e quella marina e alluvionale quaternaria.

## 2.2. I megafan alluvionali

L'aspetto della pianura veneto-friulana è fortemente legato all'evoluzione tardo pleistocenica e olocenica dei fiumi alpini Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta e Adige. Essi hanno infatti ripetutamente cambiato percorso a valle del loro sbocco montano interessando aree molto ampie, fino a coprire migliaia di km<sup>2</sup>. Si sono così formati sistemi sedimentari, allungati fino al mare, che in pianta presentano una morfologia a ventaglio, mentre nelle tre dimensioni possiedono una forma simile a un cono appiattito; tali sistemi, un tempo genericamente descritti come conoidi (ad es. Comel et al., 1982; Castiglioni, 1999; Castiglioni & Pellegrini, 2001), ora sono definiti come megafan alluvionali (Fontana et al., 2004; 2008; Mozzi, 2005; Fontana, 2006). Nel settore meridionale della provincia hanno svolto la loro azione i sistemi fluviali di Adige e Po che non hanno formato dei megafan, ma hanno costituito la pianura deltizia padana, in cui le pendenze sono quasi nulle.

Nell'area veneta e friulana, soprattutto a est del Naviglio Brenta, i diversi tratti di pianura costruiti dai maggiori fiumi sono ben distinguibili anche nella bassa pianura, dove i sedimenti sono essenzialmente fini e il gradiente topografico è compreso tra il 3-0,5%. La separazione tra i vari bacini deposizionali si fonda su dati geomorfologici, stratigrafici, pedologici e mineralogici (Bondesan & Meneghel, 2004; Fontana et al., 2004; ARPAV, 2005; Mozzi, 2005; Fontana, 2006). Nell'insieme, questi corpi sedimentari presentano quindi una evidente continuità spaziale dallo sbocco vallivo fino alle zone costiere e mostrano forme complessivamente "a ventaglio". Tuttavia, la loro notevole estensione areale, i limitati gradienti topografici presenti nella bassa pianura, la caratteristica selezione granulometrica dei sedimenti che da monte a valle passano da ghiaie a sabbie, limi e argille, li rendono piuttosto diversi dai classici conoidi alluvionali descritti in letteratura, caratterizzati invece solo da sedimenti grossolani (Bull, 1977; Kelly & Olsen, 1993; Stainstreet & McCarthy, 1993; Oguchi & Ohomori, 1994). Quindi, il termine "conoide", in senso stretto, descrive bene le porzioni prossimali di questi sistemi alluvionali, cioè l'alta pianura, ma è ambiguo nel definire l'intera struttura deposizionale. Pare invece più adeguato il raffronto con i cosiddetti megafan alluvionali descritti originariamente nell'area pede-himalayana. Infatti il settore pianiziale dell'Italia nord-

Tabella 2.1. Caratteristiche idrologiche e del bacino di drenaggio dei maggiori fiumi alpini della pianura veneto-friulana (da Surian e Rinaldi, 2003; Negrin e Stefani, 1974).

Fiume	Bacino (km <sup>2</sup> )	Lunghezza (km)	Quota massima del bacino (m)	Precipitazioni annue medie (mm/a)	Portata media annua (m <sup>3</sup> /s)	Portata di picco (m <sup>3</sup> /s)	Quota alveo allo sbocco in pianura (m)
Isonzo	3430	140	2760	1800	230	4400	65
Tagliamento	2580	172	2780	2150	109	4500	130
Piave	3899	222	3162	1330	132	4250	85
Brenta	1787	160	3079	1386	71	2810	130
Adige	11.954	410	3890	933	220	4000	100

orientale presenta varie similitudini con il sistema pede-Himalayano dove è stato introdotto per la prima volta il termine megafan. Tale vocabolo, traducibile in italiano come “megaconoide”, è correntemente utilizzato nella letteratura scientifica internazionale soprattutto nelle ricerche stratigrafiche, geomorfologiche e di geologia del Quaternario riguardanti le zone di avampaese delle catene a *thrust*, dove esistono sistemi deposizionali “a ventaglio” con estensione areale compresa tra 1000-50.000 km<sup>2</sup> (per una bibliografia specifica si veda Fontana, 2006; Fontana et al., 2008). Rispetto agli altri megafan descritti in letteratura, quelli della pianura veneto-friulana si distinguono per avere dimensioni relativamente piccole, essendo compresi tra 1000 e 2500 km<sup>2</sup>. Vi sono anche alcuni sistemi alluvionali, come quelli dei torrenti Cellina e Meduna, che si esauriscono nell’area pedemontana e sono costituiti da depositi ghiaiosi in tutto il loro sviluppo. Una situazione particolare è rappresentata dal sistema del Piave di Montebelluna che, pur presentando caratteristiche di “conoide”, costituisce in realtà il solo settore affiorante di un megafan la cui sezione distale è stata sepolta successivamente dai sedimenti del Brenta (Bondesan et al., 2002b; Mozzi, 2005). Esistono inoltre

dei sistemi composti, formati dall’azione combinata di più fiumi di una certa importanza, come nel caso dell’Isonzo-Torre e del Monticano-Cervada-Meschio e degli scaricatori glaciali dell’anfiteatro di Vittorio Veneto. Con alcune differenze tra il settore padano e quello veneto-friulano, altri megafan sono riconoscibili lungo tutto il versante alpino della pianura padana, pur se definiti “conoide alluvionali” in letteratura (Cremaschi, 1987; Guzzetti et al., 1997; Marchetti, 2001; Castiglioni & Pellegrini, 2001).

Nel sottosuolo sono probabilmente presenti in successione verticale diverse generazioni di megafan e fan-delta che potrebbero presentare forma, estensione, direzione media e valori di inclinazione anche molto differenti rispetto a quelli attualmente visibili in superficie. Dallo studio della distribuzione delle ghiaie nei primi 100 m del sottosuolo si può però notare la stabilità delle zone di apice, in genere coincidenti con i principali sbocchi vallivi attuali (Stefanini & Cucchi, 1977; Dal Prà et al., 1977).

Da notare, inoltre, che nella zona di interdigitazione tra i maggiori megafan esistono i più importanti corsi di risorgiva o di risorgenza carsica che con i loro sistemi hanno occupato quindi

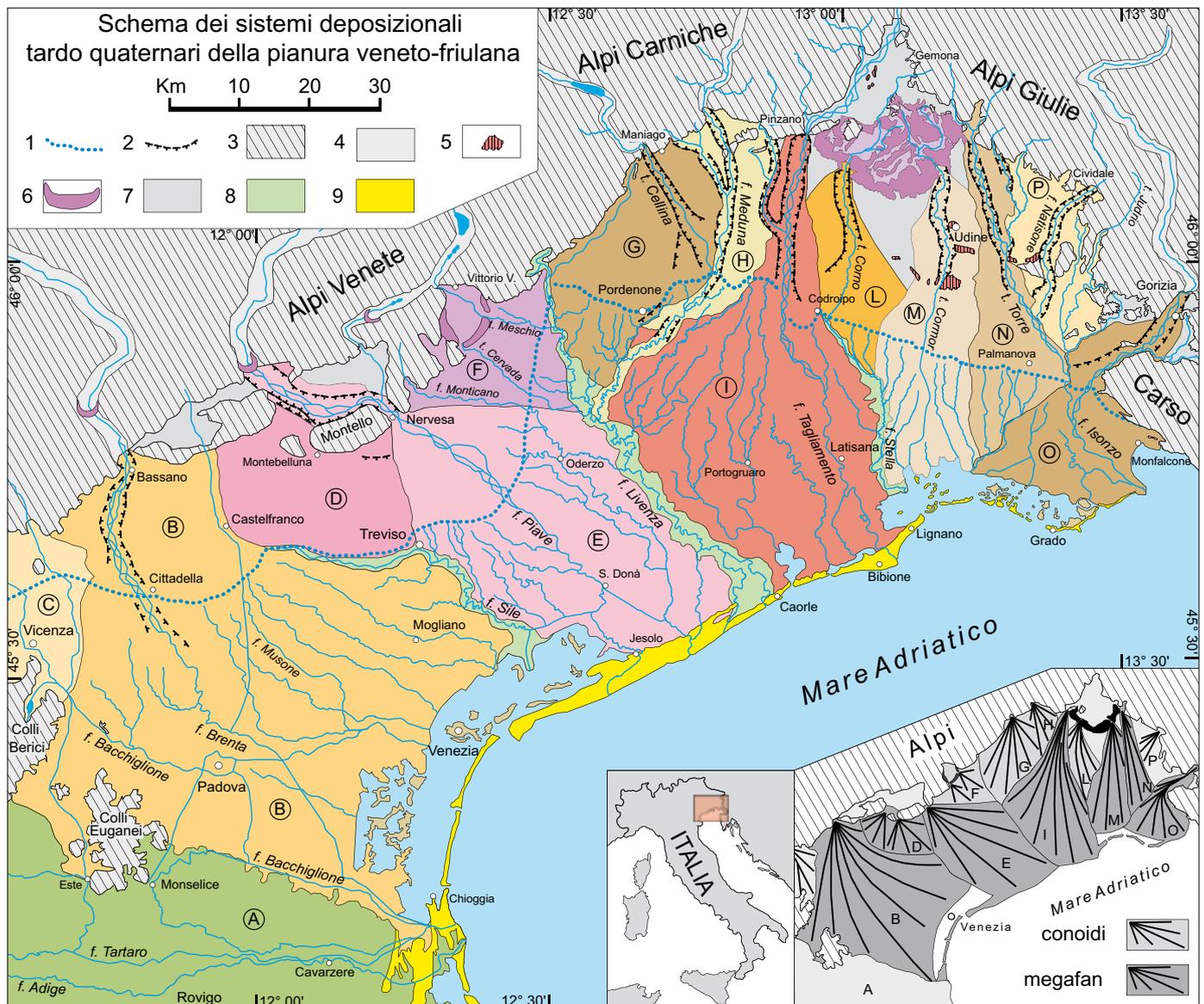


Fig. 2.2. Schema dei sistemi deposizionali tardo quaternari della pianura veneto-friulana (modificato da Fontana et al., 2008). Nel riquadro in basso a destra uno schizzo semplificato dei conoidi e megafan. Simboli: 1) limite superiore delle risorgive; 2) orlo di terrazzo fluviale; 3) aree montuose e 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 Monticano-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.

le aree depresse d'interfluvio. È questo il caso dei fiumi Stella (tra megafan di Cormor e Tagliamento), Livenza (tra megafan di Tagliamento e Piave), Sile (tra megafan di Piave e Brenta) e Bacchiglione (tra megafan del Brenta e piana dell'Adige).

### 2.2.1. Differenziazione longitudinale

I megafan alluvionali presentano una differenziazione interna sia in senso longitudinale al loro allungamento sia trasversalmente.

Nel complesso, le prime decine di chilometri di sviluppo dei megafan, dallo sbocco vallivo dei corsi d'acqua fino alla fascia delle risorgive, sono caratterizzate da depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi con pendenze comprese tra 7 e 2% e forme complessivamente assimilabili a quelle di conoidi alluvionali. Allontanandosi dal margine alpino, la diminuzione della capacità di trasporto dei corsi d'acqua ha impedito loro di veicolare sedimenti grossolani, consentendo il moto verso valle di sedimenti progressivamente più fini, che vanno a formare una pianura costituita da depositi di esondazione limoso-argillosi e da corpi di canale sabbiosi o, più raramente, ghiaiosi. Questi tratti distali dei megafan corrispondono alla cosiddetta "bassa pianura". Vi è, dunque, una netta soglia sedimentaria che limita le aree di deposizione delle diverse classi granulometriche. A questi settori corrispondono inoltre differenti tipi di alveo e di facies sedimentarie, con una dinamica di retroazione in cui la variazione di ogni parametro influenza gli altri (Miall, 1996). Tuttavia, procedendo dallo sbocco vallivo, i maggiori fiumi quali Tagliamento, Piave e Brenta presentano dapprima un letto ghiaioso molto largo a canali intrecciati aventi una profondità di 1-2 m; più a valle, in genere poco a sud della linea delle risorgive, l'alveo diviene monocursale, prima di tipo *wandering* o a isole fluviali e poi a meandri. In tale settore l'acqua scorre in un canale profondo vari metri, con un'ampia zona d'esondazione in cui il fiume deposita sedimenti fini; nel tratto terminale, l'alveo diviene pensile e si ha la formazione di dossi fluviali rilevati.

L'estensione e la morfologia dei megafan, assieme alla lunghezza dei tratti caratterizzati da alvei a canali intrecciati, hanno subito vari cambiamenti spaziali e temporali, in funzione del variare dei principali fattori che regolano il sistema sedimentario: clima, gradiente topografico, rapporto tra portata liquida e solida, posizione del livello di base. Di conseguenza, confrontando situazioni di fasi cronologiche diverse, si possono evidenziare alvei *braided* che procedono oltre la costa attuale e sedimenti grossolani posti ben al di sotto della loro attuale zona di sedimentazione. In Italia settentrionale, gran parte delle cause di cambiamento degli stili fluviali alla scala delle migliaia e decine di migliaia d'anni sono attribuibili a cambiamenti climatici, con conseguente variazione delle portate liquide e della quantità di sedimenti resi disponibili per il trasporto fluviale (Marchetti, 1990; 2001; Cremaschi & Marchetti, 1995; Castiglioni, 2001; Bondesan et al., 2002; Fontana et al., 2004; 2008; Fontana, 2006). In particolare, è stato durante il Pleistocene finale che si è verificata la maggior aggradazione, con formazione dell'attuale alta pianura e di buona parte di quella bassa (Castiglioni, 1999; 2001; Fontana et al., 2004; 2008; Mozzi, 2005; Fontana, 2006).

La differenziazione longitudinale della pianura ha condotto alla genesi di fasce fra loro distinguibili procedendo da monte verso valle. Gli eventuali cambiamenti di estensione dei diversi settori sono correlabili soprattutto con l'evoluzione dei cicli climatici o dei trend tettonici; in particolare, è la dinamica glacio-eustatica che con il suo influsso sui processi alluvionali e sulla posizione del livello marino può "spostare" la fascia delle risorgive e quella costiera, con importanti effetti sull'estensione delle diverse porzioni di pianura. Da queste considerazioni appare evidente che eventuali variazioni nella differenziazione longitudinale possono avvenire solo in tempi piuttosto lunghi se comparati alla scala umana, con cicli dell'ordine di  $10^3$ - $10^4$  anni.

### 2.2.2. Differenziazione trasversale

Un'altra importante differenziazione interna dei megafan alluvionali, ma anche dei conoidi, è dovuta al fatto che, in un certo periodo, un sistema fluviale è attivo solo in una limitata fascia, mentre il resto del megafan o del conoide non è interessato da nuove sedimentazioni. I terreni abbandonati sono quindi soggetti alla pedogenesi e alla formazione di bacini idrografici minori, come quelli dei fiumi di risorgiva o dei corsi a carattere temporaneo dell'alta pianura. Quindi, se complessivamente con la sua attività il fiume interessa tutto il suo sistema, per brevi periodi geologici (ad esempio gli ultimi 15.000 anni) vi possono essere alcune aree soggette a una intensa azione ed altre praticamente inattive. Tale dinamica rende possibile l'esistenza di settori appartenenti al medesimo megafan, talvolta tra loro adiacenti, ma con caratteristiche idrologiche, pedologiche e geomorfologiche anche molto diverse. Nella pianura veneto-friulana le differenze tra i vari "spicchi" del megafan sono spesso notevoli e la separazione più evidente è quella tra le aree pleistoceniche e quelle di età olocenica recente.

Diversamente da quella longitudinale, la differenziazione trasversale della pianura può essere soggetta a cambiamenti piuttosto rapidi e avvertibili anche a scala umana. Ne sono un esempio i fenomeni di avulsione fluviale che possono verificarsi anche nell'arco di pochi anni o addirittura istantaneamente. Osservando la documentazione geologica si è notato che, nella bassa pianura veneto-friulana, l'abbandono di una porzione del megafan in favore di un'altra nel post-LGM si è verificato con una periodicità di  $10^2$ - $10^3$  anni; quindi, dal punto di vista cronologico, la variabilità trasversale dei megafan è inferiore di uno o due ordini di grandezza rispetto alla variabilità longitudinale.

### 2.2.3. Megafan telescopici o compositi: fasi di aggradazione ed erosione

Per la dinamica che regola i processi sedimentari degli ambienti alluvionali e costieri, nell'evoluzione dei megafan sono in genere riconoscibili fasi di aggradazione e fasi di erosione. Spesso queste dinamiche differenti si sono alternate all'interno di cicli legati soprattutto a quelli climatici e glacio-eustatici, riconoscibili su scala planetaria; tuttavia, in qualche caso, i due opposti processi sedimentari possono essersi verificati contemporaneamente in megafan adiacenti o addirittura pos-

Tabella 2.2. Caratteristiche dei megafan alluvionali della pianura veneto-friulana (Fontana et al., 2008).

Sistema alluvionale	Bacino (km <sup>2</sup> )	Alluvial megafan (km <sup>2</sup> )	Lunghezza max (km)	Ampiezza max (km)	Quota alveo allo sbocco in pianura (m)	Quota max, terrazzo più elevato (m)	Gradiente topografico della porzione apicale (‰)
Tagliamento	2580	1200	65	40	130	155	7 - 4
Piave	3899	1050	55	35	85	100	5 - 3
Brenta	1787	2600	75	50	130	145	6 - 4

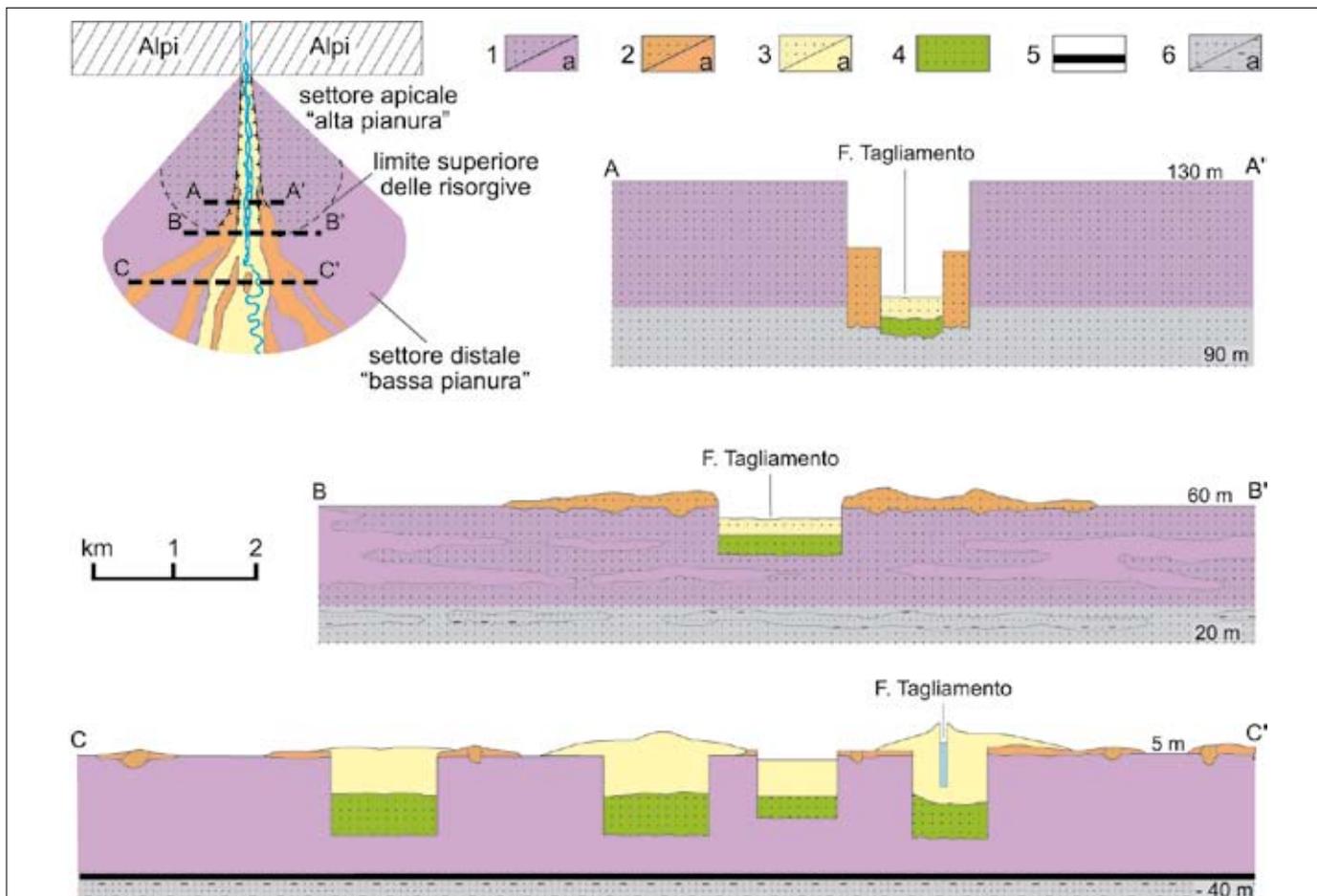


Fig. 2.3. Schema modellizzato del megafan telescopico del Tagliamento (Fontana, 2006). 1) ghiaie e sabbie LGM, a) limi argillosi; 2) ghiaie e sabbie della fine del LGM, a) limi argillosi; 3) ghiaie e sabbie post-LGM precedenti l'Olocene medio; a) limi argillosi; 4) ghiaie e sabbie medio oloceniche e attuali; 5) torbe e sedimenti organici; 6) depositi pre-LGM, a) depositi costieri e lagunari.

sono anche coesistere in diversi settori del medesimo corpo sedimentario. A scala locale, un esempio si può riscontrare nei megafan del Brenta e del Tagliamento dove i fiumi creano dossi nel settore attivo, mentre in quelli non interessati dall'azione dei corsi alpini i corsi di risorgiva rimodellano con piccole incisioni la pianura preesistente.

Complessivamente, pur esistendo alcune diversità nelle dimensioni e nella storia evolutiva, i megafan e i maggiori conoidi alluvionali della pianura veneto-friulana possono essere definiti compositi o polifasici, in quanto costituiti da più lobi deposizionali. Questi sistemi deposizionali vengono detti anche telescopici poiché formati da più lobi minori che s'innestano uno nell'altro assumendo dimensioni minori e con apice situato più a valle, passando da quelli più antichi a quelli più recenti (Comel, 1956; 1958).

### 2.3. Evoluzione della pianura dal Pleistocene superiore all'Olocene

Al momento non sembra possibile definire uno schema cronostratigrafico applicabile a tutti i sistemi alluvionali della pianura veneto-friulana, ma si può comunque individuare un'importante fase morfogenetica comune, legata alle fasi finali dell'ultima glaciazione. Infatti, com'è accaduto in tutta l'Italia nordorientale, anche la pianura ha subito una delle più importanti fasi evolutive durante l'Ultimo Massimo Glaciale (LGM dall'inglese Last Glacial Maximum; per una definizione si veda Orombelli et al., 2005), quando i ghiacciai alpini ebbero la massima espansione e alcuni arrivarono in pianura con le loro fronti. Le morfologie e i depositi formati durante quel periodo, compreso tra 30.000 e 17.000 anni fa circa, sono in

genere ancora ben evidenti in superficie o si trovano a debole profondità, sepolti dai sedimenti più recenti; questi ultimi, essendosi formati in condizioni climatiche differenti, vengono genericamente definiti come post-LGM (ultimi 17.000 anni circa) (fig. 2.4).

I dati riguardanti il pre-LGM (precedentemente a circa 30.000 anni fa) sono piuttosto scarsi e sono limitati ai pochi carotaggi stratigrafici che giungono ad almeno alcune decine di metri di profondità. In tutta la pianura compresa tra il Carso e l'Adige i sondaggi che consentono lo studio dei depositi situati a 50-100 m sotto la superficie sono circa una ventina e hanno consentito di campionare sedimenti databili fino a 150.000-200.000 anni fa, cioè risalenti alle fasi finali del Pleistocene medio. Le informazioni permettono di riconoscere alcuni importanti marker stratigrafici, ma l'evoluzione geologica può essere delineata solo sommariamente. L'unico tratto di pianura in cui depositi alluvionali precedenti all'ultimo massimo glaciale sono affioranti è quello compreso tra il Montello e l'area delle sorgenti del Sile, nell'alta pianura trevigiana (Bondesan et al., 2002; Mozzi, 2005). Tali sedimenti costituiscono il megafan di Montebelluna, costruito dal F. Piave quand'esso giungeva in pianura a ovest del Montello, attraverso i varchi di Cornuda e Biadene, invece che a est come accade attualmente. Date le notevoli dimensioni, è probabile che il megafan di Montebelluna si sia formato durante un periodo glaciale, forse la penultima glaciazione. Esso in realtà è formato da due sistemi affiancati e in parte sovrapposti corrispondenti ai relativi due sbocchi della collina di Biadene e di Montebelluna.

In questo testo, nel descrivere le fasi evolutive del tardo Pleistocene e dell'Olocene viene spesso usata la suddivisione cronologica degli stage isotopici dell'Ossigeno, abbreviati in MIS acronimo dell'inglese Marine Isotopic Stage (Martinson

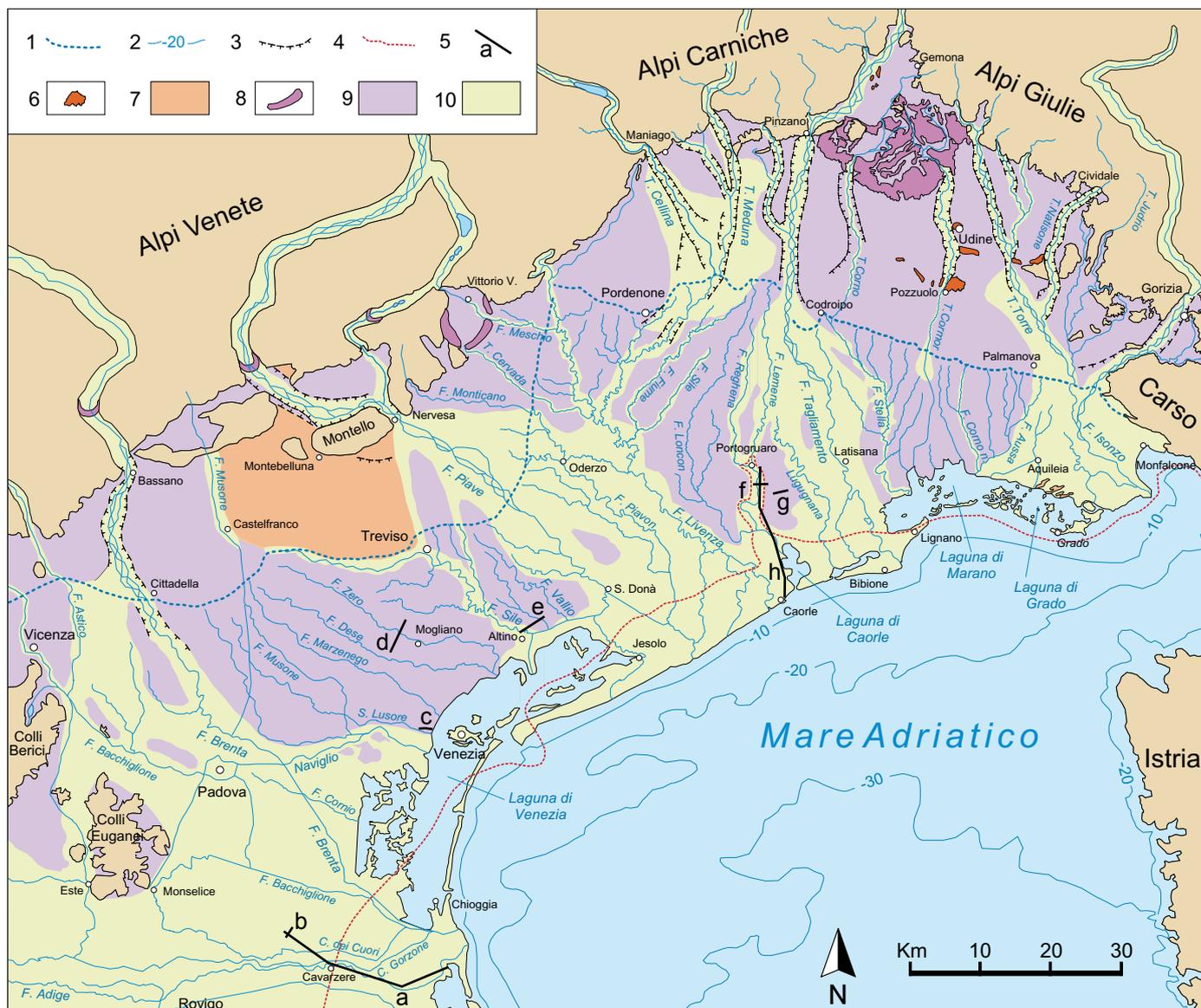


Fig. 2.4. Età delle superfici nella pianura veneto-friulana (modificato da Fontana et al., 2008). 1) limite superiore delle risorgive; 2) isobate; 3) orli terrazzo fluviale; 4) limite ipotetico della massima ingressione marina, circa 5000 a.C.; 5) traccia delle sezioni stratigrafiche riportate nel testo: a) fig. 2.6., b) fig. 2.7., c) fig. 2.8., d) fig. 2.9., e) fig. 2.10., f) fig. 2.12., g) fig. 2.13; 6) terrazzi tettonici; 7) pre-LGM; 8) apparati morenici del LGM; 9) LGM; 10) post-LGM.

et al., 1987). Questa scala cronologica, che ha validità globale, si basa sulla variazione del rapporto tra gli isotopi stabili dell'Ossigeno ( $\delta^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ) presenti nei gusci dei foraminiferi oceanici ed è un indicatore indiretto della passata temperatura del pianeta e quindi del paleoclima. I MIS sono indicati con numero progressivo a partire da 1, che coincide con l'Olocene, e possono essere suddivisi in substage; i MIS con numero dispari corrispondono a periodi più caldi (ad es. MIS 1, MIS 5.5) mentre quelli con numero pari a periodi più freddi, in cui si possono essere verificate le avanzate glaciali.

### 2.3.1. Pre-LGM (> 30.000 anni fa)

Durante il MIS 6 (166.000-132.000 anni fa) furono raggiunte condizioni climatiche pleniglaciali e i ghiacciai alpini fuoriuscirono dagli sbocchi vallivi; la pianura subì una notevole fase di sedimentazione che, per valori di aggradazione e architettura deposizionale, è confrontabile con quella verificatasi nel LGM. Dai pochi sondaggi che giungono a intercettare questi sedimenti, si desume che nel sottosuolo della bassa pianura veneto-friulana si tratti prevalentemente di depositi limosi e limoso-argillosi con sottili canali sabbiosi a geometria lentiforme (Kent et al., 2002; Carbognin & Tosi, 2003; Donnici

& Serandrei Barbero, 2004; Massari et al., 2004; Tosi et al., 2007a; 2007b; Bondesan et al., in stampa). Nel settore a est di Venezia questi sedimenti hanno uno spessore superiore a 25 m e il loro top stratigrafico si trova a 60-70 m di profondità, mentre più a ovest esso si approfondisce fino a 80-100 m. Al di sopra di essi, i sondaggi geognostici hanno individuato depositi di ambiente costiero e lagunare/deltizio appartenenti al MIS 5 (Müllenders et al., 1996; Kent et al., 2002; Tosi et al., 2007a; 2007b; Bondesan et al., in stampa) e più precisamente al sub-stage 5e o Tirreniano (132.000-116.000 anni BP). In tale periodo il livello marino raggiunse un'altezza massima di circa + 6 m slm attorno a 125.000 anni fa (Ferranti et al., 2006; Antonioli et al., in stampa) e, nell'attuale territorio della provincia, la fase di *high stand* marino consentì la formazione di sistemi lagunari e apparati deltizi. Secondo i nuovi dati il margine lagunare interno era spostato verso monte di alcuni chilometri rispetto a quello esistente prima delle bonifiche moderne; anche la linea di costa era relativamente più interna e nel sottosuolo dell'attuale area lagunare-costiera i depositi di quell'epoca sono caratterizzati da facies di *shore-face* e prodelta; si tratta di alternanze decimetriche di sabbie e sabbie limose con talvolta abbondanti resti di conchiglie marine; al tetto delle sequenze costiere vi sono in genere depositi

in facies deltizia o lagunare (Kent et al., 2002; Massari et al., 2004; Müllenders et al., 1996; Donnici & Serandrei Barbero, 2004; Tosi et al., 2007a; 2007b; Bondesan et al., in stampa). Con la fine del Tirreniano si verificò una fase fredda (MIS 5d) che viene ritenuta l'inizio del cosiddetto periodo Würmiano (116.000-11.500 anni fa), che durò fino alla fine del Tardoglaciale (Chaline & Jertz, 1984; Orombelli et al., 2005); il termine Würm attualmente è poco utilizzato nella letteratura internazionale per i problemi di divisione cronologica che ha innescato. Dopo il Tirreniano vi sono state 2 fasi fredde (MIS 5d e 5b) cui si sono alternate altrettante relativamente calde (5c e 5a); in queste ultime il livello marino arrivò a circa -20 m s.l.m. (Antonoli et al., 2004) e, soprattutto nel settore più meridionale della provincia, è possibile che abbia consentito la deposizione di sedimenti costiero-lagunari, come verificatosi in Romagna (Amorosi et al., 2004; Antonoli et al., in stampa). Attorno a circa 80.000 anni fa si verificò la transizione tra MIS 5 e MIS 4, cioè da condizioni climatiche mediamente più calde a mediamente più fredde; su gran parte della bassa pianura veneta e friulana la deposizione rimase molto scarsa o quasi assente per un tempo piuttosto prolungato che, probabilmente, nella bassa pianura veneto-friulana è durato fino a circa 35-30.000 anni fa e comprende quindi sia il MIS 4 che il MIS 3. Nel settore orientale della provincia, fino alla longitudine di Venezia, tale *hiatus* sedimentario è rappresentato da alcuni orizzonti di torbe che, tra Livenza e Tagliamento, hanno una potenza di 1,5-3 m che tende a diminuire verso monte, fino a coincidere con un suolo individuato nel sondaggio Azzano del foglio San Vito al Tagliamento (Fontana, 2006; Zanferrari et al., 2008; Monegato et al., 2007). Tale chiusura verso monte è forse un effetto del maggior gradiente topografico che, aumentando verso nord, limitava la stagnazione delle acque in superficie e quindi la possibilità di accumulo di materiale vegetale indecomposto. Si tratta di depositi di ambiente palustre in cui l'analisi pollinica evidenzia flore temperate e mai calde, a testimonianza delle condizioni di relativo clima freddo in cui si deposero (Bondesan et al., in stampa). Al momento le datazioni però non consentono ancora di definire se le torbe coprono tutto l'intervallo di tempo tra circa 80.000 e 30.000 anni o solo l'ultima parte di esso. Uno *hiatus* deposizionale probabilmente coincidente con quello sopra descritto è stato individuato presso il limite orientale della laguna di Venezia (Canali et al., 2007), nel sondaggio VE01 presso il Tronchetto di Venezia (Müllenders et al., 1996) e nella zona di Valle Averto (Donnici e Serandrei Barbero, 2004). Nel settore più meridionale della provincia i dati diretti sono pochi, ma è ipotizzabile che le altezze a cui si trovano i depositi marini del MIS 5.5 siano più basse; in particolare, sotto il delta padano si trovano a circa -120 m (Amorosi et al., 2004; Ferranti et al., 2006; Tosi et al., 2007b).

Nel settore orientale della provincia, sopra le torbe nei carotaggi sono stati incontrati pochi metri di depositi sabbiosi e limosi al cui tetto in vari carotaggi è stato individuato un suolo con caratteri ben evoluti che rappresenta un'altra stasi della sedimentazione della durata di alcune migliaia di anni. Tale suolo sepolto si trova a profondità variabili tra 30-35 m e le datazioni della parte sommitale o dei sedimenti situati immediatamente al di sopra di esso corrispondono a 26.000-22.000 anni BP non calibrati, cioè alla base dei depositi del LGM (Bondesan et al., in stampa).

Come già accennato, precedentemente al LGM era attivo il megafan di Montebelluna (fig. 2.2) e quindi il Piave giungeva in pianura a occidente del Montello. Nella bassa pianura il megafan di Montebelluna è stato sepolto da quelli di Nervesa e del Brenta, che si sono sviluppati durante il LGM. L'esistenza del sistema di Montebelluna nel sottosuolo della bassa pianura è dimostrata dalla presenza delle sue ghiaie sotto i depositi fini del tratto distale del megafan del Brenta e di Nervesa (Bondesan et al., 2002; Mozzi, 2005); la base dell'intervallo argilloso sovrastante i sedimenti ghiaiosi attribuiti al megafan di Montebelluna è stato datato a 32.000 anni BP presso Candèlù (TV) (Fontes et al., 1973).

Il Tagliamento, prima del LGM, aveva il suo sbocco in pianura

più a est di quello attuale che venne attivato durante l'ultima avanzata glaciale mentre prima era sfruttato dal torrente Arzino (Paiero & Monegato, 2003; Venturini, 2003).

### 2.3.2 LGM

Pur essendo disposta lungo la fascia costiera e comprendendo importanti apparati deltizi e costieri olocenici, estese porzioni della provincia di Venezia sono costituite da sedimenti depositati durante l'Ultimo Massimo Glaciale. Tale periodo (30.000 - 17.000 anni fa) è una tra le fasi più importanti nell'evoluzione geologica del nord-est italiano e corrisponde all'ultima avanzata glaciale pleistocenica, durante la quale enormi ghiacciai occuparono le principali valli alpine e con le loro fronti giunsero in pianura o in prossimità di essa (Castiglioni, 2004; Monegato et al., 2007; Fontana et al., 2008). Durante il LGM le condizioni ambientali glaciali e periglaciali favorirono una notevole produzione di detriti nell'area alpina e prealpina; inoltre, il movimento dei ghiacciai garantiva un efficace trasporto dei sedimenti fino alle fronti glaciali, alimentando poi i sistemi fluvioglaciali con una notevole portata liquida e solida. L'abbondante sedimentazione favorì un rapido e diffuso sviluppo areale e verticale dei megafan alluvionali che, proprio nel LGM, raggiunsero la loro massima estensione areale e subirono una notevole fase deposizionale (aggradazione) su tutta la superficie della pianura (Fontana et al., 2008). Questa fase di sedimentazione interessò tutto il versante della pianura padana, su cui si affacciavano i grandi ghiacciai alpini ed è proprio durante il LGM che nella pianura lombarda venne formato il cosiddetto "livello fondamentale della pianura" (Cremaschi, 1987; Marchetti, 1990).

Lo spessore di sedimenti depositi durante il LGM è in genere superiore a 15 m su tutta la pianura e può raggiungere un massimo di 25-30 m, come documentato nel megafan del Tagliamento (unità di Meolo e Lison) poco a valle della fascia delle risorgive e nel megafan del Brenta nella zona di Mestre e Marghera (unità di Mestre) (fig. 2.6 e 2.7).

Per effetto della fase di stazionamento basso del mare, la sedimentazione fluviale si estese nella piattaforma Adriatica; i depositi del LGM sono infatti affioranti su ampie porzioni del fondale marino al di sotto delle batimetriche dei 13-20 m, cioè oltre la fascia in cui sono presenti i delta olocenici. Nell'Adriatico settentrionale, strati di torbe centimetriche, datati tra 20.000 e 18.000 anni BP, sono spesso presenti sotto pochi decimetri di depositi marini, separati da essi da una superficie di *ravinement* (Correggiari et al., 1996; Gordini et al., 2002).

Questa rapida e significativa aggradazione contrasta notevolmente con l'evoluzione che dovrebbero subire le pianure nei periodi glaciali secondo i classici modelli di stratigrafia sequenziale (ad es. Blum & Törnqvist, 2000). Infatti, in quasi tutte le pianure costiere del mondo, la fase di caduta del livello marino e lo stazionamento basso pleniglaciale fecero scendere il mare al di sotto della scarpata continentale che margina le coste oceaniche, innescando una profonda erosione delle pianure retrostanti (Blum & Törnqvist, 2000). Per quelle zone il livello eustatico esercitò quindi un importante ruolo anche durante il LGM e nell'evoluzione dei sistemi alluvionali possiamo riconoscere un controllo "da mare".

L'Adriatico, invece, durante l'acme glaciale si ritirò nella depressione esistente nella sua parte centrale, a oltre 400 km di distanza dalle attuali coste veneto-friulane, lasciando in condizioni di pianura continentale il precedente fondale marino (Cattaneo & Trincardi, 1999). Probabilmente, il bassissimo gradiente topografico che caratterizzava i territori emersi assorbì gli effetti dell'abbassamento eustatico pleniglaciale, impedendo che esso inneschasse l'incisione fino nelle zone considerate. Nella pianura veneto-friulana si poté così attuare l'aggradazione sedimentaria alimentata dai bacini montani glacializzati e, quindi, i sistemi alluvionali subirono un controllo "da monte" (Fontana et al., 2004; 2008).

Gli apici dei megafan di Brenta e Piave erano posizionati allo sbocco delle valli alpine e distavano tra 10 e 20 km dalle morene frontali dei ghiacciai. Il megafan del Tagliamento, invece,

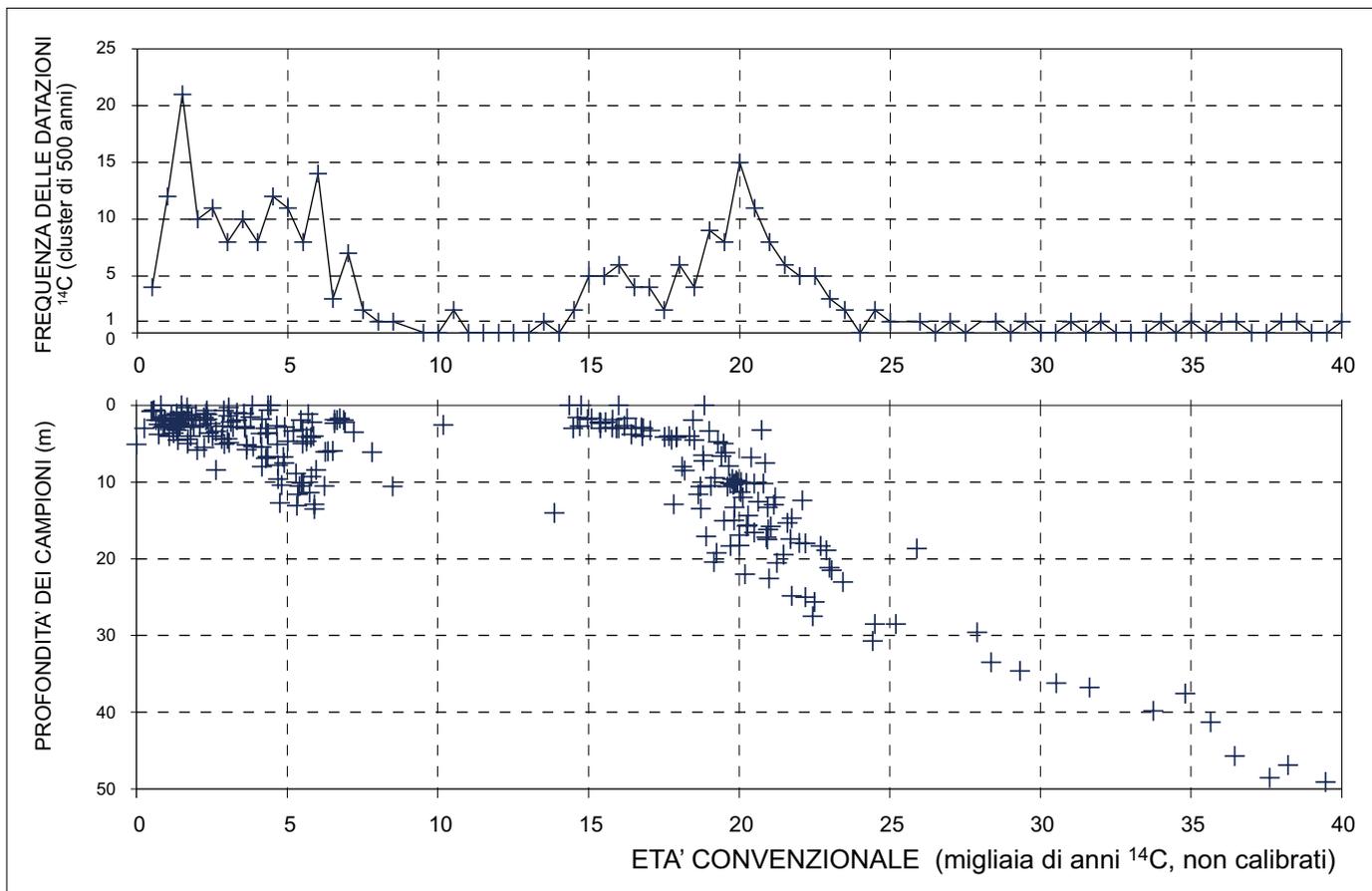


Fig. 2.5. Diagramma di 250 datazioni  $^{14}\text{C}$  realizzate su livelli organici delle sequenze alluvionali della pianura veneto-friulana (Fontana et al., 2008). Sopra: frequenza delle datazioni raggruppate in cluster di 500 anni; sotto: profondità / età. Le datazioni sono espresse in anni  $^{14}\text{C}$  ka BP non calibrati.

aveva il suo apice in una forra situata al limite occidentale dell'anfiteatro morenico LGM e, quindi, all'epoca era direttamente connesso al ghiacciaio e funzionava come il suo maggior scaricatore glaciale. Nel LGM la porzione attiva del megafan del Brenta raggiungeva i 2500 km<sup>2</sup> circa e quest'area è confrontabile con quella raggiunta dall'intera pianura alimentata dal ghiacciaio del Tagliamento (2300 km<sup>2</sup>), ma è il doppio dell'estensione del megafan del Tagliamento in senso stretto (1200 km<sup>2</sup>). Tale assetto è spiegato dal fatto che il megafan del Tagliamento era solo uno dei quattro scaricatori alimentati dal ghiacciaio, mentre gli altri corrispondono ai megafan di Torre, Cormor e Corno. Diversamente, la valle del Brenta faceva confluire tutte le acque di fusione dal ghiacciaio ad un unico sistema fluviale. Il megafan del Piave era anche esso una porzione (1100 km<sup>2</sup>) dell'intero sistema fluvioglaciale del ghiacciaio del Piave, mentre le rimanenti erano rappresentate dal *sandur* dell'anfiteatro morenico di Vittorio Veneto (250 km<sup>2</sup>). Di conseguenza, la piana fluvioglaciale del Piave era corrispondente alla metà circa di quelle alimentate dai ghiacciai di Brenta e Tagliamento (Fontana et al., 2008). È da evidenziare che il Brenta, attualmente alimentato da un bacino notevolmente inferiore rispetto a quello degli altri fiumi alpini veneto-friulani, durante il LGM riceveva le transfluenze glaciali provenienti dall'esteso bacino dell'Adige, che garantivano quindi una sovra-alimentazione della fronte glaciale che giungeva a Bassano (Castiglioni, 1940; Mozzi, 2005).

I settori apicali e distali dei megafan alluvionali formati durante il LGM erano ben differenziati. Nella porzione prossimale sia le tracce paleoidrografiche desunte dal telerilevamento che la stratigrafia dei depositi ghiaiosi indicano che i fiumi avevano una tipologia *braided*. Essi trasportavano ghiaie e blocchi, ma la loro capacità di trasporto calava rapidamente verso valle e i corsi abbandonavano gran parte del loro carico sedimentario

entro 15-25 km dall'apice del sistema. Più a valle non sono presenti ghiaie nei depositi del LGM e i canali fluviali sono costituiti da sabbie. Nei settori distali del lobo pleistocenico del megafan del Brenta c'è evidenza di una selezione longitudinale – da monte a valle – sia delle sabbie di canale che dei depositi fini di *overbank*. Infatti, in 15 km i primi passano dalle sabbie grossolane con ciottoli alle sabbie fini, mentre la percentuale di argilla aumenta dal 20% al 40% (Ragazzi et al., 2004).

Nel settore distale, al di sotto del limite inferiore delle risorgive, le tracce fluviali sono tipicamente costituite da alvei con pochi canali o canale singolo poco sinuoso; alcune volte si riconoscono le tracce di isole fluviali che indicano la presenza di tipologie *wandering*. I canali fluviali erano leggermente rilevati, generando dossi alluvionali che si elevavano di 1-3 m rispetto alla piana circostante, larghi tra 50 e 200 m.

Nella bassa pianura la superficie databile al LGM è costituita da bassi dossi separati fra loro da estese piane di esondazione argilloso limose. Nei carotaggi le facies sedimentarie sono caratterizzate da alternanze decimetriche di limi argillosi, limi e limi sabbiosi con laminazione piana; i corpi di canale sono formati da sabbie fini e medie e hanno quasi sempre uno spessore inferiore a 1 m, che talvolta può raggiungere i 2-3 m; l'estensione laterale di tali corpi è limitata ed essi sono scarsamente interconnessi fra loro, separati da sedimenti argilloso limosi. Questa situazione è ritenuta essere un indizio di un sistema dominato dalle avulsioni, in quanto un'eventuale migrazione laterale di meandri avrebbe lasciato come depositi dei corpi tabulari di sabbie notevolmente estesi piuttosto che canali separati (Miall, 1996; Berendsen & Stouthamer, 2001). L'assetto appena descritto è tipico del megafan del Piave (Bondesan et al., 2004) e del Tagliamento (Fontana, 2006; Fontana et al., 2008), mentre nel sottosuolo di Mestre

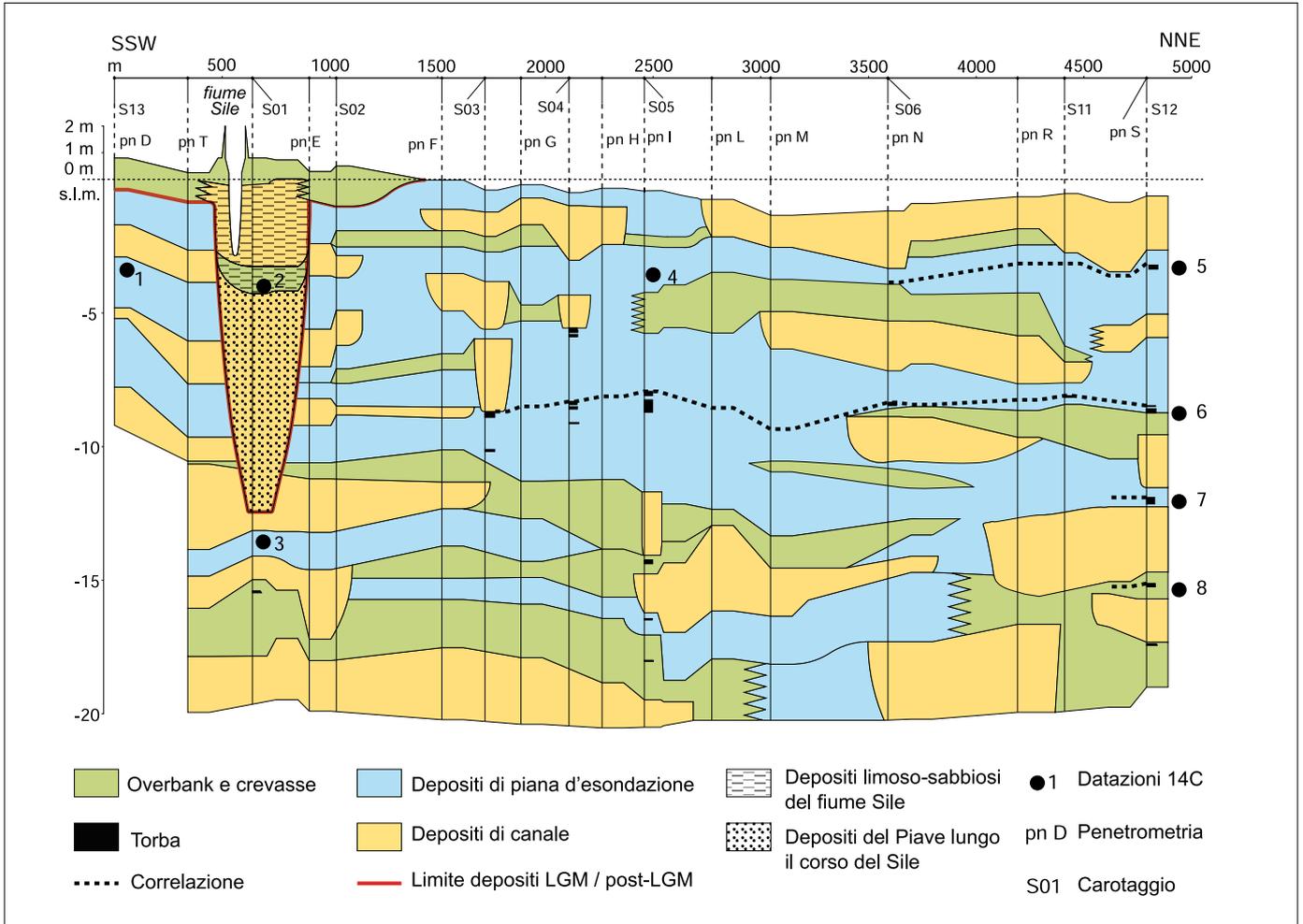


Fig. 2.6. Sezione stratigrafica dell'area di Ca' Tron, settore distale del megafan del Piave (cfr. unità di Meolo a pag. 85; vedi fig. 2.4. per ubicazione); (modificato da Bondesan et al., 2004). Le datazioni sono espresse in anni convenzionali <sup>14</sup>C BP non calibrati. 1) 17.530±120; 2) 3650±40; 3) 20.300±220; 4) 16.190±50; 5) 17.920±130; 6) 19.770±140; 7) 21.150±190 8) 20.970±140.

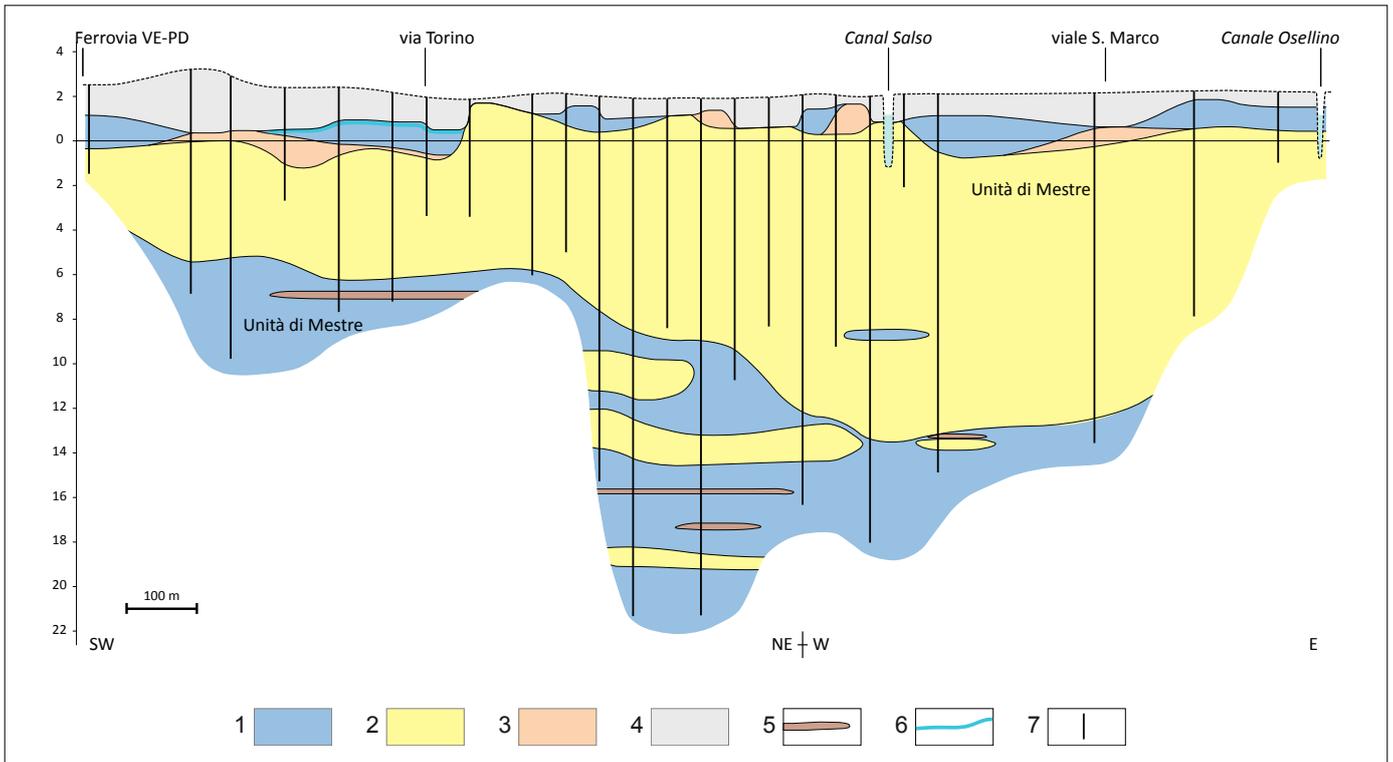


Fig. 2.7. Sezione stratigrafica dell'area di Mestre (Mozzi & Primon, in questo volume pag. 107); per l'ubicazione si veda la fig. 2.4. Legenda: 1) depositi di piana erosione; 2) depositi di canale; 3) depositi di argine naturale; 4) depositi antropici; 5) torbe; 6) limite Pleistocene-Olocene; 7) sondaggio stratigrafico.

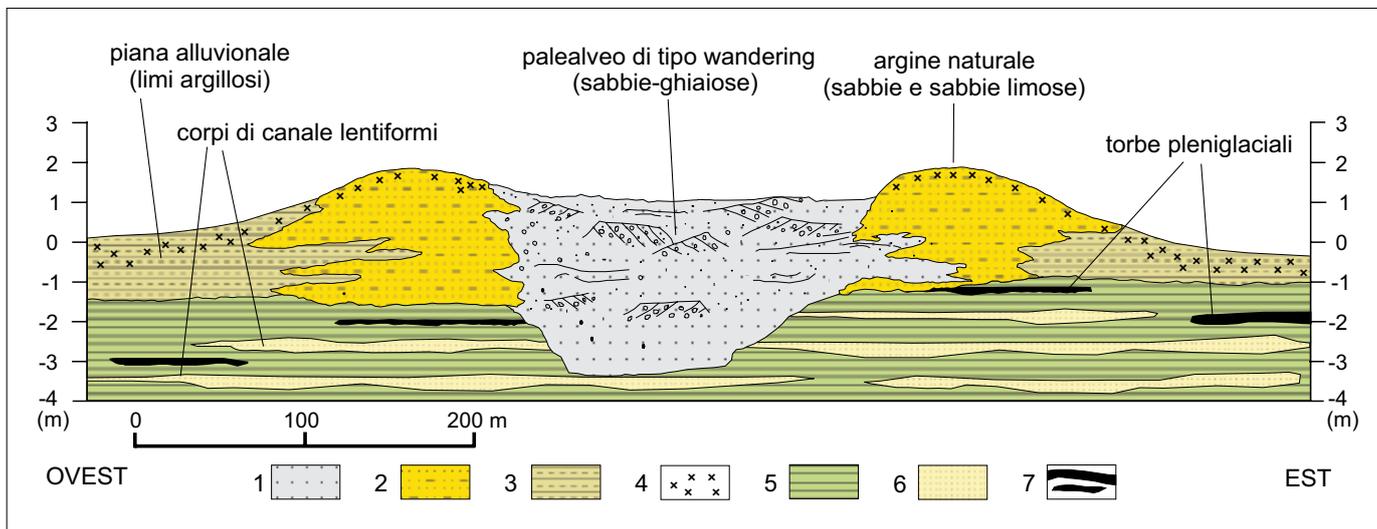


Fig. 2.8. - Sezione stratigrafica schematica di un dosso dei megafan del Tagliamento e del Cormor, databile alla fine del LGM; per ubicazione si veda fig. 2.4. (Fontana et al., 2004). Legenda: 1) alveo con sabbie ghiaiose disposte in stratificazione incrociata tabulare e con strutture di erosione e riempimento, frequenti ciottoli di fango; 2) argini naturali sabbiosi limosi con presenza di suoli evoluti, spesso con rubefazione incipiente; 3) piana alluvionale distale limoso argillosa con laminazioni pluricentriche e presenza di suoli calcici con caratteri idromorfi; 4) concrezioni e croste carbonatiche; 5) piana alluvionale pleniglaciale argillosa limosa con laminazioni millimetriche, frammenti di vegetali e gasteropodi; 6) corpi di canale sabbiosi lentiformi con potenza decimetrica, presenza di laminazione parallela; 7) depositi organici, torbe e limi organici di età pleniglaciale.

e di Venezia, formato dal megafan del Brenta, sono presenti corpi sabbiosi con spessori particolarmente sviluppati, che possono arrivare anche a 10-15 m (Mozzi & Primon, in questo volume). Questa situazione è particolarmente ben documentata nell'area di Marghera dove sono disponibili centinaia di carotaggi che attraversano i depositi dell'LGM.

Nella carta delle unità geologiche i depositi del LGM corrispondono all'unità di Mestre nel megafan del Brenta e all'unità di Meolo nel megafan del Piave; nel megafan del Tagliamento essi sono compresi nell'unità di Lison per la maggior fase del LGM e in quella di Torresella per la fase terminale. Nel sistema dell'Adige-Po i sedimenti LGM non sono affioranti all'interno del territorio provinciale.

In bassa pianura, nelle sequenze pleniglaciali si trovano frequenti livelli torbosi e limosi organici di spessore pluricentrico, con una continuità laterale che può raggiungere vari chilometri (Bondesan et al., 2002b; 2002c; Miola et al., 2003; 2006). La presenza delle torbe testimonierebbe limitati momenti di stasi sedimentaria, in aree dove l'affioramento della falda freatica portava alla formazione di bacini palustri e all'accumulo di sostanza vegetale (Bondesan et al., 2002b; Miola et al., 2003; 2006). L'assenza di sedimentazione è da attribuirsi alla momentanea lontananza degli apporti sedimentari, spiegabile con la dinamica interna dei megafan alluvionali, che non sono attivi contemporaneamente su tutta la loro superficie, ma sedimentano solo in alcuni settori per poi spostarsi in altri. Tali orizzonti organici, che sono stati riconosciuti dall'Isonzo all'Adige, presentano un'età radiometrica compresa in genere tra 24.000-14.500 BP e più comunemente tra 22.000-18.000 BP, corrispondente all'acme LGM. Le analisi polliniche condotte su numerosi campioni datati evidenziano flore tipiche di clima freddo e secco, compatibili con ambienti di steppa (Marocco, 1991; Bondesan et al., 2002b; Miola et al., 2003; 2006; Bondesan et al., 2002c; Monegato et al., 2007). Nel diagramma rappresentato in fig. 2.5 quasi tutte le datazioni al radiocarbonio con età LGM sono state condotte su questo tipo di orizzonti.

Tra 18.000 e 14.500 anni BP (20.000-17.000 anni fa) ebbe inizio la fase di deglaciazione nelle aree alpine (Pellegriani et al., 2005; 2006), con il conseguente abbandono delle cerchie moreniche più esterne degli anfiteatri (Feruglio, 1925; Comel, 1950; 1958a; Orombelli & Ravazzi, 1996; Hinderer, 2001; Zanferrari et al., 2007a; Orombelli et al., 2005; Monegato et

al., 2007). Nel caso dell'anfiteatro del Tagliamento, in questa fase finale del LGM, definito anche "periodo cataglaciale", si verificò la formazione di argini morenici più interni rispetto a quelli della massima espansione "pleniglaciale" (Zanferrari et al., 2007a; Monegato et al., 2007). Nello stesso periodo, nella pianura friulana il Tagliamento, il Cormor e il Corno di San Daniele si approfondirono nel tratto apicale dei loro megafan rispettivamente fino all'altezza di Valvasone, Mereto di Tomba e Pozzuolo del Friuli (Comel, 1958). Venne quindi terrazzata parte dell'alta pianura, mentre più a valle le incisioni sfumavano progressivamente fino a scomparire e i sedimenti fluviali della fase cataglaciale si depositavano al di sopra della pianura pleniglaciale e costituivano anche dossi rilevati. Si sono creati così lobi telescopici dei megafan, in cui l'apice del cono cataglaciale è incastrato nei depositi di quello pleniglaciale. Il terrazzamento dell'alta pianura friulana, oltre a fornire materiale grossolano per effetto dell'erosione laterale nell'alta pianura, confinò le acque degli scaricatori all'interno di strette incisioni, concentrando quindi il flusso idraulico e aumentando di conseguenza la capacità di trasporto della corrente fluviale. Per tale motivo, i dossi fluviali che si formarono in bassa pianura furono caratterizzati dalla presenza di ghiaie e sabbie-ghiaiose, che si ritrovano fino alla laguna attuale, al contrario di quanto accadeva nel pleniglaciale, quando le ghiaie non superavano la fascia delle risorgive. Nella bassa pianura durante il ritiro del ghiacciaio, il Tagliamento ha sedimentato su di un'area molto estesa e, infatti, a est del Livenza sono presenti numerose tracce di paleoalvei ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi riferibili a quel periodo, spesso ben riconoscibili dalle ultime propaggini dell'alta pianura fino alla frangia lagunare. Nella carta delle unità geologiche questi depositi sono definiti unità di Torresella. Nel primo settore della bassa pianura i paleoalvei sono di tipo *braided* ghiaiosi, con clasti mediamente di 2-4 cm e, subito a sud del limite inferiore delle risorgive, i canali sono leggermente incisi rispetto ai banchi limoso-argillosi pleniglaciali, ma la loro posizione depressa non è quasi percepibile. Invece, più a valle del limite inferiore delle risorgive e fino alla costa attuale, i paleoalvei divengono monocursali e hanno sviluppato dei dossi fluviali, che sepelliscono i depositi pleniglaciali e si elevano anche di 2 m su di essi. A sud del limite inferiore delle risorgive gli alvei sono monocursali, sono compresi tra *natural levees* sabbioso-limosi e, procedendo verso valle, assumono sempre di più

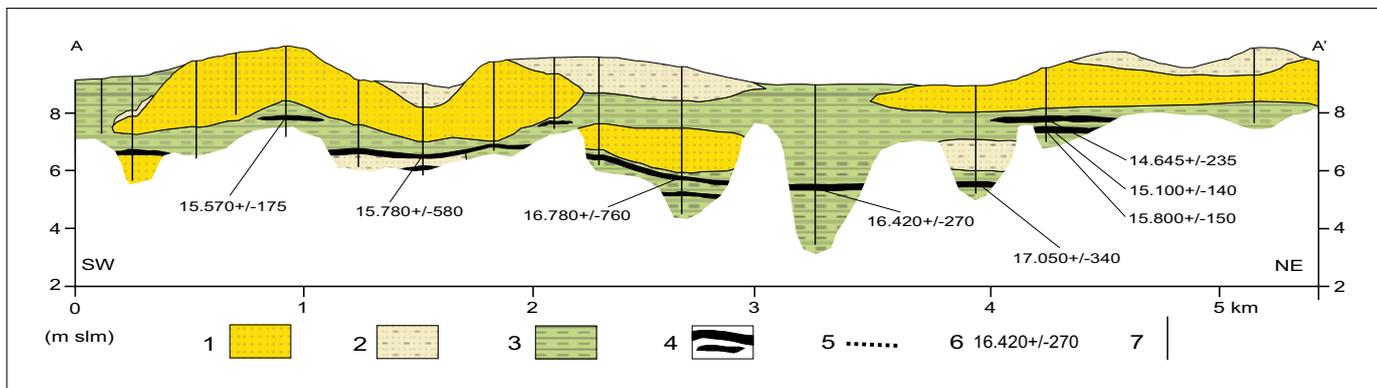


Fig. 2.9. Profilo stratigrafico del tratto distale del megafan del Brenta (per l'ubicazione si veda fig. 2.4.) (Fontana et al., 2004).  
 Legenda: 1) depositi di canale (sabbie da fini a grossolane, spesso in sequenze positive, con stratificazione interna millimetrica e centimetrica, parallela e incrociata); 2) depositi di tracimazione prossimali (alternanze millimetriche e centimetriche di sabbie fini limose e limi, comuni *ripples* negli strati più spessi e grossolani); 3) depositi di tracimazione distale (argille, argille limose e limi argillosi, con laminazione millimetrica parallela, spesso contenenti gasteropodi, radici, resti di vegetazione palustre); 4) depositi organici (torbe e argille organiche); 5) correlazione stratigrafica degli orizzonti organici; 6) campioni con datazione  $^{14}\text{C}$ ; 7) sondaggio stratigrafico.

Le caratteristiche di tipo *wandering*, con un andamento a larghi meandri poco sinuosi. I depositi di canale sono ghiaioso sabbiosi e sono potenti 3-4 m, mentre i sedimenti di pianura alluvionale ad essi correlata arrivano a 1-3 m di spessore. I dossi hanno una larghezza di 200-300 m e possiedono una pendenza compresa tra 1,2 e 0,8‰, confrontabile con quella della loro piana alluvionale. Gli alvei sono larghi 60-100 m e sono caratterizzati da strutture sedimentarie tipiche dei fiumi con portata variabile: depositi ghiaioso-sabbiosi con stratificazione incrociata tabulare, presenza di ciottoli di fango (*clay chip*), strutture di erosione e riempimento (*scour and fill*) e talvolta superfici di riattivazione. Inoltre, i canali sono riempiti totalmente da ghiaie o sabbie ghiaiose mentre mancano sempre sequenze di abbandono o di canali residuali con eventuali orizzonti organici o resti vegetali da poter eventualmente datare col metodo del radiocarbonio.

Si sottolinea il fatto che questi dossi dell'area friulana sono aggradanti sulla pianura e sono ghiaiosi, mentre nel sottosuolo le ghiaie sono completamente assenti nei sedimenti pleniglaciali poco più antichi. Per il Tagliamento, anche se le datazioni sono poche, sembra che gli ultimi eventi deposizionali riconducibili alla fase cataglaciata siano databili tra 15.000-14.500 BP.

Le informazioni cronologiche riguardanti il ritiro dei ghiacciai di Piave, Brenta e Isonzo sono confrontabili con quelle del Tagliamento; infatti, nell'anfiteatro morenico del Piave di Vittorio Veneto, la cerchia morenica più esterna è stata datata a  $17.670 \pm 320$  BP (Bondesan, 1999) mentre, già  $14.370 \pm 115$  BP, il ghiacciaio si era ritirato più a monte della valle di Revine (TV) (Casadoro et al., 1976), stazionando tra Feltre e Belluno attorno a 13.500 BP (Pellegrini et al., 2005). È interessante notare che nel settore distale del megafan del Piave di Nervesa, presso l'area di Ca' Tron di Roncade (TV), la data più recente relativa all'aggradazione pleistocenica della pianura, a 2,5 m di profondità, risale al  $16.190 \pm 50$  BP, e ricade quindi proprio all'interno del periodo di arretramento del ghiacciaio del Piave (Bondesan et al., 2004). Come descritto precedentemente, nell'alta pianura del Piave non si hanno evidenti terrazzamenti della superficie pleistocenica; questa differenza rispetto ai megafan di Tagliamento e Brenta può essere spiegata dal gradiente topografico meno elevato che caratterizza la superficie LGM del Piave; tale fiume infatti ha il suo sbocco vallivo 50 m più in basso rispetto agli altri due fiumi alpini (Fontana et al., 2008).

Anche per il megafan del Brenta le date relative all'ultima grande fase di aggradazione pleistocenica sembrano coincidere con questo periodo. In particolare, per la bassa pianura del Brenta sono disponibili numerose datazioni effettuate su

campioni situati tra 1,5 e 4 m di profondità, tutte comprese tra  $14.645 \pm 235$  BP e  $17.050 \pm 340$  BP (Bondesan et al., 2002b; 2004a; 2004b; Mozzi, 2005). Nel megafan del Brenta non è riconoscibile una incisione dell'apice durante il cataglaciata, anche se il tasso di crescita verticale sembra essere stato significativamente minore rispetto a quello che ha caratterizzato invece il pleniglaciata tra 24.000-18.000 anni BP (Mozzi, 2005). L'incisione dell'apice avvenne nel Tardoglaciata e portò alla disattivazione dell'intera superficie dell'alta e bassa pianura, anche all'interno dell'area compresa tra Colli Euganei e Berici, dove l'aggradazione era continuata fino a 14.500 anni  $^{14}\text{C}$  BP circa (Mozzi, 2005; Fontana et al., 2008).

È interessante notare che i conoidi dei torrenti Cellina e Meduna, nonostante la vicinanza al sistema del Tagliamento, sono stati caratterizzati da una estesa aggradazione, simile a quella pleniglaciata, fino allo Younger Dryas (9.500 a.C) e solo l'inizio dell'Olocene si ebbe una rapida e profonda incisione (Avigliano et al., 2002a; 2002b).

### 2.3.3. Post-LGM (ultimi 17.000 anni)

#### 2.3.3.1. Stasi sedimentaria e formazione delle incisioni fluviali

Se durante il LGM l'evoluzione della bassa pianura venne essenzialmente controllata dai sistemi fluvio-glaciali e fluviali, nel post-LGM essa fu soggetta anche all'attività del mare, dei fiumi di risorgiva e dell'uomo. Attorno a 17.000 anni fa ( $14.500$  anni BP) si verificò un rapido miglioramento delle condizioni climatiche e tale data viene presa a livello globale come terminazione del LGM e inizio del cosiddetto Tardoglaciata, che durò poi fino al 9500 a.C. (Orombelli et al., 2005). Il riscaldamento globale causò un rapido ridimensionamento dei ghiacciai alpini e nelle Alpi Orientali portò al loro definitivo ritiro nelle alte valli già attorno a 14.000 anni fa (Venturini, 2003; Pellegrini et al., 2005; Bavec et al., 2004). Tuttavia durante il Tardoglaciata il clima subì alcune fasi di recrudescenza, in qualche caso anche molto rapida, che consentirono il temporaneo ritorno di condizioni climatiche quasi glaciali; in queste fasi, di durata secolare o millenaria, definite stadiali, i ghiacciai non ebbero comunque la possibilità di rioccupare le principali vallate alpine, rimanendo al di sopra dei 2000 m circa (Venturini, 2003; Pellegrini et al., 2005).

Con l'inizio del Tardoglaciata ebbe inizio una nuova fase nell'evoluzione della pianura, essenzialmente caratterizzata dalla mancanza di sedimentazione e dalla formazione di incisioni fluviali. I megafan di Brenta e Tagliamento sono stati entrambi soggetti ad un'importante fase di terrazzamento fino all'Olocene iniziale, anche se con caratteri fra loro differenti. L'ultimo evento deposizionale riconosciuto sul lobo LGM del mega-

fan del Brenta si verificò attorno a 14.500 anni <sup>14</sup>C BP (Mozi, 2005); la successiva disattivazione è da imputare all'incisione dell'apice del megafan presso lo sbocco vallivo a Bassano. La scarpata erosiva correlata al terrazzamento fluviale è tuttora alta circa 15 m all'apice e diminuisce gradualmente verso valle fino a scomparire a 25 km di distanza. Dove è presente l'incisione, al suo interno si trovano i depositi tardoglaciali e dell'Olocene iniziale. Nel settore apicale si riconoscono altre scarpate alte 2-4 m che danno luogo a tre terrazzi maggiori con una topografia ondulata. Più a valle i sedimenti olocenici seppelliscono la superficie datata al LGM. Quindi, considerando i depositi LGM e post-LGM, si può identificare una geometria telescopica dei due diversi lobi del megafan.

Nel sistema deposizionale del Tagliamento la fase erosiva tardoglaciale approfondì ulteriormente l'incisione precedentemente formata durante la fase cataglaciale e nel settore apicale del megafan confinò maggiormente il canale fluviale attivo. L'altezza della scarpata erosiva è attualmente 60-70 m presso l'apice del megafan e raggiunge ancora circa 30 m 10 km più a valle, poi diminuisce progressivamente, fino a scomparire in corrispondenza del limite superiore delle risorgive. Come risultato si ha che anche l'apice del lobo della fine del LGM è stato terrazzato e la sedimentazione successiva si è spostata più a valle. Di conseguenza il megafan del Tagliamento è costituito da tre differenti lobi: il più antico databile alla fase di acme glaciale, il secondo alla fase finale del LGM e l'ultimo, attivo a partire dal Tardoglaciale fino ad oggi, cioè nel post-LGM. Gli apici dei lobi più recenti si inseriscono in quelli precedenti ed è chiaramente riconoscibile una geometria a corpi telescopici (figg. 2.3 e 2.4).

A partire dal Tardoglaciale, poco a valle della fascia delle risorgive, i fiumi alpini sono stati sempre caratterizzati da alvei a canale singolo e sinuosità variabile, in cui l'ampiezza, la profondità, la larghezza degli alvei e la massima granulometria trasportata sono variate in dipendenza del rapporto tra portata liquida e solida, del livello di base e del clima. Fino all'Olocene medio i fiumi hanno manifestato una tendenza marcatamente erosiva anche nel loro tratto inferiore, portando alla formazione di incisioni profonde tra 5 e 25 m rispetto al top della superficie LGM. L'erosione verificatasi nel post-LGM è stata particolarmente importante nel settore distale del megafan del Tagliamento, dove si sono formate alcune incisioni molto ampie e profonde. Queste morfologie si svilupparono principalmente durante il Tardoglaciale, ma sono rimaste in uso o sono state riattivate anche durante periodi successivi; tale situazione ha così causato l'aggradazione interna delle incisioni, portando al loro riempimento e spesso all'obliterazione della loro originaria evidenza topografica. A monte di Portogruaro sono ancora riconoscibili due antiche incisioni grazie alla preservazione della loro morfologia superficiale, consentita da una loro precoce disattivazione e un loro riuso da parte di fiumi di risorgiva. Nel tratto più meridionale, queste depressioni sono state riempite a causa dei depositi lagunari olocenici e della deposizione fluviale post-romana. Circa 5 km a valle di Portogruaro, nei pressi di Concordia Sagittaria, una serie di carotaggi e scavi archeologici ha permesso di ricostruire alcune sezioni stratigrafiche di cui la più esemplificativa è rappresentata in fig. 2.10. La valle, ora sepolta, è incisa all'interno dei depositi LGM e la potenza del canale fluviale tardoglaciale è di circa 8 m; tali depositi corrispondono all'unità di Cinto Caomaggiore e il diametro massimo dei ciottoli campionati all'altezza di Concordia raggiunge i 5 cm. Dopo l'abbandono da parte del Tagliamento, nelle depressioni si è verificato l'accumulo di un deposito torboso palustre tra 8000 e 7000 anni fa circa, quando le acque salmastre dell'ingressione marina olocenica hanno invaso le due incisioni. L'ambiente lagunare è rimasto nelle depressioni fino al periodo romano, portando al parziale riempimento di esse, che è stato poi completato tra VI-IX secolo d.C., durante una nuova fase di rioccupazione dell'incisione da parte del Tagliamento. Considerando tutte le valli post-LGM riconosciute nel settore distale del megafan del Tagliamento, comprese quelle ora completamente sepolte, si ottiene una larghezza compresa tra 500-2000 m e una

profondità di 8-25 m; alla base delle incisioni vi sono ghiaie e ghiaie sabbiose con uno spessore di 5-12 m.

Come sopra descritto per il megafan del Tagliamento, in tutti i megafan della pianura veneto-friulana a partire dal Tardoglaciale le ghiaie sono state generalmente trasportate considerevolmente più a valle del loro limite di deposizione durante il LGM. Questa situazione è testimoniata anche per il sistema dell'Isonzo (Arnaud-Fassetta et al., 2003), del Brenta e del Piave. In alcuni casi le ghiaie sono state trasportate vari chilometri oltre quella che è la loro attuale soglia di deposizione in pianura; ciò è probabilmente legato all'incisione del tratto apicale dei megafan e alla conseguente concentrazione del flusso idraulico nelle incisioni. La presenza di incisioni con all'interno sedimenti anche ghiaiosi è stata riconosciuta sotto l'attuale alveo del Piave a valle di San Donà (si veda la sezione dell'unità di San Donà) e poco più a nord-ovest nell'unità di Losson, quest'ultima attiva fino a circa 6000 anni fa. Presso la zona di Cortellazzo alcuni carotaggi hanno intercettato un'incisione fonda 30 m rispetto all'attuale superficie topografica, riempita da sedimenti marini; tuttavia non è chiaro se questo elemento sia una valle fluviale post-LGM riutilizzata durante la trasgressione marina o se sia stata formata solo dalla dinamica costiera. Una situazione simile è stata riscontrata nel tratto terminale del F. Sile a Portograndi, dove, al di sotto del dosso attuale, è presente un'incisione fonda circa 12 m riempita di sabbie di origine plavense. Nel caso del Brenta, ghiaie confinate all'interno di una valle incisa alcuni metri rispetto alla superficie LGM sono presenti fino a qualche chilometro a monte di Padova.

In tutta la pianura veneto-friulana i dati cronostratigrafici riguardanti il Tardoglaciale e l'Olocene iniziale mancano quasi completamente (fig. 2.5). Nel diagramma cumulativo delle frequenze delle datazioni al radiocarbonio questa assenza di informazioni è particolarmente evidente per l'intervallo 14.500-8000 anni <sup>14</sup>C BP ed è correlabile alla mancata formazione di orizzonti organici databili. Ciò nonostante, nel settore distale della pianura non esistono ragioni climatiche o paleoambientali che possano spiegare un così drastico calo nella produzione di torba, legno o sedimento organico durante il Tardoglaciale e specialmente nell'Olocene iniziale. Una delle ipotesi più verosimili può essere trovata nella mancanza di deposizioni alluvionali sulla superficie dei megafan fino a circa 8000 anni <sup>14</sup>C BP. Questo fatto può essere stato indotto dal confinamento dell'attività fluviale entro i canali incisi, che portarono alla trasformazione di ampi settori di megafan in superfici di by-pass. Le tracce di profonda erosione sono particolarmente evidenti a est del Livenza, ma anche nel settore centro-occidentale della provincia l'attività fluviale è stata particolarmente ridotta e fasi di aggradazione non si verificarono fino all'Olocene medio. Sulle superfici abbandonate dall'attività alluvionale poterono così svilupparsi suoli ben formati (vedi paragrafo successivo).

Una simile evoluzione può essere descritta nel settore centrale della pianura padana per i megafan e conoidi che si trovano lungo il margine alpino. Dopo la maggior fase di aggradazione, verificatasi nel LGM, i corsi alpini terrazzarono il settore prossimale della pianura, dal loro sbocco vallivo per alcune decine di chilometri (Marchetti, 1996; 2001; 2002; Guzzetti et al., 1997).

Una delle cause più importanti nella mancanza di sedimentazione sulla superficie dei megafan e della conseguente incisione è stato il ritiro dei ghiacciai all'interno delle vallate alpine. Le ricerche più recenti indicano che tra 15.000-14.000 anni <sup>14</sup>C BP la deglaciazione delle Alpi Orientali era probabilmente quasi completa (Pellegrini et al., 2005). Spesso, quasi contemporaneamente o poco dopo il ritiro glaciale, nelle valli deglciate si formarono estesi laghi intravallivi per effetto della presenza degli sbarramenti creati dalla presenza degli apparati morenici frontali o, più comunemente, per la creazione di frane che sbarrarono temporaneamente i deflussi (Castiglioni, 2001; Hinderer, 2001; Marchetti, 2001; 2002; Soldati et al., 2004). Questi laghi, descritti nei bacini montani di Isonzo (Bavec et al., 2004), Tagliamento (Venturni, 2003; Monegato et

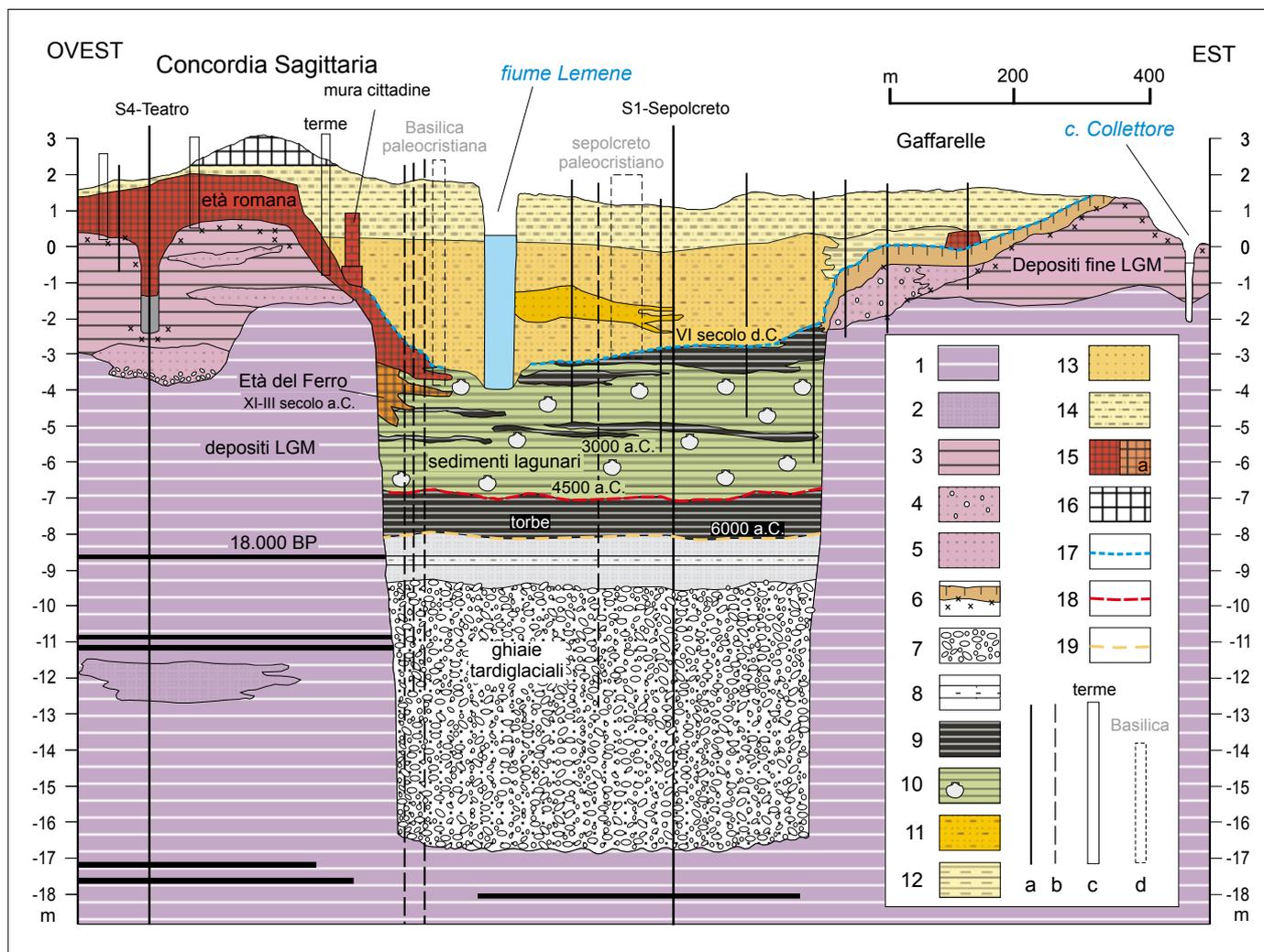


Fig. 2.10. Sezione dell'incisione sepolta posta a est di Concordia Sagittaria (cfr. pag. 55; da Fontana, 2006). Per l'ubicazione si veda fig. 2.4. Legenda: a) sondaggi; b) proiezione di sondaggi poco distanti dalla traccia della sezione; c) scavi archeologici editi, presenti lungo la sezione; d) proiezione 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) tardiglaciali 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 rotta 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.

al., 2007) e Piave (Pellegrini et al., 2005; 2006), intrappolarono il sedimento grossolano e causarono quindi una drastica diminuzione nel flusso sedimentario verso la pianura. Nel Vallone Bellunese una importante fase di aggradazione interna alla valle ha caratterizzato il Tardoglaciale e parte dell'Olocene, fino a circa 10.000-8000 anni fa (Surian & Pellegrini, 2000), portando al prolungato stoccaggio dei depositi fluviali. Inoltre, dalla fine del LGM, il miglioramento climatico ha indotto la ricolonizzazione delle montagne da parte della vegetazione (Vescovi et al., 2007), aumentando la stabilità dei versanti e inducendo così un calo nel tasso di erosione e nel carico sedimentario dei fiumi.

**Caratteri pedologici delle superfici pleniglaciali e cataglaciali**  
Le superfici formatesi durante il LGM e ancora affioranti, comprese quelle della fase cataglaciale, sono caratterizzate da suoli con caratteristiche relativamente omogenee in tutto il territorio provinciale. I sedimenti che le formano, infatti, hanno

un'età quasi coincidente che è compresa tra 18.000 e 15.000 anni  $^{14}\text{C}$  BP. Inoltre, i momenti più significativi per la formazione dei suoli si sono verificati durante l'Olocene e hanno quindi interessato in egual modo tali depositi più antichi. In generale sono stati importanti l'azione della copertura forestale e l'effetto di alcune fasi pedo-climatiche come quella che si è verificata durante l'Atlantico, caratterizzato da clima caldo umido con stagioni contrastate (Cremaschi, 1990). La presenza della falda freatica in prossimità della superficie ha localmente inibito la pedogenesi. Tuttavia, specie nelle posizioni più rilevate e ben drenate, come al colmo dei *natural levees*, vi sono chiari indizi di una lunga evoluzione pedogenetica, con fenomeni di rubefazione che hanno sviluppato colori marrone giallastri (10YR 6-5/3). Allontanandosi dal colmo degli argini naturali, dove i sedimenti divengono progressivamente più limosi e la superficie è meno elevata, la presenza della falda e la minor permeabilità dei depositi hanno creato notevoli orizzonti di concrezioni carbonatiche. Queste si svilupparono origina-

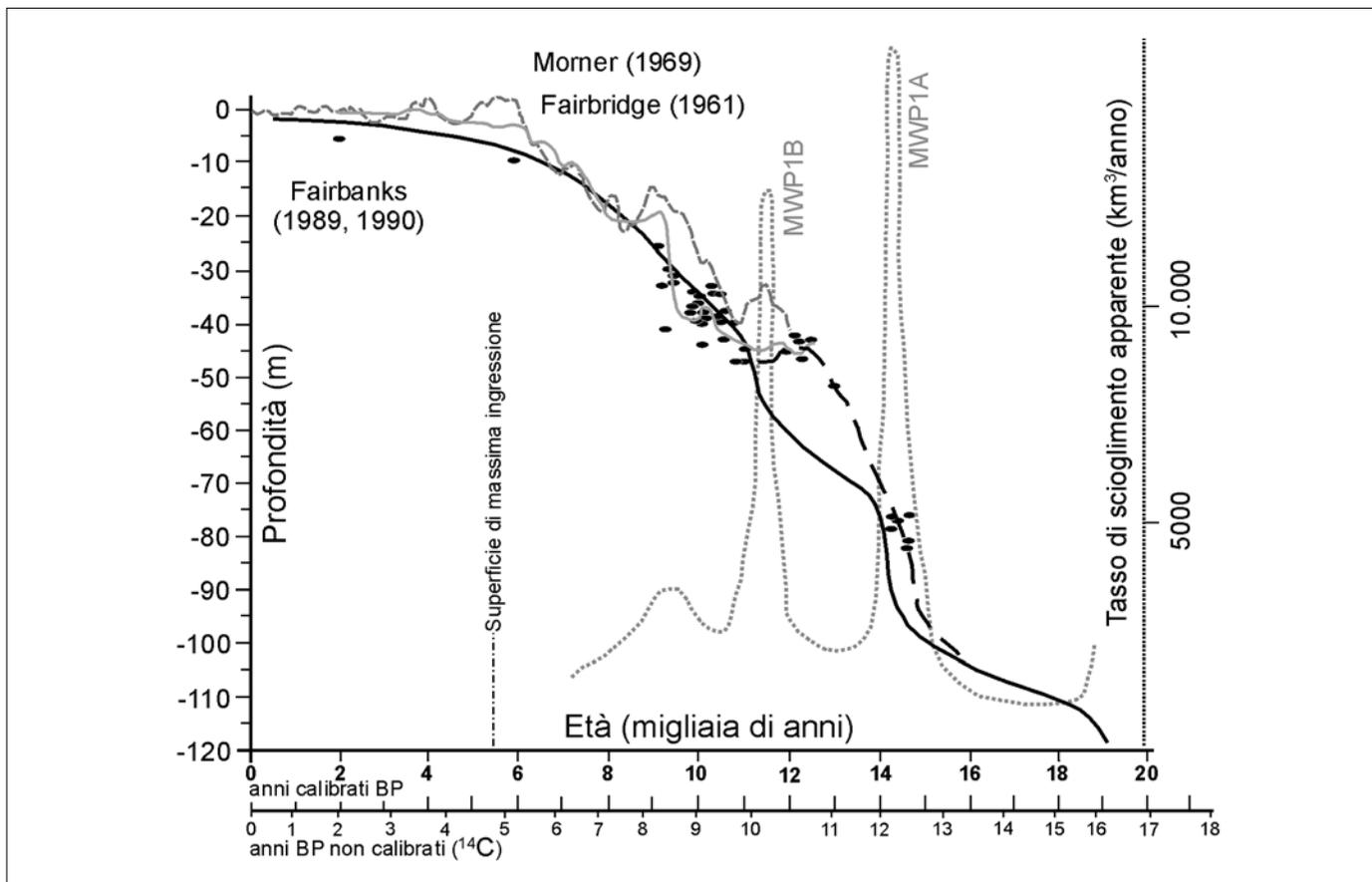


Fig. 2.11. Curva di risalita del livello marino (tratteggiata nera) basata sui dati calibrati (pallini neri) provenienti dalla piattaforma adriatica confrontata con le curve eustatiche più comunemente riportate in letteratura e il tasso di scioglimento apparente delle calotte glaciali (Fairbanks, 1989) (da Trincardi & Argagni, 2003, modificato da Correggiari et al., 1996).

riamente tra i 60-120 cm di profondità, mentre attualmente sono praticamente inglobate dalle arature moderne. L'attività agricola ha notevolmente alterato le caratteristiche della superficie pleistocenica sicuramente già a partire dall'epoca romana e, in alcune zone, probabilmente anche durante le fasi finali della Protostoria. Questo tipo di suoli è tipico della pianura LGM ancora affiorante e, quando sepolta, è facilmente riconoscibile anche in profondità grazie alle sue proprietà. Nel sottosuolo della laguna di Venezia questi orizzonti sovraconsolidati vengono definiti con il termine "caranto" (Gatto e Previatello, 1974; Mozzi et al., 2003); nel settore Sandonatese e Portogruarese tale termine dialettale descrive anche le concrezioni carbonatiche.

### 2.3.3.2. Trasgressione marina e dinamica fluviale medio olocenica

A partire da 15.000 anni BP, la fusione dei ghiacci causò un rapido innalzamento marino, che dal livello minimo di circa -120 m slm, raggiunto all'acme del LGM, risalì al ritmo medio di 15-10 mm/anno (Correggiari et al., 1996; Lambeck et al., 2004). Il sollevamento del livello eustatico è da imputarsi principalmente allo scioglimento della calotta artica e degli *inlandsis* nordeuropeo e nordamericano, con ghiacci che raggiunsero un volume simile all'attuale attorno a 6-7000 anni fa (Lambeck & Chappel, 2001); infatti, nonostante la fusione quasi completa dei ghiacciai nelle valli alpine fosse avvenuta già circa 13.000 anni BP, il mare continuò a salire rapidamente fino a 6000-4000 anni fa, quando raggiunse un livello relativo di pochi metri inferiore all'attuale (Correggiari et al., 1996; Cattaneo & Trincardi, 1999; Preti, 1999; Lambeck et al., 2004). Il successivo sollevamento del mare è da attribuirsi in buona parte alle deformazioni tettoniche, alla subsidenza locale, agli aggiustamenti isostatici, alle fluttuazioni climatiche oloceniche e alla quantità di apporti sedimentari fluvia-

li (Lambeck et al., 2004). La trasgressione marina non fu un evento sincrono in tutto l'Adriatico, ma si verificò dapprima nel settore più meridionale e in quello orientale. La morfologia delle coste giocò un ruolo fondamentale e così, mentre sulla sponda istriano-dalmata, alta e rocciosa, il mare raggiunse piuttosto rapidamente una posizione simile all'attuale, sul versante opposto la scarsa pendenza della pianura alluvionale preesistente rallentò il fenomeno. Si sono così generate delle situazioni differenziate anche tra zone adiacenti. Nella pianura veneto-friulana, le aree in cui le superfici relitte pleistoceniche sono affioranti fino al margine lagunare hanno subito la trasgressione in modo passivo, tanto che in queste aree l'odierna posizione del mare è generalmente la più interna raggiunta nel postglaciale. Invece, nelle aree in cui sono sfociati i corsi alpini durante l'Olocene, la situazione è in genere 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, talvolta caratterizzato dalla successiva progradazione dei sistemi fluviali. Il loro protendimento verso mare e il sistema dei lidi da essi stessi creato hanno isolato specchi di mare e creato le lagune in cui il moto ondoso ha un debole effetto, mentre diviene fondamentale il regime tidale (Blum & Törnqvist, 2000). A sud della laguna di Venezia è ben riconoscibile un ciclo trasgressivo-regressivo (Favero & Serandrei Barbero, 1980; Bondesan et al., 2001), mentre verso nord la posizione più interna raggiunta dal mare è in genere meno lontana dalla linea di costa e quasi sempre corrisponde con il margine delle lagune esistenti prima delle bonifiche moderne (Bondesan et al., 2001; Fontana et al., 2004; Fontana, 2006; Amorosi et al., 2008). Nella pianura romagnola i sedimenti marini di 8215±100 anni <sup>14</sup>C BP si trovano tra -27 e -30 m slm e ricoprono la superficie pleniglaciale (Amorosi et al., 1999; 2008). Poco a nord, nell'area di Conselice e Pom-

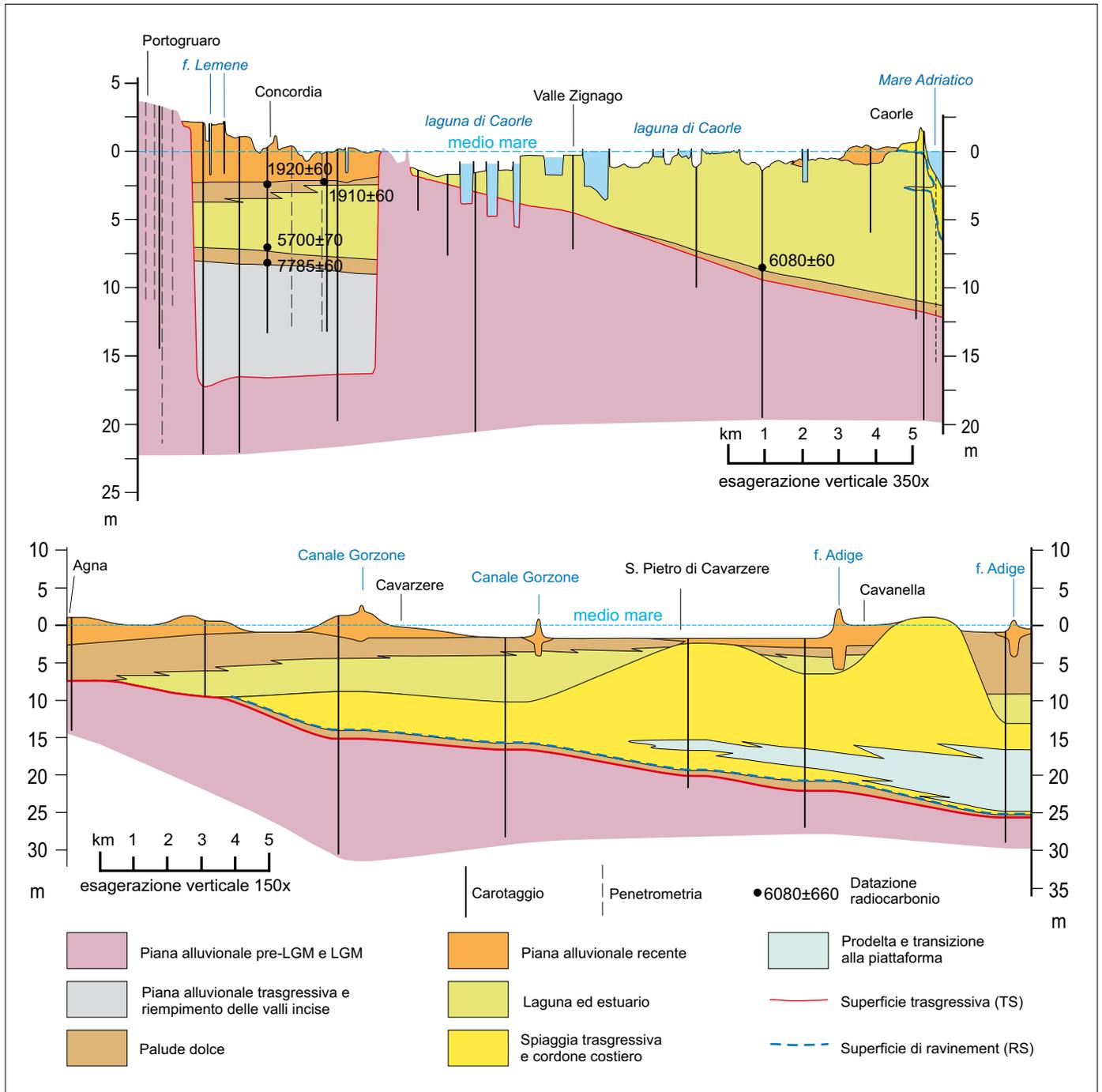


Fig. 2.12. Sezione stratigrafica costiera del settore di Chioggia e della laguna di Caorle (per ubicazione vedi fig. 2.4; modificato da Amorosi et al., 2008).

posa, compaiono facies lagunari tra -15 e -18 m slm, datate a 7000-8000 anni BP (Bondesan et al., 1999; Preti, 1999). Nella baia di Pirano (Slovenia), a -26,5 m slm sono state individuate facies lagunari di 9160±20 anni BP (Ogorelec et al., 1981) e simili risultati sono anche disponibili per il centro del Golfo di Trieste (Ogrinc et al., 2005). In area veneziana e friulana, la prima formazione delle lagune sembra essere documentata a circa 7500-6000 anni fa, in corrispondenza della massima ingressione marina. La parte centrale della laguna di Venezia cominciò a formarsi circa 6000 anni fa (-8 m slm) (Favero & Serandrei Barbero, 1980; Serandrei Barbero et al., 2001), mentre 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). Anche nel settore settentrionale della laguna di Venezia i primi depositi costiero-lagunari sono datati attorno a 7500 anni fa (Canali et al., 2007). Nell'area del basso Piave, in località Palazzetto di San Donà,

i primi sedimenti lagunari si trovano a 6 m di profondità e datano a 6520±50 anni <sup>14</sup>C BP (Bondesan et al., 2004), mentre i primi cordoni dunali del sistema costiero del fiume Piave sono datati a 5460±60 anni <sup>14</sup>C BP (Bondesan et al., 2002b). In tutto il settore compreso tra Piave e Tagliamento si riconoscono sedimenti lagunari soprastanti la pianura pleistocenica, recentemente incontrati da numerosi sondaggi a circa -7 / -9 m slm e datati attorno al 5000 a.C. (Galassi & Marocco, 1999; Fontana, 2006). Nella laguna di Marano, le più antiche tracce di presenza marina postglaciale sono state riconosciute presso l'Isola di S. Andrea a -8 m slm e datano a 5540±140 anni <sup>14</sup>C BP (Marocco, 1989); presso Lignano, sotto l'attuale delta del Tagliamento, a -7,3 m slm è stata segnalata la presenza di sedimenti lagunari di 4620±160 anni <sup>14</sup>C BP (Marocco, 1991). Circa 2 km più a nord, in località Picchi di Latisana, il limite tra pianura e depositi lagunari è stato individuato a -6,5 m slm (Fontana, 2006). Da questo assetto cronologico piuttosto

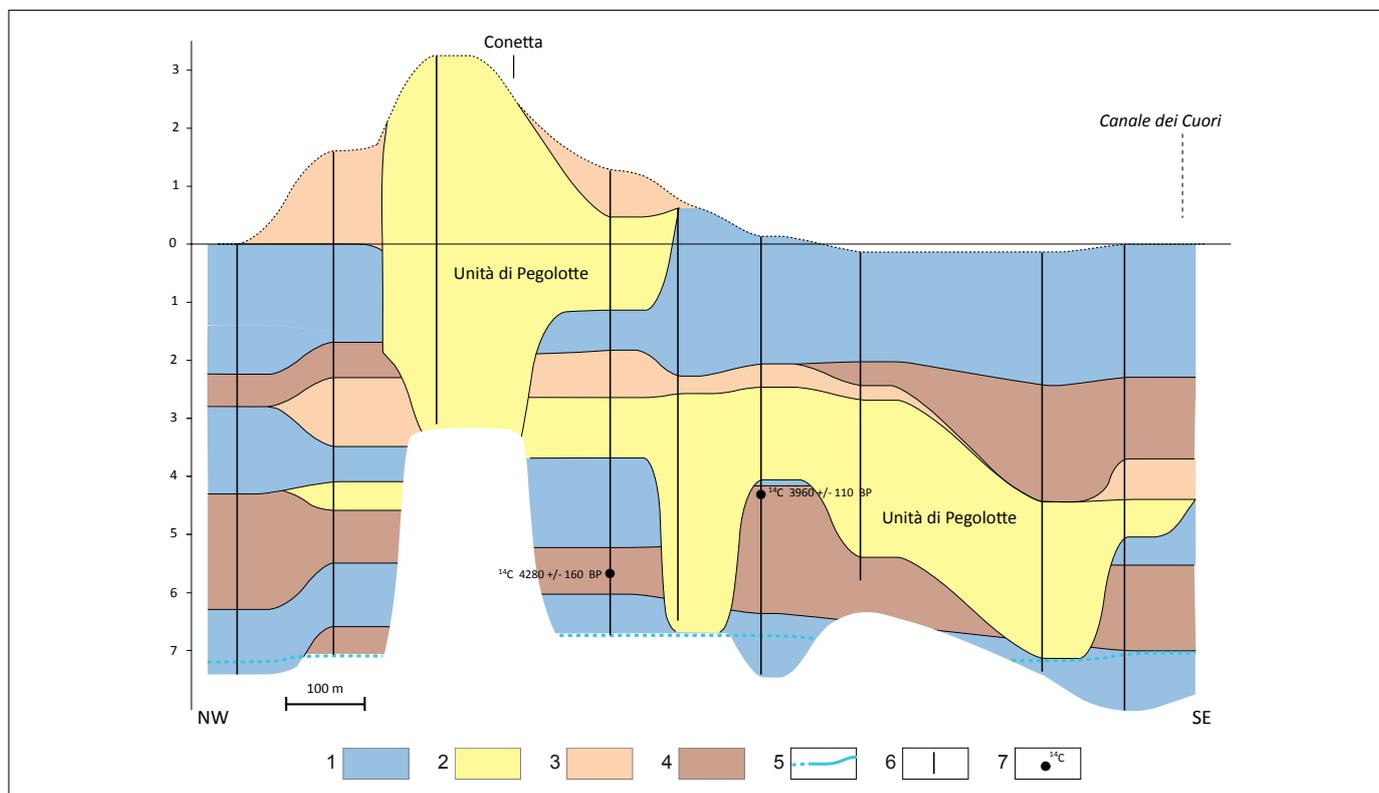


Fig. 2.13. Sezione stratigrafica di dosso fluviale tardo olocenico del Po (Piovan, in questo volume pag. 137); per ubicazione si veda fig. 2.4. Legenda: 1) depositi di piana esondazione; 2) depositi di canale; 3) depositi di argine naturali; 4) torbe e depositi palustri; 5) limite Pleistocene-Olocene; 6) sondaggio stratigrafico; 7) datazione.

omogeneo si discosta la laguna di Grado che, nella sua configurazione attuale ha iniziato a formarsi in epoca post-romana (Marocco, 1991). Lungo la costa veneto-friulana la risalita marina e l'espansione dei sistemi lagunari sono state fortemente condizionate dalla morfologia della pianura preesistente. Le acque salmastre si sono così infiltrate prima entro le zone depresse e, in particolare, le incisioni corrispondenti ad alcuni profondi paleovalvei del Tagliamento hanno consentito alla laguna di giungere molto all'interno della pianura. Il caso più evidente è quello verificatosi lungo due incisioni esistenti al di sotto degli attuali corsi dei fiumi Lemene e Reghena, lungo le quali le acque salmastre giunsero fino a Portogruaro (Fontana, 2004; 2006). All'interno delle incisioni la base dei depositi lagunari ha un'età di 5900-5700 anni  $^{14}\text{C}$  BP (figg. 2.10 e 2.12).

Durante l'Olocene, nella porzione distale dei megafan alluvionali, i fiumi alpini hanno avuto dei corsi meandrici caratterizzati da differenti valori di ampiezza e sinuosità e lunghezza d'onda dei meandri. In varie fasce di meandro, caratterizzate da una disattivazione che ha consentito la deposizione di depositi organici nei canali residuali, è stata datata la base di questi sedimenti. Una cospicua parte delle datazioni oloceniche presenti nel diagramma di fig. 2.5 sono state realizzate proprio su questo tipo di materiali organici, ottenendo una datazione abbastanza affidabile della disattivazione del canale (Berendsen & Stouthamer, 2001). Altre datazioni riguardanti gli orizzonti organici di ambiente lagunare (soprattutto barene) forniscono informazioni sull'aggradazione della piana costiera.

Fino a circa 6000-5000 anni fa, mentre l'*highstand* marino consentiva la progradazione dei sistemi fluviali nella zona costiera, i fiumi alpini hanno manifestato una scarsa capacità sedimentaria nella pianura, persino nei loro tratti terminali, a ridosso dell'ambiente deltizio.

Nel sistema del Tagliamento una fase di incisione si è manifestata ancora attorno al 1000 a.C. (unità di Alvisopoli). Questa è stata caratterizzata dal trasporto di ghiaie alcuni chilometri

più a valle rispetto al loro limite di sedimentazione attuale. Nel megafan del Piave, lungo il fiume Sile presso il limite attuale della laguna, il Piave ha attivato un'incisione fonda circa 12 m all'interno dei sedimenti LGM, riempita da sedimenti tra 7000 e 3600 anni BP (Bondesan et al., 2004). Anche nell'area di Aquileia vi sono evidenze di incisioni fluviali del Torre-Natisone-Isonzo ben incise rispetto ai depositi LGM e lungo le quali erano trasportate le ghiaie fino all'altezza dell'attuale abitato fino agli ultimi secoli del I millennio a.C. (Arnaud-Fassetta et al., 2003).

### 2.3.3.3. Dossi fluviali e dinamica fluviale tardo olocenica

Nel settore distale dei megafan, la fase di incisione fluviale o di non sedimentazione verificatisi nel post-LGM continuò fino all'ultima parte del periodo climatico Subboreale (1000 a.C. circa), quando si verificarono poi importanti cambiamenti nella dinamica fluviale di tutta la pianura; vi sono tuttavia alcune differenze cronologiche tra i sistemi del Brenta, Piave e Tagliamento.

Presso Mezzavia, poco a ovest di Padova, la datazione radiocarbonica di una ceppaia in posizione di vita entro un suolo, sepolto dall'argine naturale di un antico percorso del Brenta, dimostra che l'aggradazione sulla superficie LGM era iniziata attorno a circa 5000 anni BP. Tuttavia, anche in questo sistema fluviale, la fase di estesa e ben riconoscibile sedimentazione si verificò successivamente al 1000 a.C. (Mozzi, 2004a).

Il più antico dosso olocenico del Piave si sviluppò a valle di San Donà successivamente a 3000-4000 anni BP; inoltre, questa tendenza all'aggradazione è anche evidenziata dal completo riempimento da parte dei depositi del Piave dell'incisione del Sile, fonda 12 m (Bondesan et al., 2004). Nel megafan del Tagliamento i dossi olocenici cominciarono a formarsi solo dopo il 1000 a.C. (Fontana, 2004; 2006) e anche per l'Isonzo si riconosce una simile tendenza (Arnaud-Fassetta et al., 2003).

Queste evidenze stratigrafiche e geomorfologiche suggeriscono che la formazione dei dossi fluviali iniziò a influenzare ampie porzioni del settore distale dei megafan solo circa

3000-4500 anni fa. Questo stile deposizionale è ancora attivo, anche se, durante gli ultimi secoli, esso è stato fortemente controllato dalle attività umane e particolarmente dagli interventi di arginatura e deviazione artificiale.

I dossi fluviali olocenici sono molto differenti da quelli pleistocenici sia nelle dimensioni che nella geometria interna dei corpi. I dossi costruiti negli ultimi millenni sono generalmente più alti (2-5 m rispetto alla piana d'esonazione) e più ampi (500-2000 m) rispetto a quelli del LGM. I fiumi formano meandri nei loro tratti terminali e con canali profondi generalmente 5-7 m. Le avulsioni sono state il processo maggiore nell'innescare nuove direttrici fluviali.

Nel megafan del Tagliamento la sedimentazione tardo olocenica ha interessato anche le incisioni precedentemente abbandonate, conducendo al loro totale riempimento, come riconosciuto in Concordia (fig. 2.10.), sotto l'attuale percorso della roggia Lugugnana e sotto il corso attuale del fiume. Infatti, in corrispondenza del percorso odierno del Tagliamento il fiume si era inciso nei depositi LGM fino alla fine del Subboreale (circa 3000 anni fa), ma la profondità del canale era significativamente inferiore rispetto alle incisioni attive nel Tardoglaciale e all'inizio dell'Olocene; lungo l'alveo le ghiaie arrivavano più a valle di oggi, ma meno rispetto all'Olocene iniziale e medio. L'assottigliamento della profondità dell'alveo e la diminuzione della capacità di trasporto può essere correlata all'abbassamento del gradiente idraulico del canale, fenomeno favorito dalla risalita relativa del livello marino, come dimostrato in altre pianure costiere europee (es. Blum & Törnqvist, 2000; Berendsen & Stouthamer, 2001).

La sedimentazione tardo olocenica ha interessato aree notevolmente meno estese rispetto a quelle coinvolte nel LGM. Escludendo le aree costiero-deltizie, lo spessore dei sedimenti olocenici che seppelliscono la superficie pleistocenica generalmente raggiunge uno spessore massimo di 4-6 m, lungo i dossi fluviali. Nelle piane d'esonazione correlate ai dossi la potenza dei sedimenti olocenici è di solo 1-3 m.

Nelle sequenze stratigrafiche tardo oloceniche, i depositi organici o gli strati di torba sono diffusi solo negli ambienti lagunari o palustri costieri, mentre nelle serie alluvionali la torba è presente solo come una parte del riempimento dei canali residuali. In contrasto, i suoli sepolti sono piuttosto diffusi e il loro grado di sviluppo può essere utilizzato per stimare la durata del periodo di esposizione cui è stata soggetta la superficie su cui si sono evoluti (Mozzi et al., 2003; Fontana et al., 2004; Ragazzi et al., 2004). Nella ricostruzione cronostratigrafica delle sequenze alluvionali sono di particolare importanza i suoli sepolti con presenza di reperti e soprattutto strutture archeologiche, che consentono una precisa datazione anche di quelle superfici in cui non è disponibile materiale organico da sottoporre a radiodatazione.

In tutti i megafan della pianura veneto-friulana un importante periodo di alluvioni è riconoscibile durante l'Alto Medioevo (dal V-VI al X secolo d.C.). Questo intervallo corrisponde ad un periodo di elevata e concentrata piovosità ricordato dalle fonti storiche e coincide anche con il collasso del sistema agrario e di drenaggio messo in opera durante l'epoca romana. Tra il VI-VII secolo il Tagliamento è stato caratterizzato da un'elevata attività avulsiva che è menzionata nei resoconti storici e ha condotto all'attivazione alternata di tre differenti direttrici con

formazione di dossi (Fontana, 2004; 2006). A partire dall'XI secolo è stato attivo solo il ramo attuale del fiume e il dosso formato da esso ha una larghezza di 4 km e si erge sulla piana circostante di circa 3-4 m. Molti siti romani e il tracciato della via Annia sono stati sepolti dall'attività dell'attuale direzione del fiume Tagliamento e la loro posizione stratigrafica e areale testimonia che la formazione del dosso avvenne nel periodo post-romano.

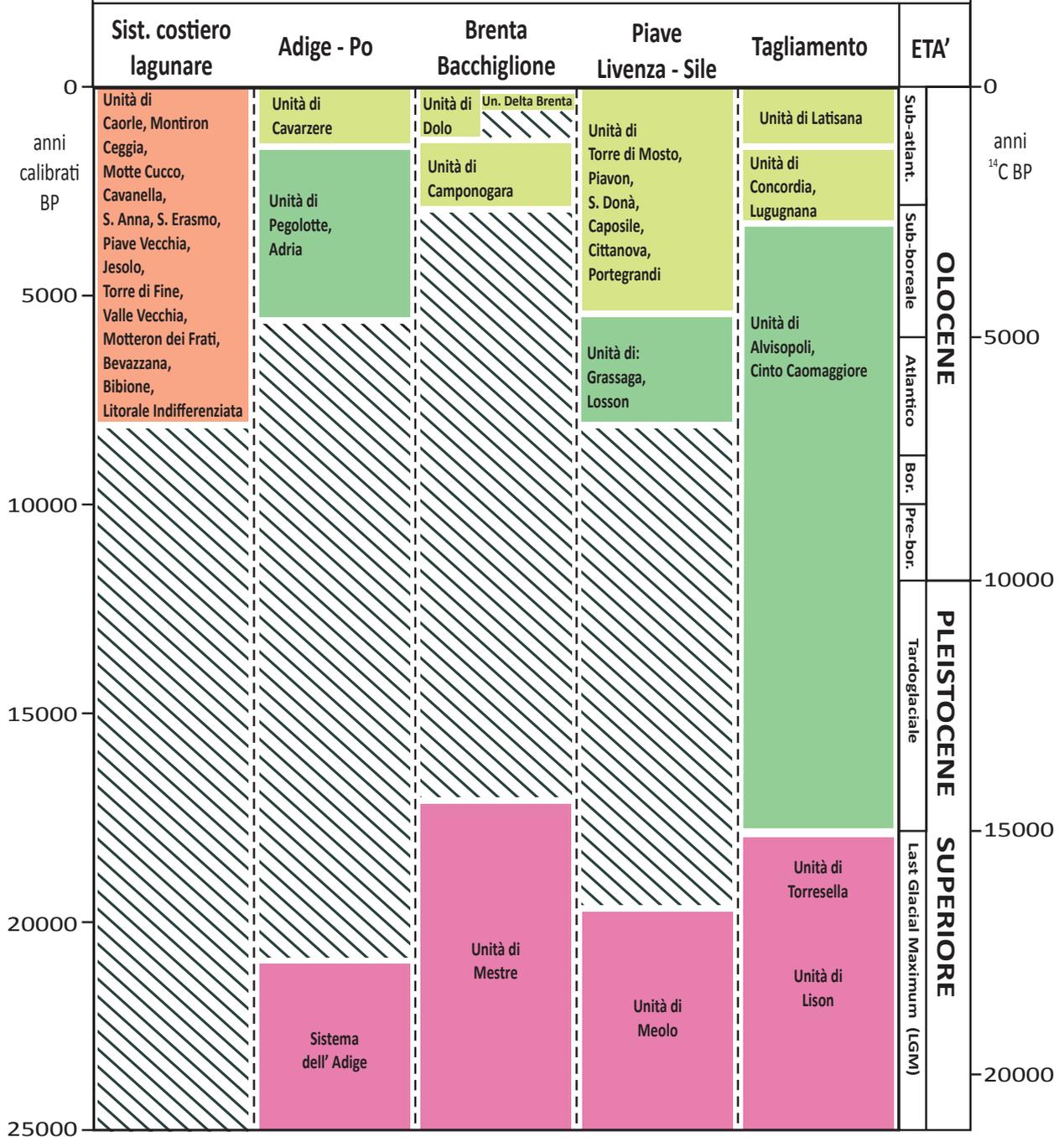
Vari dossi sono stati formati anche dal Piave, dal Brenta e dall'Adige durante l'Alto Medioevo. Il dosso occupato dal Naviglio-Brenta sembra essersi formato nel periodo medievale con una forte influenza degli interventi umani che, fin dal XI secolo, hanno pesantemente condizionato questa direttrice.

#### 2.3.3.4. *Influenza umana e bonifiche moderne*

Nel territorio provinciale la presenza dell'uomo ha cominciato ad avere un certo effetto sull'ambiente a partire dal Neolitico quando, attorno a 7500 anni fa venne introdotta l'agricoltura, l'allevamento e furono costruiti i primi villaggi stabili. Gli effetti dell'attività antropica sono però rimasti abbastanza limitati e locali fino all'età del Ferro, mentre con l'epoca romana hanno interessato molto diffusamente il territorio e hanno cominciato a lasciare tracce ben riconoscibili anche sulle morfologie superficiali. La colonizzazione romana ha infatti condotto alla messa a coltura di quasi tutta la pianura veneto-friulana, alla realizzazione di una fitta rete di strade e canali e alla costruzione di villaggi e città. L'aratura di estese superfici ha portato a fenomeni di erosione areale molto diffusa e alla modificazione degli orizzonti superficiali dei suoli.

Tra il Tardoantico e il Medioevo gli interventi sono stati limitati, mentre hanno subito una decisa crescita d'importanza a partire dal XV secolo con la decisione della Repubblica di Venezia di modificare l'idrografia per favorire lo sfruttamento del territorio. Sono stati così interessati tutti i fiumi tributari della laguna di Venezia per evitare la sedimentazione all'interno del bacino e preservare quindi ampi settori soggetti ai flussi di marea dalla progradazione dei sistemi deltizi. Soprattutto dal XV secolo, numerose deviazioni artificiali e regolazioni di fiumi sono state condotte su Brenta, Adige, Piave, Livenza e Bacchiglione. Dal XVIII secolo la pianura veneto-friulana può essere considerata una piana arginata dove, ad eccezione di eventi catastrofici di grande magnitudo, la sedimentazione è stata quasi eliminata. Inoltre, le opere di bonifica agraria condotte nel XX secolo hanno indotto un aumento nella subsidenza della piana costiera per effetto del drenaggio dei terreni e dell'ossidazione dei depositi organici superficiali che un tempo si formavano sotto le paludi costiere e i fondi lagunari. Nel complesso gli interventi antropici hanno lasciato una notevole evidenza geomorfologica, incidendo sulla direzione e la morfologia degli alvei, sull'assetto costiero e sull'estensione delle lagune. Da un punto di vista geologico, invece, l'attività umana ha avuto effetti localizzati, in quanto i depositi prodotti direttamente dall'uomo sono generalmente di piccola estensione, limitati alle porzioni superficiali. Un discorso a parte meritano le casse di colmata della zona di Porto Marghera, dove nel XX secolo sono stati accumulati artificialmente 3-5 m di depositi per rendere edificabili alcuni settori della laguna. Anche tutta la città di Venezia e gli edifici delle isole maggiori come Murano e Burano poggiano su accumuli artificiali di detriti.

## SCHEMA CRONOSTRATIGRAFICO DELLE PRINCIPALI UNITA'



### 3. CENNI METODOLOGICI

Le unità geologiche della provincia di Venezia sono state definite attraverso l'esame delle sequenze stratigrafiche ricostruite sulla scorta delle diverse banche dati impiegate, prima fra tutte quella del Servizio Geologico provinciale. I dati stratigrafici sono stati integrati da una serie di studi ed analisi, alcuni editi come lo studio geomorfologico della provincia di Venezia (Bondesan & Meneghel, 2004), altri allora ancora inediti, come ad esempio la carta dei suoli provinciale alla scala 1:50.000. Lo studio geologico, ogni qual volta sia stato possibile, ha fatto ricorso al rilevamento di campagna eseguito a più riprese, sia attraverso ricognizioni e sopralluoghi, sia con la descrizione e lo studio di sezioni esposte in occasioni di scavi e di sondaggi manuali e meccanici eseguiti in luoghi di particolare interesse. Uno studio territoriale di questo tipo non può prescindere da un approccio multidisciplinare. Per questa ragione è stato fatto largo ricorso ad una serie di informazioni accessorie, molte delle quali ottenute attraverso indagini ed analisi eseguite specificatamente per il progetto geoSINPAV.

Tra queste si ricorda il contributo delle radiodatazioni, raccolte nella banca dati "Cronos" del Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova e ottenuta attraverso il censimento di tutto l'edito e di tutte le datazioni eseguite dai ricercatori padovani nel corso di varie ricerche condotte nel corso dell'ultimo ventennio. Quindici datazioni, finanziate dall'Amministrazione provinciale, sono state eseguite su campioni specificatamente

raccolti per il progetto. Analisi mineralogiche, pure realizzate appositamente, sono state effettuate su campioni di sabbia consentendo di stabilire il bacino di provenienza dei sedimenti e quindi di dirimere le situazioni dubbie dove la possibile convergenza delle direttrici fluviali poteva far attribuire i depositi ad uno o a un altro fiume.

Le presenze archeologiche nel territorio sono state un altro elemento importante di datazione degli orizzonti superficiali in termini di deposizione precedente o successiva alla frequentazione del sito o alla realizzazione del manufatto archeologico. La presenza delle centuriazioni sulle superfici ha permesso di aggiungere un ulteriore elemento di attribuzione cronologica. Anche l'impiego della cartografia storica rappresentante l'evoluzione idrografica del territorio veneziano negli ultimi cinque secoli è stata di particolare aiuto nella definizione della natura ed estensione dei depositi.

Infine, in due siti chiave sul dosso di Cittanova, a est di S. Donà di Piave, sono stati condotti dei transetti di carotaggi molto fitti, accompagnati da indagini geofisiche ad alta risoluzione volte sia a verificare sperimentalmente la capacità risolutiva delle tomografie ERT (Electrical Resistivity Tomography) e delle indagini GPR (Ground Probing Radar) ai fini della ricostruzione stratigrafica in bassa pianura e sia a riconoscere il tracciato dei paleoalvei quando non risolvibile attraverso le immagini telerilevate.

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

Andrea Mazzucato

Da alcuni decenni il Servizio Geologico della Provincia di Venezia, al fine di poter svolgere al meglio i propri compiti istituzionali, ha raccolto un numero elevato di informazioni di carattere tecnico e tecnico-amministrativo su supporto sia cartaceo, che digitale. L'impiego di software GIS ha permesso la costruzione di banche dati informatizzate e georeferenziate dedicate alle scienze della terra e alla difesa del suolo.

Le principali banche dati in possesso del Servizio Geologico della Provincia di Venezia sono:

- Banca dati delle Cave e Migliorie Fondiarie;
- Banca dati delle Osservazioni Pedologiche;
- Banca dati delle Indagini Geognostiche;
- Banca dati Idrogeologica.

##### 3.1.1. Banca dati delle indagini geognostiche

Nella Banca Dati delle Indagini Geognostiche le informazioni sono strutturate in una serie di tabelle tra loro collegate tramite un codice identificativo univoco che caratterizza ogni singolo punto di indagine; ogni indagine geognostica ha inoltre associate le sue coordinate spaziali secondo il sistema di riferimento Roma 40 - Gauss Boaga che ne permette la localizzazione sul territorio. Si tratta quindi di una banca dati georeferenziate.

Le informazioni raccolte in questa banca dati sono di tre tipi:

- coordinate spaziali;
- informazioni sull'origine del dato e sulle caratteristiche dell'indagine;
- descrizione della stratigrafia.

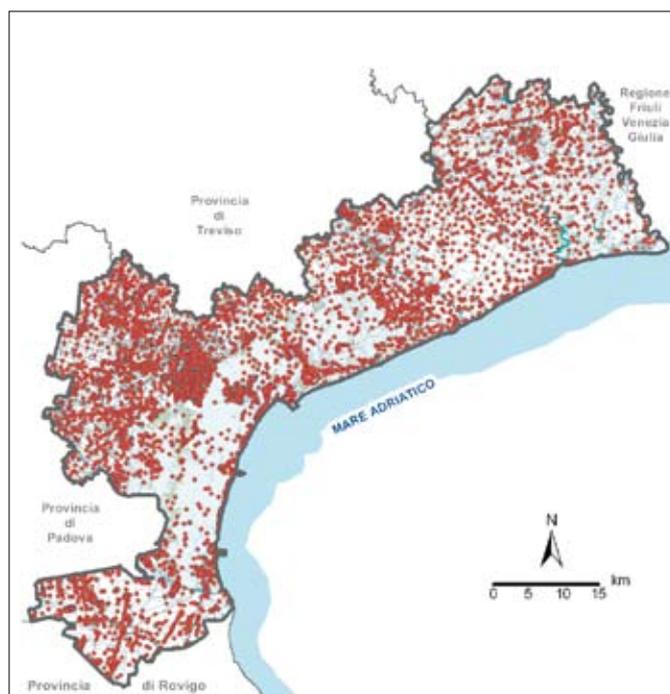


Fig. 3.1. Ubicazione delle indagini geognostiche in provincia di Venezia.

Tabella 3.1. Codifiche litologiche utilizzate per l'archiviazione informatizzata dei sondaggi.

COD	descrizione	COD	descrizione	COD	descrizione	COD	descrizione	COD	descrizione	COD	descrizione
1023	argilla limoso sabbiosa	2013	limo argilloso sabbioso	3012	sabbia argillosa limosa	4023	ghiaia limoso sabbiosa	7000	nessun simbolo		
1026	argilla limosa torbosa	2014	limo argilloso ghiaioso	3016	sabbia argillosa torbosa	4032	ghiaia sabbioso limoso	7004	cemento, asfalto, interventi antropici		
1032	argilla sabbioso limosa	2016	limo argilloso torboso	3021	sabbia limoso argillosa	4021	ghiaia limosa argillosa				
1036	argilla sabbiosa torbosa	2031	limo sabbioso argilloso	3026	sabbia limoso torbosa	4053	ghiaia ciottolosa sabbiosa				
1063	argilla torbosa sabbiosa	2034	limo sabbioso ghiaioso	3061	sabbia torboso argillosa	4035	ghiaia sabbiosa ciottolosa				
1062	argilla torboso limosa	2036	limo sabbioso torboso	3062	sabbia torboso limosa	4030	ghiaia e sabbia				
1020	argilla e limo	2061	limo torboso argilloso	3024	sabbia limoso ghiaiosa	4010	ghiaia e argilla				
1030	argilla e sabbia	2063	limo torboso sabbioso	3042	sabbia ghiaioso limosa	4020	ghiaia e limo	6400	torba		
1060	argilla e torba	2010	limo e argilla	3010	sabbia e argilla	4050	ghiaia e ciottoli	7001	terreno vegetale, humus		
1120	argilla con limo	2030	limo e sabbia	3020	sabbia e limo	4110	ghiaia con argilla	7002	terreno agrario		
1130	argilla con sabbia	2060	limo e torba	3040	sabbia e ghiaia	4130	ghiaia con sabbia	7003	terreno di riporto		
1160	argilla con torba	2110	limo con argilla	3060	sabbia e torba	4120	ghiaia con limo	123	composizione media A L S (30%+30%+30%)		
1140	argilla con ghiaia	2130	limo con sabbia	3110	sabbia con argilla	4150	ghiaia con ciottoli	432	comp. media Ghiaia S e L (30%+30%+30%)		
1220	argilla limosa	2160	limo con torba	3120	sabbia con limo	4230	ghiaia sabbiosa				
1230	argilla sabbiosa	2210	limo argilloso	3140	sabbia con ghiaia	4220	ghiaia limosa				
1260	argilla torbosa	2230	limo sabbioso	3150	sabbia con ciottoli	4210	ghiaia argillosa	7005	calcare AGI		
1320	argilla deb limosa	2260	limo torboso	3160	sabbia con torba	4250	ghiaia ciottolosa	7006	argillite		
1330	argilla deb sabbiosa	2310	limo deb argilloso	3210	sabbia argillosa	4330	ghiaia deb sabbiosa	7007	arenaria		
1360	argilla deb torbosa	2330	limo deb sabbioso	3220	sabbia limosa	4320	ghiaia deb limosa				
1400	argilla	2360	limo deb torboso	3260	sabbia torbosa	4310	ghiaia deb argillosa	3900	conglomerato		
1150	argilla con ciottoli	2400	limo	3240	sabbia ghiaiosa	4400	ghiaia	7008	marna		
				3310	sabbia deb argillosa	5040	ciottoli e ghiaia				
				3320	sabbia deb limosa	5030	ciottoli e sabbia	1900	caranto		
				3340	sabbia deb ghiaiosa	5140	ciottoli con ghiaia				
	<b>Classe 1: litotipi impermeabili</b>			3360	sabbia deb torbosa	5130	ciottoli con sabbia				
	<b>Classe 2: litotipi semipermeabili</b>			3430	sabbia fine (*)	5143	ciottoli con ghiaia e sabbia				
	<b>Classe 2: litotipi semipermeabili</b>			3400	sabbia	5400	ciottoli				
	<b>Classe 2: litotipi semipermeabili</b>										
	<b>Classe 3: litotipi permeabili</b>										
	<b>Classe 4: litotipi molto permeabili</b>										

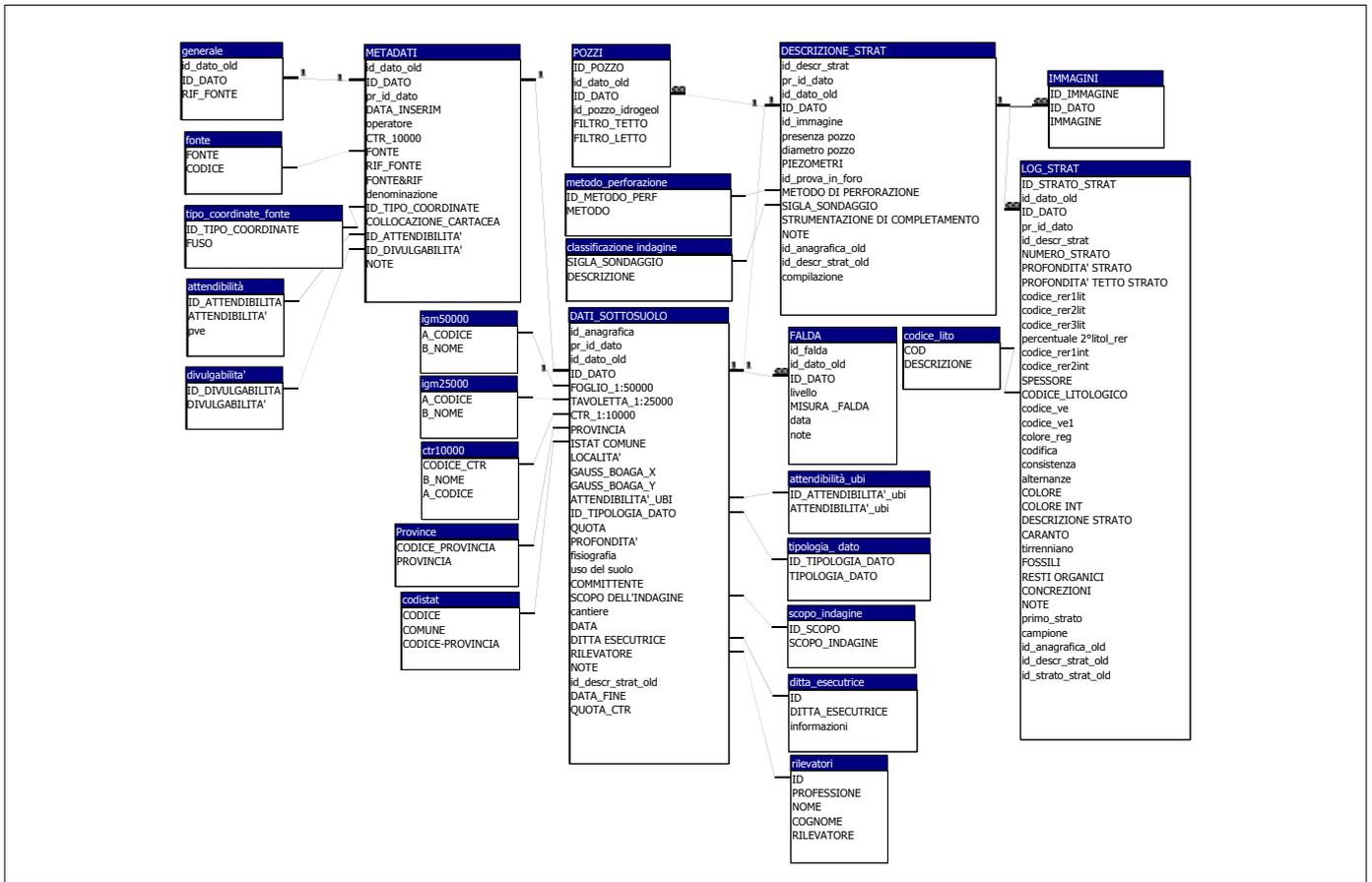


Fig. 3.2. Struttura della Banca Dati delle Indagini Geognostiche.

Le indagini geognostiche sono inoltre suddivise a seconda della tipologia in:

- indagini geofisiche (sondaggi elettrici verticali e prospezioni sismiche);
  - prove penetrometriche (statiche e dinamiche)
- di cui abbiamo solo informazioni riguardo alla georeferenziazione, all'origine del dato e alle caratteristiche dell'indagine e:
- sondaggi (a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo);
  - trivellate e trincee esplorative

di cui, oltre alle informazioni riguardo alla georeferenziazione, all'origine del dato e alle caratteristiche dell'indagine, abbiamo anche la descrizione della stratigrafia.

### 3.1.2. Descrizione della stratigrafia

In un'apposita tabella sono archiviati i dati stratigrafici ricavati dalle perforazioni. Ad ogni sondaggio sono associate quindi delle informazioni che descrivono ogni singolo strato; esse consistono in:

- profondità del tetto, del letto e spessore di ogni singolo strato;
- descrizione geologico-stratigrafica dello strato;
- litotipo prevalente che caratterizza lo strato;
- indicazioni circa la presenza o meno di fossili, resti inorganici, resti vegetali e concrezioni.

Particolarmente importante è il litotipo prevalente; ad 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'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.

Il vantaggio dell'informatizzazione, e in particolare l'utilizzo di litotipi codificati ed associati ad appositi retini, permette, oltre alla realizzazione automatica di report di stampa di ogni singolo

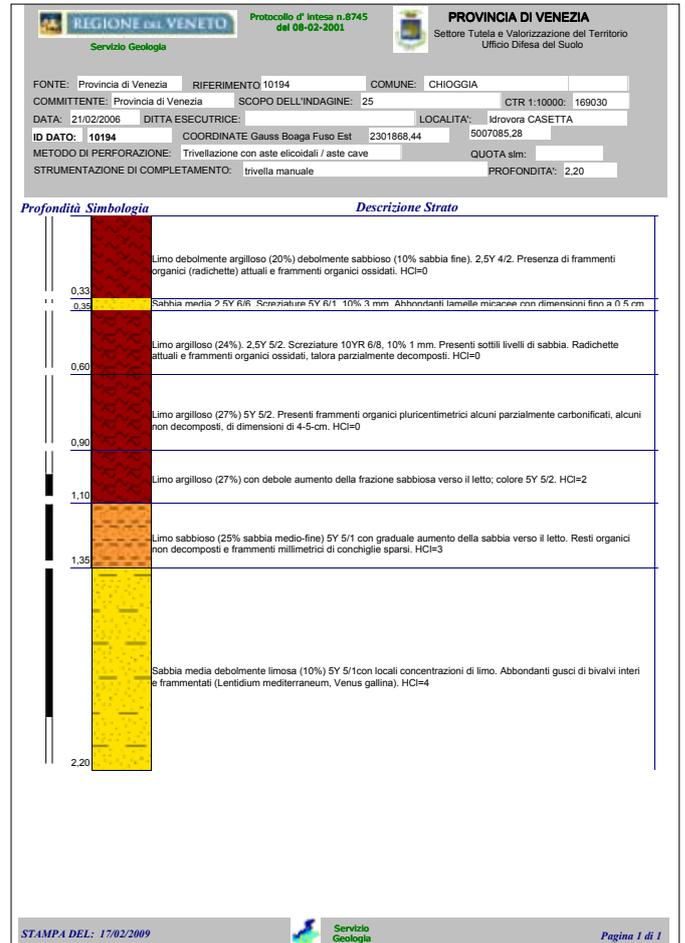


Fig. 3.3. Report di stampa di una stratigrafia.

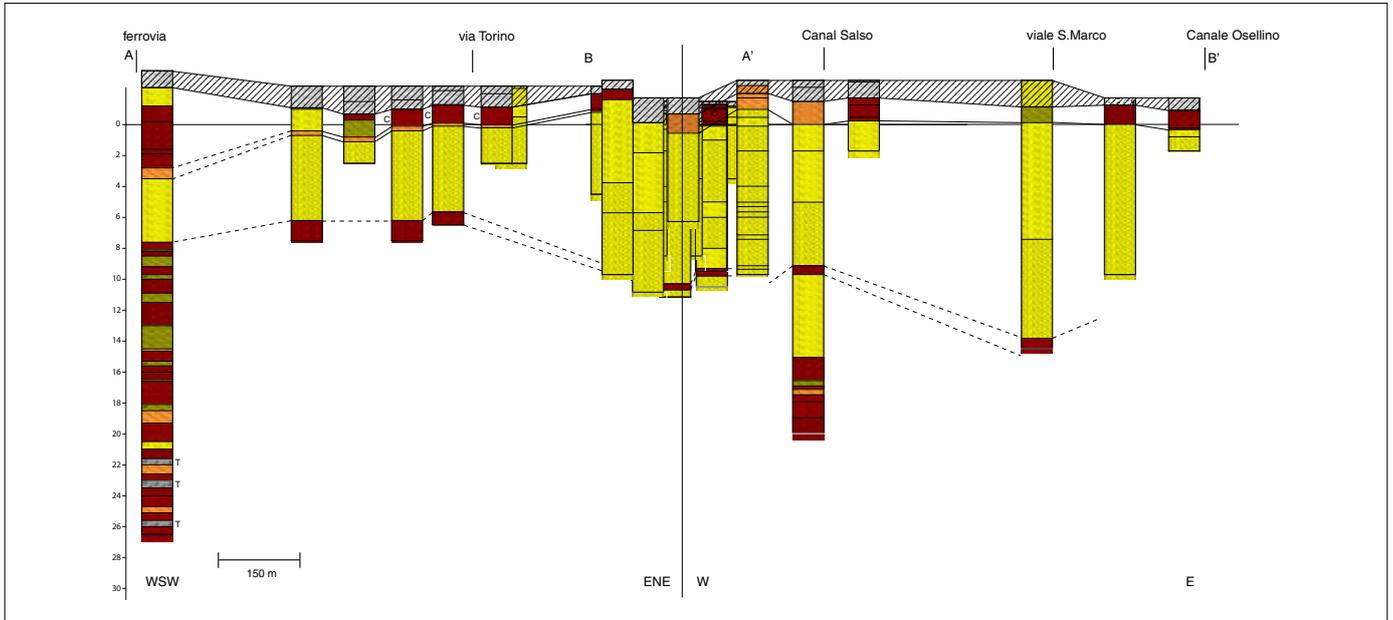


Fig. 3.4. Esempio di sezione geologica.

la stratigrafia (ogni variazione nel database risulta anche nelle restituzioni grafiche), anche la realizzazione di sezioni geologiche georeferenziate in cui ogni singola stratigrafia, essendo rappresentata da retini descrittivi colorati, risulta facilmente comprensibile e confrontabile con quelle adiacenti; le sezioni possono inoltre essere confrontate tra loro.

Inoltre l'informatizzazione dei dati geologico-stratigrafici e l'utilizzo di un opportuno codice numerico che descrive ogni singolo strato permette, attraverso una serie di elaborazioni, in parte automatiche, la realizzazione di una serie di mappe tematiche particolarmente significative, tra le quali la mappa della distribuzione delle sabbie realizzata *ad hoc* per il presente studio.

## 3.2. Interpretazione dei dati

Sandra Primon

Lo studio per la realizzazione della Carta delle unità geologiche si è avvalso fondamentalmente dell'analisi delle stratigrafie contenute nella banca dati delle indagini geognostiche della provincia di Venezia (vedi paragrafo 3.1). Questo approccio dà ragione dei vantaggi e, nello stesso tempo, dei limiti del presente lavoro. Come già descritto nel paragrafo introduttivo (Inquadramento del progetto), l'opera trentennale di archiviazione dei dati ha permesso di avere a disposizione circa 9400 stratigrafie relative a sondaggi distribuiti sull'intero territorio provinciale, informatizzate e georeferenziate, con la conseguente possibilità di un confronto diretto e immediato dei vari *log* stratigrafici attraverso la realizzazione di sezioni geologiche georeferenziate. Questo ha comportato un notevole vantaggio sia in termini di quantità di dati disponibili sia in termini di tempo necessario per l'elaborazione.

Il limite, invece, risiede nella disomogeneità della distribuzione dei sondaggi (per esempio circa 3.000 sono concentrati nella sola area di Porto Marghera), ma, soprattutto, nel variabile grado di affidabilità del dato riportato che è stato prodotto in tempi diversi, per scopi diversi e da geologi con una diversa sensibilità e un diverso grado di preparazione.

Per ovviare a questi problemi, oltre al rilevamento e all'esecuzione di nuovi sondaggi nelle aree prive di dati (vedi paragrafo 3.3.), è stata effettuata una selezione delle stratigrafie ritenute più idonee per la caratterizzazione delle unità geologiche precedentemente identificate e cartografate. In seguito, le stesse unità sono state meglio definite e delineate sulla base dello studio delle sezioni geologiche derivate da queste stratigrafie. Nella prima fase, sono state individuate quattro aree campione per mettere a punto il metodo di lavoro. Sono state scelte le aree corrispondenti ai quadranti alla scala 1:20.000 "Cavarze-

re", "Noale", "S. Donà di Piave" e "Caorle", perché considerate rappresentative della maggior parte degli ambienti sedimentari presenti all'interno del territorio provinciale veneziano.

La selezione delle stratigrafie che ricadono in queste aree, successivamente applicata all'intera provincia, è stata effettuata sulla base dei seguenti parametri:

- il grado di dettaglio fornito. Si è osservato che spesso, anche se non sempre, una descrizione dettagliata corrisponde a un maggior grado di competenza del geologo;
- il confronto tra stratigrafie della medesima area eseguite da sondatori diversi. In questo caso, naturalmente, la concordanza nella descrizione è indice di buona qualità del dato;
- il confronto con i dati pregressi;
- l'anno di esecuzione dell'indagine. In molti casi, le stratigrafie più recenti sono risultate essere le più complete e affidabili, anche se si sono rivelate indispensabili le vecchie stratigrafie rappresentative di luoghi ora completamente antropizzati (discariche, cave, centri urbani, infrastrutture di vario tipo ecc.);
- la profondità dell'investigazione. Sono state selezionate stratigrafie che, anche se poco dettagliate, raggiungevano profondità maggiori rispetto ad altre che interessavano solo i primi metri di sottosuolo;
- infine si è dovuto tener conto anche della distribuzione dei sondaggi disponibili e, di conseguenza, sono state selezionate stratigrafie meno dettagliate rispetto ad altre, ma rappresentative di aree altrimenti non investigabili.

Sulla base di questa selezione sono state prodotte circa 200 sezioni geologiche (di cui oltre 50 solo nell'area di Mestre), che hanno permesso la caratterizzazione delle varie unità geologiche riconosciute nella provincia di Venezia, e tra queste sezio-

ni sono stati scelti i 54 profili più rappresentativi delle singole unità.

Ai profili geologici sono stati associati altrettanti modelli geologici nel tentativo di fornire al lettore sia il dato oggettivo sia l'interpretazione derivata.

Ogni unità presente nella carta è stata descritta all'interno delle note nel capitolo 4 "Le unità geologiche". Per ogni unità viene indicato il sistema sedimentario di appartenenza, contraddistinto anche da un proprio colore. A tutte le unità è stato associato un codice di tre lettere che permette l'identificazione in carta e nella legenda; è stata inoltre associata un'immagine che permette la localizzazione dell'unità all'interno della provincia, e infine un testo descrittivo.

Per alcune unità non è stato possibile fornire il profilo e il modello geologico di riferimento a causa della incompletezza dei dati di partenza.

Ogni profilo geologico (transetto) è stato identificato da un numero (riportato anche in carta all'inizio della traccia della sezione), da un nome (rappresentativo della località, del corso d'acqua o della struttura più vicina), dalle coordinate Gauss-Boaga - fuso ovest del primo sondaggio, dall'elenco di tutti i sondaggi e dai comuni in cui ricade il profilo stesso.

A ciascun profilo è associato lo stralcio della carta delle unità geologiche che lo rappresenta e l'inquadramento geomorfologico (con i tematismi ripresi e aggiornati dalla Carta Geomorfologica della provincia di Venezia) con indicata l'ubicazione dei sondaggi appartenenti al transetto.

A parte poche eccezioni, profilo e modello geologico sono rappresentati alla medesima scala. Quando possibile si è cercato di mantenere scale orizzontali confrontabili, soprattutto per i profili appartenenti ad una stessa unità, mentre la scala verticale (espressa in metri) è diversificata in base alla profondità di investigazione. La scala verticale è diversa per i profili profondi meno di 10 m, per quelli compresi tra 10 e 30 m e per quelli superiori a 30 m.

Ogni transetto riporta in alto la sigla dei sondaggi e in basso

la distanza in metri tra sondaggi adiacenti. Nei profili, inoltre, è riportata la correlazione tra le principali facies sedimentarie riconosciute sulla base dei dati ricavati dalle stratigrafie, e con opportuni simboli (vedi paragrafo 4.2.) è indicata la presenza di eventuali indicatori ambientali. A questo riguardo, non è stato possibile identificare con maggiore dettaglio questi indicatori, data l'elevata disomogeneità riscontrata nella loro descrizione: ad esempio si è preferito indicare la presenza di molluschi continentali e lagunari-marini con lo stesso simbolo, oppure si è scelto di non riportare quegli indicatori descritti in un numero molto limitato di sondaggi e quindi non rappresentativo per l'intero territorio provinciale.

Le concrezioni carbonatiche non sempre sono coincidenti con il caranto inteso come paleosuolo. La presenza di quest'ultimo viene indicata con un segmento azzurro (nel profilo) e una linea blu (nel modello) che corrispondono al limite tra i depositi pleistocenici e i sovrastanti depositi olocenici. Il limite è stato posto in corrispondenza del tetto dello strato contenente le concrezioni carbonatiche riconosciuto come caranto, anche se talora è possibile che i primi orizzonti posti al top del caranto (in genere alcuni decimetri) e quindi sopra la linea blu, siano comunque un residuo del suolo pleistocenico.

Una delle problematiche emerse dall'analisi delle stratigrafie è stata la difficoltà talora riscontrata nel distinguere i sedimenti di origine naturale rimaneggiati. È possibile che in alcuni casi, in aree urbane o in zone che hanno subito notevoli rimaneggiamenti da parte dell'uomo (aree situate vicino a canali artificiali, aree spianate o bonificate, aree sede di migliorie fondiarie), i sedimenti riportati siano stati scambiati per l'originale sequenza stratigrafica. Nelle aree di Porto Marghera è frequente trovare indicata la presenza di due o più livelli di caranto a profondità diversa all'interno della stessa stratigrafia, oppure la sequenza inversa con i depositi lagunari posizionati sotto il caranto: in questi casi è stato relativamente facile riconoscere la genesi antropica della sequenza sedimentaria.

### 3.3. Rilevamento geologico

Tiziano Abbà

L'acquisizione diretta di dati sul sottosuolo è stata fondamentale per integrare e interpretare correttamente le informazioni già presenti nel data base della Provincia di Venezia. Alcune aree del territorio provinciale sono state recentemente rilevate per altri progetti (come il Progetto CARG - Foglio 107 "Portogruaro"), i cui risultati sono confluiti in questa carta. Per coprire l'intero territorio e per approfondire le conoscenze in determinati settori, sono state programmate delle campagne di rilevamento geologico svolte attraverso l'esecuzione di carotaggi, la descrizione di pareti di scavo e l'osservazione dei caratteri pedologici e stratigrafici della superficie.

I carotaggi sono stati utilizzati principalmente per determinare le caratteristiche di alcuni paleoalvei, realizzando dei transetti ortogonali alla direzione dell'alveo con trivellate generalmente distanziate di 2-10 m all'interno del canale abbandonato e di 30 m all'esterno, proseguendo possibilmente fino al limite esterno degli argini naturali. Le caratteristiche rilevate sono la profondità degli alvei, la loro larghezza, i rapporti laterali con i sedimenti della piana di esondazione, la granulometria e, in alcuni casi, la composizione mineralogica dei sedimenti. I siti indagati sono stati scelti individuando uno o più paleoalvei ritenuti rappresentativi per l'unità geologica cui appartengono. I transetti realizzati nell'ambito del presente progetto sono ubicati nei pressi di San Donà di Piave e Cittanova per l'unità di Cittanova (paleoalvei olocenici del Piave), a Treponti di Santa Maria di Sala e a Malpaga di Mira per l'unità di Mestre (paleoalvei pleistocenici del Brenta), nei pressi di Camponogara e di Boion per l'unità di Camponogara (paleoalvei medio-olocenici del Brenta), a Dolo

per l'unità omonima (dosso sub-attuale del Naviglio Brenta), vicino a Ca' Bianca di Cona per l'unità di Delta Brenta (paleoalveo medioevale del Brenta, oggi Canale Brentone) e nelle località Solferino e Motta Molara, nel comune di Cona, per l'unità di Pegolotte (paleoalveo olocenico del Po) e di Cavarzere.



Fig. 3.5. Campioni estratti da una trivellata manuale di 7,80 m nei pressi di Meolo (foto Abbà T., Provincia di Venezia, 2006).



Fig. 3.6. Rilievo di una sezione stratigrafica affiorante su una parete di scavo nei cantieri del Passante di Mestre (foto Abbà T., Provincia di Venezia, 2006).

In altri contesti, con l'esecuzione di carotaggi si è cercato di chiarire situazioni stratigrafiche in settori della pianura dove le informazioni pregresse erano incomplete, come l'area a sud del Naviglio Brenta, fra Dolo e Malcontenta, o per campionare sedimenti di particolare interesse (sabbie per l'analisi mineralogica e torbe o sostanza organica per le datazioni radiometriche).

I carotaggi serviti allo scopo sono circa 200. La maggior parte (circa 160) sono stati eseguiti manualmente con una trivella di tipo olandese. Sono state utilizzate la punta Edelman (di forma elicoidale) per terreni situati sopra la superficie della falda e la punta a sgorbia o *gouge* (a forma di doccia) per terreni saturi. La profondità raggiunta, variabile in funzione delle caratteristiche del terreno, va da meno di un metro nelle sabbie



Fig. 3.7. Rovine della Torre delle Bebbe, a sud di Ca' Pasqua. La torre difensiva fu costruita nell'VIII secolo d.C., come testimonia la lapide marmorea, lungo il corso del Brenta di allora. Il paleoalveo è attualmente percorso dal canale Brenton (foto Abbà T., Provincia di Venezia, 2008).

sciolte dei cordoni dunali a oltre 8 m nei sedimenti lagunari attuali o nei limi organici che riempiono i canali abbandonati. Circa 40 sondaggi sono stati eseguiti con una trivella meccanica ad aste elicoidali, in grado di penetrare nel sottosuolo fino a 6-7 metri.

Una consistente quantità di informazioni proviene dalla descrizione delle pareti di scavi aperti in cantieri edili o stradali e delle sponde di scoline agrarie appena rifatte. Rilievi di questo tipo sono ovviamente fortuiti, non provenendo necessariamente da zone di particolare interesse, ma forniscono informazioni molto più dettagliate dei carotaggi manuali. In particolare si è verificata una fortunata concomitanza fra il periodo delle campagne di rilevamento per il presente progetto e i lavori per la costruzione del Passante Autostradale di Mestre (vedi appendice 2). Gli scavi per i tratti in trincea del nuovo segmento autostradale si sono spinti al massimo fino a 8-9 m di profondità per diverse centinaia di metri di lunghezza, offrendo delle sezioni geologiche straordinarie su gran parte della pianura pleistocenica del Brenta. Spesso il tracciato autostradale è ortogonale alle direttrici dei dossi fluviali e dei paleoalvei presenti in quel settore della pianura, così che gli scavi mettevano in chiara luce le geometrie delle strutture sedimentarie.

Sono stati eseguiti anche dei rilievi più speditivi, con osservazioni superficiali di tipo topografico-morfologico e pedologico, eventualmente con l'aiuto di trivellate poco profonde o di piccoli scavi manuali. L'obiettivo, in questi casi, era la verifica di informazioni ricavate da foto aeree o immagini satellitari, dal microrilievo o da carte pedologiche e geoarcheologiche su aree relativamente estese.

È stato possibile anche descrivere nel dettaglio sondaggi profondi eseguiti a carotaggio continuo con sonde meccaniche, finalizzati ad altri progetti (CARG, CO.RI.LA., ISES, Studio Idrogeologico di Porto Marghera, indagini ambientali) in cui spesso era coinvolta la Provincia di Venezia. Sono stati descritti circa 30 carotaggi, la maggior parte dei quali ubicati nei dintorni di Mestre e Marghera.

Nella descrizione dei sedimenti sono stati seguiti criteri pedologici, stratigrafici e sedimentologici, con grado di dettaglio variabile in relazione alla qualità del materiale a disposizione. Tra le proprietà rilevate vi sono la tessitura e il colore dei sedimenti, l'effervescenza all'acido cloridrico, la presenza di elementi pedogenetici quali screziature, patine, concrezioni carbonatiche e noduli ferro-manganesiferi, il contenuto biogenico (resti vegetali e conchiglie) e archeologico (laterizi, schegge di selce lavorata, cocci di vasi o frammenti di altri manufatti).

La granulometria dei sedimenti grossolani è stata determinata con l'aiuto di un comparatore granulometrico o con una scala millimetrata di riferimento. L'abbondanza delle frazioni fini è stata stimata sulla base delle proprietà percepibili manipolando i sedimenti umidi, secondo criteri empirici comunemente seguiti dai pedologi (Sanesi, 1977). Il colore dei terreni pedogenizzati è stato determinato tramite le tavole cromatiche Munsell. Il contenuto in carbonato di calcio dei sedimenti è stimato sulla base dell'effervescenza ad una soluzione di acido cloridrico diluita al 10%.

Particolare attenzione è stata posta alle caratteristiche degli orizzonti di accumulo del carbonato di calcio, in special modo al loro spessore, all'abbondanza e alle dimensioni delle con-

crezioni, al grado di decarbonatazione degli orizzonti pedogenetici sovrastanti (ove conservati). La lisciviazione del carbonato di calcio dai sedimenti superficiali e il suo conseguente accumulo in profondità è un fenomeno pedogenetico che avviene con continuità dal momento della deposizione dei sedimenti, per l'azione chimica delle acque percolanti e per la loro interazione con la superficie della falda. Lo sviluppo dei suoli è generalmente proporzionale alla quantità di tempo di esposizione dei sedimenti. Per questo motivo, in settori della pianura omogenei per condizioni climatiche e mineralogia dei sedimenti, il grado di sviluppo degli orizzonti calcici diventa un riferimento per stimare l'età relativa dei suoli. L'orizzonte più noto è il cosiddetto "caranto", situato al tetto della successione pleistocenica e caratterizzato in genere da una forte sovraconsolidazione e da concrezioni carbonatiche abbondanti e di grandi dimensioni (Mozzi et al., 2003). Orizzonti calcici più recenti di quello pleistocenico sono più sottili, presentano concrezioni meno numerose e più fragili, oppure ne sono del tutto privi e contengono solamente patine biancastre.

Altro importante riferimento stratigrafico è costituito dai livelli torbosi o, più in generale, dagli orizzonti con elevata concentrazione di sostanza organica. Nei sedimenti pleistocenici vi sono strati di torba estesi lateralmente per decine di chilometri che permettono correlazioni fra porzioni della pianura tra loro distanti. In queste condizioni, la datazione della sostanza organica mediante l'isotopo radioattivo  $^{14}\text{C}$  permette di stimare quantitativamente il tasso di aggradazione della pianura in ampi settori. Diversa è la situazione nelle aree a sedimentazione olocenica, dove i livelli organici sono più discontinui e le correlazioni a grande distanza incerte. In questo contesto sono stati molto utili i livelli organici e torbosi situati in prossimità dei paleoalvei o all'interno delle depressioni di alveo abbandonato, in quanto permettono di datare, a seconda della loro posizione stratigrafica, il periodo di attivazione o disattivazione di rami fluviali ora estinti, per molti dei quali non si ha documentazione storica.

Un ulteriore elemento preso in esame è la composizione mineralogica dei sedimenti grossolani (sabbie e ghiaie). Questo parametro, strettamente legato alle litologie affioranti nei bacini montani, è fondamentale per risalire alla provenienza dei sedimenti di pianura in zone dove le considerazioni morfologiche non siano sufficienti. È il caso del settore meridionale della provincia di Venezia, dove si sovrappongono le imbricate dei fiumi Po e Adige, al punto che spesso conviene considerarlo genericamente come un settore di pertinenza padano-atesina. Nel corso del presente lavoro si è tentato di chiarire i dubbi con l'analisi mineralogica della sabbia prelevata dai paleoalvei maggiori e da cordoni di dune fossili che costituiscono antichi apparati deltizi. Le sabbie trasportate dal Po, infatti, si distinguono da quelle atesine per la presenza dei minerali metamorfici di alta pressione che caratterizzano le Alpi occidentali. Nelle altre porzioni del territorio provinciale l'analisi del microrilievo della superficie assieme allo studio della direzione delle tracce paleoidrografiche consente di attribuire i diversi settori ai vari megafan alluvionali formati dai principali fiumi alpini. Il problema della provenienza dei sedimenti allora si pone nel sottosuolo. Ad esempio, nei pressi di Scorzè sono state riconosciute ghiaie deposte dal Piave a 29 m di profondità, sepolte dalle alluvioni tardo-pleistoceniche del Brenta.

### 3.4. Datazioni geocronologiche

Alessandro Fontana

I nuovi rilevamenti condotti per la realizzazione della cartografia e i carotaggi geognostici che si sono potuti seguire, hanno consentito di effettuare numerosi campionamenti di materiali organici (strati torbosi, argilloso-limoso organici, tronchi, ma-

croresti vegetali e conchiglie marine, lagunari e continentali) in vari punti e a diverse profondità. Tra tutto il materiale recuperato, sono stati selezionati 15 campioni che sono stati sottoposti a datazione con il metodo del radiocarbonio. Fra essi,

Tabella 3.2. Tabella riassuntiva delle datazioni effettuate nel progetto unità geologiche in provincia di Venezia.

	Sigla campione	Sigla laboratorio e metodo	Coordinate WGS84		Quota piano campagna (m)	Profondità (m)	Tipo di materiale	Significato della datazione	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (PDB)	Età radiocarbonio ( $^{14}\text{C}$ age BP)	Età calibrata IntCal04 - 1 $\sigma$ (anni dal presente)
			NORD	EST							
1	GIARE_210	Ua-34833 AMS	45°23'42"	12°10'07"	0,0	2,10	sedimento organico	attivazione dosso	-27,8	955±35	881±49
2	SOL7_310	Ua-34830 AMS	45°10'02"	12°08'07"	+1,0	3,10	resti vegetali	attivazione dosso	-25,7	3235±35	3446±37
3	CAMPN_270	Ua-34831 AMS	45°22'02"	12°08'08"	0,0	2,70	resti vegetali	attivazione alveo	-28,7	3460±35	3717±55
4	CN6_200	Ua-34838 AMS	45°47'05"	12°43'20"	0,0	2,00	sedimento organico	attivazione alveo	-27,1	3585±35	3883±44
5	CO03 435-445	GX-32860 conv.	45°10'19"	11°59'18"	+0,1	4,35-4,45	torba	attivazione alveo	-29,8	3960±110	4413±157
6	CO04 705	GX-32861 conv.	45°10'25"	11°59'16"	+1,2	7,05	Legno	base post-LGM	-29,5	4280±160	4848±219
7	TdF_2	Ua-34839 AMS	45°34'18"	12°45'16"	-1,0	1,0	conchiglia, <i>Glycim.</i>	spiaggia	-1,3	4905±40	5628±32
8	MEOLO_520	Ua-34840 AMS	45°38'29"	12°28'56"	+1,0	5,20	resti vegetali	disattivazione alveo	-27,0	5280±45	6039±75
9	TR_144_580	Ua-34836 AMS	45°38'50"	12°36'32"	0,0	5,80	sedimento organico	alveo attivo	-28,7	6075±45	6931±60
10	CN2_650	Ua-34837 AMS	45°37'49"	12°39'33"	+0,5	6,50	sedimento organico	attivazione alveo	-26,4	6375±50	7301±53
11	BOJON_505	Ua-34834 AMS	45°20'02"	12°06'07"	+2,0	5,05	sedimento organico	attivazione dosso	-30,1	14.785±120	17.674±276
12	MALC_245	Ua-34832 AMS	45°25' 02"	12° 12' 07"	+1,5	2,45	resti vegetali	testa piana LGM	-34,9	15.800±130	18.970±131
13	DOLO_540	Ua-34835 AMS	45°25'02"	12°06'07"	+4,0	5,40	sedimento organico	tetto pianura LGM	-28,7	17.890±165	21.213±250
14	CA50-2150	Ua-34828 AMS	45°11'05"	12°13'43"	+1,0	21,50	argilla torbosa	tetto pianura LGM	-29,0	20.565±235	24.517±310
15	CA50-4640	Ua-34829 AMS	45°11'05"	12°13'43"	+1,0	46,40	legno	pianura pre-LGM	-30,1	29.490±695	34.895±707

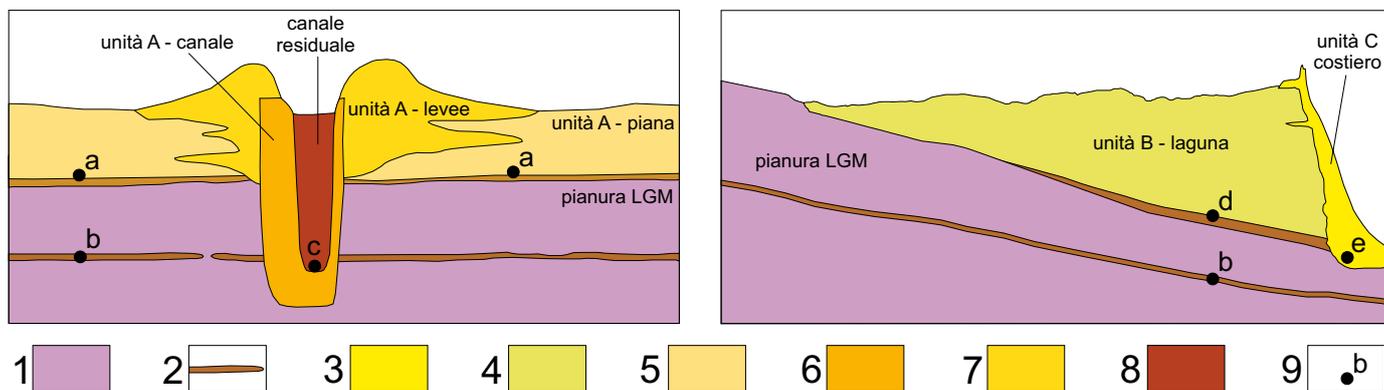


Fig. 3.8. Schema del significato delle datazioni al radiocarbonio (modificato da Berendsen & Stouthammer, 2001). 1) piana LGM; 2) livelli torbosi o torboso-organici; 3) depositi costieri olocenici; 4) depositi lagunari olocenici; 5) piana alluvionale olocenica; 6) depositi di canale olocenici; 7) argini naturali olocenici; 8) depositi organici di canale residuale olocenico; 9) datazione. Significato delle datazioni: a) attivazione unità A o B o C; b) attività pianura LGM; c) disattivazione unità A; d) attivazione unità B; e) attivazione unità C (conchiglie).

2 campioni sono stati inviati al Geochron Laboratories della Krueger Enterprises Inc., Cambridge (Massachusetts, USA) e altri 13 campioni all'Angstrom Laboratoriet della Institutionen for Teknikvetenskaper Avdelningen for Jonfysik presso l'Università di Uppsala (Svezia). I primi sono stati datati con il metodo convenzionale della scintillazione fluida, mentre gli altri tramite il metodo dell'Acceleratore e Spettrometro di Massa (AMS) che consente l'utilizzo di pochi milligrammi di carbonio, velocizzando le analisi e fornendo un risultato più affidabile rispetto al metodo tradizionale. Infatti, la tecnica con AMS misura direttamente la concentrazione di  $^{14}\text{C}$  presente nel campione e non in via indiretta come la tecnica convenzionale. I risultati delle analisi (tab. 3.2.) sono stati poi calibrati secondo la curva di Fairbanks et al. (2005).

I campioni sono stati selezionati mirando ad ottenere datazioni rappresentative dell'attivazione o disattivazione di alcune delle unità geologiche riportate in carta e, uniti ai dati recentemente acquisiti grazie al progetto CARG, consentono un significativo miglioramento delle conoscenze cronostratigrafiche.

Quasi tutti i campioni corrispondono a livelli organici e torbosi più o meno spessi, genericamente rappresentativi di periodi di mancata sedimentazione. In vari casi si tratta di livelli potenti pochi centimetri formati durante l'ultimo massimo glaciale (LMG: 24.000-14.500 anni  $^{14}\text{C}$  BP non calibrati) e corrispondenti a zone di pianura in cui stagnavano le acque superficiali (Miola et al., 2006). In alcuni casi sono stati recuperati o individuati livelli potenti da alcuni decimetri fino a 3 m, che si sono formati entro le depressioni corrispondenti ad alvei fluviali abbandonati durante l'Olocene (ultimi 11.500 anni). La datazione della base di tali riempimenti fornisce un'età minima per la disattivazione dell'alveo. In altre situazioni gli strati databili corrispondono agli orizzonti organici del suolo che si sviluppava sulla pianura pleistocenica o ai depositi di palude dolce (retrobarriera) che sono poi stati sepolti dalla trasgressione marina olocenica e/o dalla formazione delle lagune. In un caso è stata datata la conchiglia di un esemplare di *Glycymeris*, campionato entro i depositi di spiaggia presenti presso Torre di Mosto.

### 3.5. Analisi compositiva di alcuni livelli sabbiosi

Cristina Stefani

Sono state eseguite analisi petrografico-mineralogiche di livelli sabbiosi intercettati dai sondaggi 11292 (trasetto n.41 – Motta Molara), 12621, 12632 e 12626 (trasetto n.42 – Brentone), 12634 (trasetto n.43 – Po di Adria), 11299 e 11300 (trasetto n.45 – Solferino), più alcuni campioni prelevati nelle dune di Bosco Nordio (unità di Sant'Anna), in quelle di località Cavana (unità di Cavanella d'Adige) e Valcerere Dolfina (unità di Motte Cucco) e in un paleoalveo situato nei pressi di Roncade (provincia di Treviso). Tutti i campioni sono stati prelevati entro i primi metri di profondità dal piano campagna.

Le analisi modali sono state condotte secondo una metodologia che permette il confronto dei dati ottenuti con quelli della letteratura, per la verità assai scarsi, sulla composizione delle sabbie dei principali corsi d'acqua della pianura veneta, allo scopo di determinare la provenienza/pertinenza dei sedimenti. L'intera frazione sabbiosa (0.062-2 mm) è stata dapprima inglobata artificialmente; il preparato così ottenuto è stato utilizzato per ricavare una sezione sottile, su cui è stata eseguita l'analisi modale mediante l'uso di un tavolino traslatore ad incrementi costanti di 0.5 mm. Su ciascun campione sono stati riconosciuti almeno 200 grani dell'ossatura. Allo scopo di ridurre l'influenza della grana sulla composizione, e quindi sui ri-

sultati che si volevano ottenere, le analisi sono state condotte seguendo il metodo "Gazzi-Dickinson" (Ingersoll et al., 1984). I risultati delle analisi sono riportati in tabella 3.3 e rappresentati nei triangoli classificativi (figg. 3.9, 3.10, 3.11, 3.12) ove Q rappresenta il totale dei grani di quarzo, sia mono- che policristallino, F il totale dei feldspati, L i frammenti litici a grana fine a cui sono stati aggiunti i carbonati extrabacinali (CE).

Tutti i campioni ricadono nel campo classificativo delle sabbie litiche. Per confronto, nei medesimi triangoli delle figg. 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 è rappresentata anche la composizione delle sabbie dei fiumi Piave, Brenta, Adige e Po, ricavata dalla letteratura (Gazzi et al., 1973) e ottenuta con tecniche analitiche analoghe, allo scopo di stabilire il principale distributore degli apporti.

A tal proposito è bene ricordare che per distinguere petrograficamente gli apporti di un corso d'acqua da quelli di un altro è necessario che i due corsi d'acqua drenino litologie differenti e che i sedimenti che andiamo ad analizzare non abbiano subito "contaminazione" da parte di sedimenti di corsi d'acqua adiacenti. Mentre la prima condizione è facilmente verificabile analizzando la cartografia geologica, la seconda è difficile da verificare, soprattutto in presenza di sedimenti molto distali e nei

Tabella 3.3. Analisi compositiva dei livelli sabbiosi campionati. Q rappresenta il totale dei grani di quarzo, F il totale dei feldspati, L i frammenti litici a grana fine e CE i carbonati extracalcinici. I campioni analizzati sono contraddistinti dal numero del sondaggio (banca dati della provincia di Venezia), dalla sigla originale e dal numero rappresentato nei diagrammi delle figg. 3.9, 3.10, 3.11, 3.12.

n. sondaggio	11299	12621	BND1	BND3	CAV1	CAV2	VCD1	VCD2
sigla originale	SOL4	CBN3	BND1	BND3	CAV1	CAV2b	VCD1b	VCD2b
<b>n. nei diagrammi</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Q</b>	49,1	50,0	41,6	41,2	39,9	33,7	55,0	49,1
<b>F</b>	13,3	8,3	11,8	17,6	11,7	10,6	8,7	6,6
<b>L</b>	17,6	20,4	19,9	15,7	15,2	18,3	13,5	15,1
<b>CE</b>	9,0	17,6	25,5	16,7	30,5	33,7	19,3	23,6
<b>fillosilicati</b>	7,9	2,8	0,6	3,9	1,0	0,8	1,0	0,6
<b>minerali pesanti</b>	3,2	0,9	0,6	4,9	1,8	3,1	2,5	5,1

n. sondaggio	VCD4	Roncade	12626	11300	11292	12634	12632a	12632b
sigla originale	VCD4	R1	CBN9	SOL5	MTM6	6705	6708	6708
<b>n. nei diagrammi</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>Q</b>	49,8	38,4	29,9	38,5	37,2	55,3	41,1	36,4
<b>F</b>	7,5	5,2	13,0	15,4	19,8	15,5	11,6	8,4
<b>L</b>	13,1	16,9	22,3	17,1	12,4	18,6	18,6	29,4
<b>CE</b>	23,5	35,5	33,7	13,7	14,0	3,7	23,3	23,1
<b>fillosilicati</b>	1,2	4,1	0,5	8,5	14,9	1,9	3,9	1,4
<b>minerali pesanti</b>	4,9	-	0,5	6,8	1,7	5,0	1,6	1,4

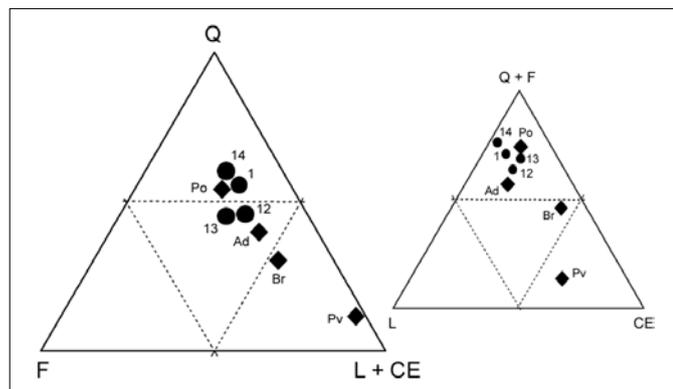


Fig. 3.9. Risultati dell'analisi modale dei campioni di sabbie (0.063-2.00 mm). Q: quarzo; F: feldspati; L + CE: frammenti litici a grana fine e frammenti di rocce carbonatiche. La composizione dei sedimenti dei fiumi Piave (Pv), Brenta (Br), Adige (Ad) e Po è stata ricalcolata da Gazzi et al. (1973).

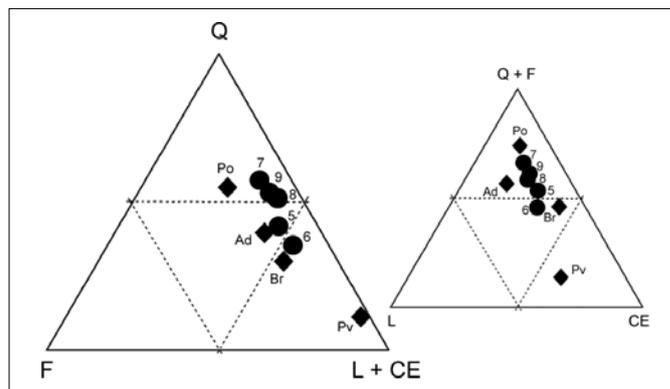


Fig. 3.11. Risultati dell'analisi modale dei campioni di sabbie (0.063-2.00 mm). Vertici e sigle come in fig. 3.9.

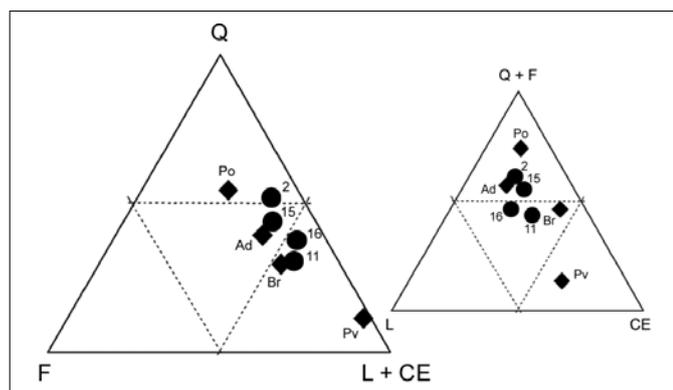


Fig. 3.10. Risultati dell'analisi modale dei campioni di sabbie (0.063-2.00 mm). Vertici e sigle come in fig. 3.9.

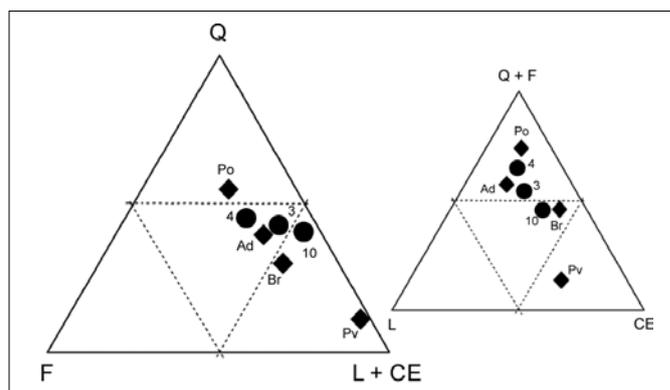


Fig. 3.12. Risultati dell'analisi modale dei campioni di sabbie (0.063-2.00 mm). Vertici e sigle come in fig. 3.9.

tratti di bassa pianura alluvionale, come quelli qui considerati. Nel tentativo di meglio discriminare la pertinenza a corsi d'acqua differenti sono stati anche ricalcolati alcuni parametri rappresentati in triangoli suppletivi a vertici Q + F, L, CE recentemente proposti da Lugli et al. (2004; 2007) e Monegato (2007) per successioni in cui è importante il contributo di rocce carbonatiche.

Per comodità di rappresentazione, i campioni sono stati suddivisi, ove possibile, sulla base del paleoalveo di appartenenza in quattro gruppi che mostrano al loro interno una sensibile omogeneità.

I campioni del paleoalveo del Po di Adria (14 - sond. 12634), di Solferino (1 - sond. 11299, 12 - sond. 11300) e di Motta Molara (13 - sond. 11292) (fig. 3.9) mostrano una discreta analogia compositiva e percentuali di minerali pesanti (tab. 3.3) che li fanno avvicinare ai sedimenti del fiume Po. Tuttavia per i campioni 12 e 13 non è da escludere una mescolanza con i sedimenti del fiume Adige; in particolare le sabbie prelevate dal paleoalveo di Motta Molara (13) mostrano un basso contenuto in minerali pesanti.

I campioni 2 (sond. 12621), 15 e 16 (sond. 12632) (fig. 3.10) prelevati nel paleoalveo Brentone mostrano una analogia compositiva con i sedimenti del fiume Adige caratterizzati da una discreta percentuale di frammenti di rocce carbonatiche e di

vulcaniti acide e più bassi tenori di minerali pesanti (tab. 3.3). Il quarto campione prelevato dal paleoalveo Brentone (11, sond. 12626) si avvicina, invece, come composizione ai sedimenti del fiume Brenta, confermando apparentemente l'ipotesi che questo paleoalveo corrisponda ad un antico alveo dell'Adige ripreso successivamente da un Brenta medievale.

I campioni in fig. 3.11 (5, 6, 7, 8 e 9) corrispondono a sabbie molto superficiali prelevate dalla zona di Valcerere Dolfina (unità di Motte Cucco) e di Cavana (unità di Cavanella d'Adige). La sensibile presenza di clasti carbonatici, unitamente a quella di frammenti di rocce metamorfiche di alto grado a cui si accompagna una discreta percentuale di minerali pesanti tra cui l'anfibolo alcalino, suggeriscono il fiume Po, come principale distributore, anche se non è da escludere una mescolanza con i sedimenti del fiume Adige (frammenti di rocce carbonatiche) in particolare per i campioni appartenenti all'unità di Cavanella d'Adige (5 e 6).

Infine i campioni di fig. 3.12 (3 e 4 - unità di Sant'Anna) sembrano più compatibili sulla base della composizione con i sedimenti del fiume Adige, mentre il campione 10 (prelevato in un paleoalveo situato nei pressi di Roncade) si avvicina al fiume Brenta. Le variabili quantità di fillosilicati e di minerali pesanti fanno ritenere molto probabile si tratti di campioni che hanno subito una marcata selezione idraulica.

## 3.6. L'archeologia

Paola Furlanetto

### 3.6.1. La metodologia di ricerca

L'archeologia ha svolto un ruolo attivo e sussidiario nell'elaborazione della *Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia*, del tutto simile a quello assunto durante la redazione della Carta Geomorfologica della provincia di Venezia (Furlanetto, 2003). Medesimo è il gruppo di lavoro che ha coinvolto specialisti di varie discipline e medesimo l'approccio metodologico multidisciplinare, che ha caratterizzato il lavoro di acquisizione ed elaborazione dei dati. Una strategia di ricerca che contempla e prevede l'analisi, la stratificazione e l'interpolazione dei dati archeologici, geomorfologici, geologici, cartografici e telerilevati, attraverso l'assunzione di metodologie d'indagine integrate tradizionali, non invasive, e innovative, ognuna delle quali impiegata con l'obiettivo di rispondere a peculiari esigenze di visibilità e comprensione del dato, a seconda del tipo di indagine, geologica o archeologica.

Un approccio metodologico di questo tipo entra a buon diritto nel campo della Geoarcheologia, che Cremaschi (2000) definisce come: "ricerca archeologica, che utilizza concetti e metodi delle Scienze della Terra, di cui condivide alcuni obiettivi ed il campo della ricerca". Si inserisce in quella che oggi è chiamata "archeologia del paesaggio" o, con una definizione più recente, "archeologia dei paesaggi" (Cambi & Terrenato, 1994; De Guio, 1992), "ma che in realtà altro non è se non evoluzione del principio che storia e geografia fisica di un territorio sono strettamente correlate e intrecciate e non si può comprendere appieno l'una se non si considera anche l'altra" (Dall'Aglio, 2007). Rientrano in questo filone di indagini e ricerche anche le carte di paesaggio, definite anche "di unità di terre o *land units*," (Volpe & Harnoldus - Huyzendveld, 2005): dapprima circoscritte all'ambito geologico e poi sperimentate in quello archeologico; esse delimitano e identificano ambienti geografici ragionevolmente omogenei per quanto riguarda le dinamiche naturali e antropiche, i fattori ambientali e gli interventi antropici che ne influenzano l'uso potenziale in epoca antica.

Le caratteristiche e le finalità del tutto particolari della Carta delle unità geologiche hanno condizionato e affinato il metodo e la sua applicazione. Il tipo di ricerca, che non prevedeva la presenza dei siti archeologici in carta, né era legato a un pro-

getto specifico geo-archeologico di ricognizione e analisi dei dati, è stato condizionato anche dai dati disponibili e dalla loro peculiarità. Un'archeologia, dunque, applicata e "al servizio" della geologia, e non viceversa, come solitamente accade. In questo contesto il dato archeologico contribuisce a definire le singole unità ed è utilizzato sia come marcatore archeologico in termini di presenza/assenza, che come vero e proprio indicatore cronologico, a verifica e conferma dell'età di attivazione/disattivazione di un percorso idrografico o di un sistema deposizionale. Il dato archeologico, considerato quindi in termini di conferma cronologica, è stato messo a confronto con i dati desunti dalla geologia, in particolare con le radiodattazioni, dalla cartografia storica e dai dati telerilevati, contribuendo a definire meglio e a confermare le singole età delle unità identificate.

### 3.6.2. Strumenti

Sono stati presi in esame e utilizzati i siti archeologici già pubblicati e cartografati nella *Carta geomorfologica della provincia di Venezia* (Bondesan & Meneghel, 2004, appendice 2). Si tratta di circa 800 siti in gran parte editi nella Carta Archeologica del Veneto (Capuis et al., 1988; 1994), in parte desunti da pubblicazioni di carattere scientifico, posteriori alla pubblicazione dei volumi della Carta Archeologica, e in parte, inediti e forniti dalla Soprintendenza Archeologica del Veneto. Essi sono stati oggetto di controllo, revisione e aggiornamento durante l'elaborazione della Carta geomorfologica della provincia di Venezia, per quanto riguarda ubicazione, coordinate, contesto e datazione. Massima attenzione durante l'elaborazione della Carta è stata data alla localizzazione, in rapporto agli elementi morfologici, soprattutto dossi e paleoalvei, alla profondità e allo spessore degli strati archeologici, ai dati di scavo, che sono stati, in molti casi, nuovamente controllati.

Ha offerto un contributo importante *La Carta delle unità del Paesaggio geo-archeologico della provincia di Venezia*, (P. Furlanetto, 2008, in corso di pubblicazione), che consente un'immediata lettura delle caratteristiche fisiche, ambientali e antropiche del paesaggio antico del territorio della Provincia di Venezia. È articolata in Unità e Sub Unità di paesaggio, che

delimitano ambiti geografici ragionevolmente omogenei per quanto riguarda genesi, evoluzione geomorfologica, caratteristiche insediative in epoca antica, e che presentano medesima evidenza geo-archeologica. Sono state identificate e delimitate 6 grandi unità, aree omogenee a grande estensione, e 26 sub unità, elementi morfologici (dossi, paleoalvei e cordoni dunali) ed elementi antropici di grande evidenza geo-archeologica, che, all'interno delle singole unità, ne sono parte integrante.

Ha offerto un contributo efficace lo studio della cartografia storica che si è avvalso della consultazione e dell'utilizzo della *Banca dati della cartografia storica della Laguna di Venezia e della gronda lagunare IMAGO*, (2000-2004), progettata e a cura di Paola Furlanetto e Aldino Bondesan, e finanziata dal Magistrato alle Acque - Consorzio Venezia Nuova - Servizio Informativo (Responsabile ing. Roberto Rosselli), sulla scorta di una convenzione con l'Archivio di Stato di Venezia (Furlanetto & Primon, 2004; Furlanetto et al., 2004). La sua realizzazione è stata preceduta dallo spoglio di circa 6500 carte storiche già inventariate e conservate all'Archivio di Stato. Sono state selezionate circa 350 carte storiche riferibili ai secoli XV, XVI, XVII. Per ognuna di esse è stata compilata una scheda informatizzata in formato Access, che contiene 13 maschere, a carattere archivistico, geomorfologico, storico-cartografico e bibliografico. Per ognuna di esse è disponibile l'immagine ad alta risoluzione, l'immagine della Carta Tecnica Regionale in cui è riportata l'estensione della carta e, per circa il 10% del totale, circa 30 carte, l'immagine georeferenziata e la sua restituzione grafica. Nel 2005 alla banca dati Imago è stata associata la Banca dati degli elementi morfologici Forma e nel 2006 ha preso avvio, ed è tuttora in corso, il progetto Imago 3 e 4 che rappresenta una ricerca cartografica avanzata e che ha come obiettivo lo studio e la ricostruzione paleogeografica della Laguna di Venezia e del territorio di gronda nei secoli XVI e XVII. Sono stati molteplici gli utilizzi per la ricerca: la restituzione grafica di molte carte e la ricostruzione paleogeografica di gran parte del territorio, ad esempio, hanno permesso in molti casi di identificare e datare percorsi fluviali, riconoscendo forme antiche e recenti, in rapporto a dossi e paleoalvei.

### 3.6.3. Risultati

La presenza di un livello informativo archeologico ha costituito quindi un valore e un livello cognitivo aggiunto alla carta e ha contribuito in molti casi a dar significato agli elementi geo-

morfologici e, insieme a loro, a fornire indicazioni precise sulla evoluzione naturale e antropica del territorio in esame.

L'acquisizione, l'analisi e il confronto dei dati hanno confermato in molti casi l'attribuzione cronologica delle varie unità geologiche. Eclatante il caso dell'Unità di Lugugnana, (I millennio a.C. - VIII-X secolo d.C.), dove il ritrovamento di centinaia di siti di epoca romana sul dosso precisano il percorso e la datazione del fiume. L'archeologia ha giocato un ruolo importante anche nella definizione puntuale delle attribuzioni cronologiche delle unità del Sistema alluvionale del Tagliamento. Spesso l'età calibrata desunta da radiotrazioni viene indirettamente confermata dai dati archeologici: coincidono perfettamente, ad esempio, la radiotrazione di un campione raccolto sul dosso di Cittanova e le indicazioni cronologiche desunte dallo scavo stratigrafico, che rivelano la presenza di un sito dell'età del Bronzo medio-recente (Salvatori, 1989).

La presenza di un sito archeologico, in relazione a un dosso o a un paleoalveo, ha svolto spesso un ruolo di verifica cronologica in termini postquem: è il caso del ritrovamento di siti di epoca romana, a 1 m di profondità sul dosso del Livenza che si diparte da Torre di Mosto, che confermano la formazione dello stesso come già conclusa in età romana.

Del tutto particolare si rivela il caso dell'unità di Dolo: indagini geologiche, archeologiche, cartografiche e telerilevate concordano nell'attribuire ad età medievale il periodo di attivazione del dosso del Naviglio Brenta. Il Naviglio Brenta veniva indicato nella Carta geomorfologica come attivo in età romana /tardo romana, considerando anche la sua funzione di elemento separatore tra due centuriazioni, "elemento di discontinuità morfologica della pianura, al momento della definizione degli agri centuriati" (Mozzi & Furlanetto, 2004). Risultano invece significativamente assenti i siti archeologici sul dosso, in superficie, possibili indicatori dell'attività del fiume in età antica. Le tracce sepolte della centuriazione di Padova nord-est, desunte da telerilevamento (Baggio & Primon, 2000), coprono l'estremità del dosso, negando la presenza del dosso in età romana come elemento separatore fra i due agri e concordando con la radiodating che indica nel 1000 d.C. il momento di attivazione del corso d'acqua. Infine la ricostruzione paleogeografica del Progetto IMAGO dell'area tra Naviglio Brenta e Bacchiglione, sulla base della cartografia storica georeferenziata e dei documenti archivistici, ha rivelato un tracciato del Brenta medievale più a sud del Naviglio Brenta con foce alle Bebe, confermando l'apertura del Naviglio Brenta da Mira soltanto nel 1140.

## 3.7. Il contributo della geofisica per la mappatura e la caratterizzazione di dossi fluviali e di paleoalvei sepolti

Roberto Francese

### 3.7.1. Introduzione

Durante i primi mesi del 2006 è stata condotta una campagna di esplorazione geofisica di bassa profondità, con le tecniche *radar* e di tomografia elettrica in corrente continua, in vicinanza del centro abitato di San Donà di Piave. Il rilievo è stato progettato con la duplice finalità di comprendere il livello di complementarietà che tali tecniche possono fornire alla classica esplorazione geologica, effettuata con trivellazioni manuali, e di valutare come l'esplorazione non invasiva possa essere impiegata per colmare le lacune informative della fotointerpretazione.

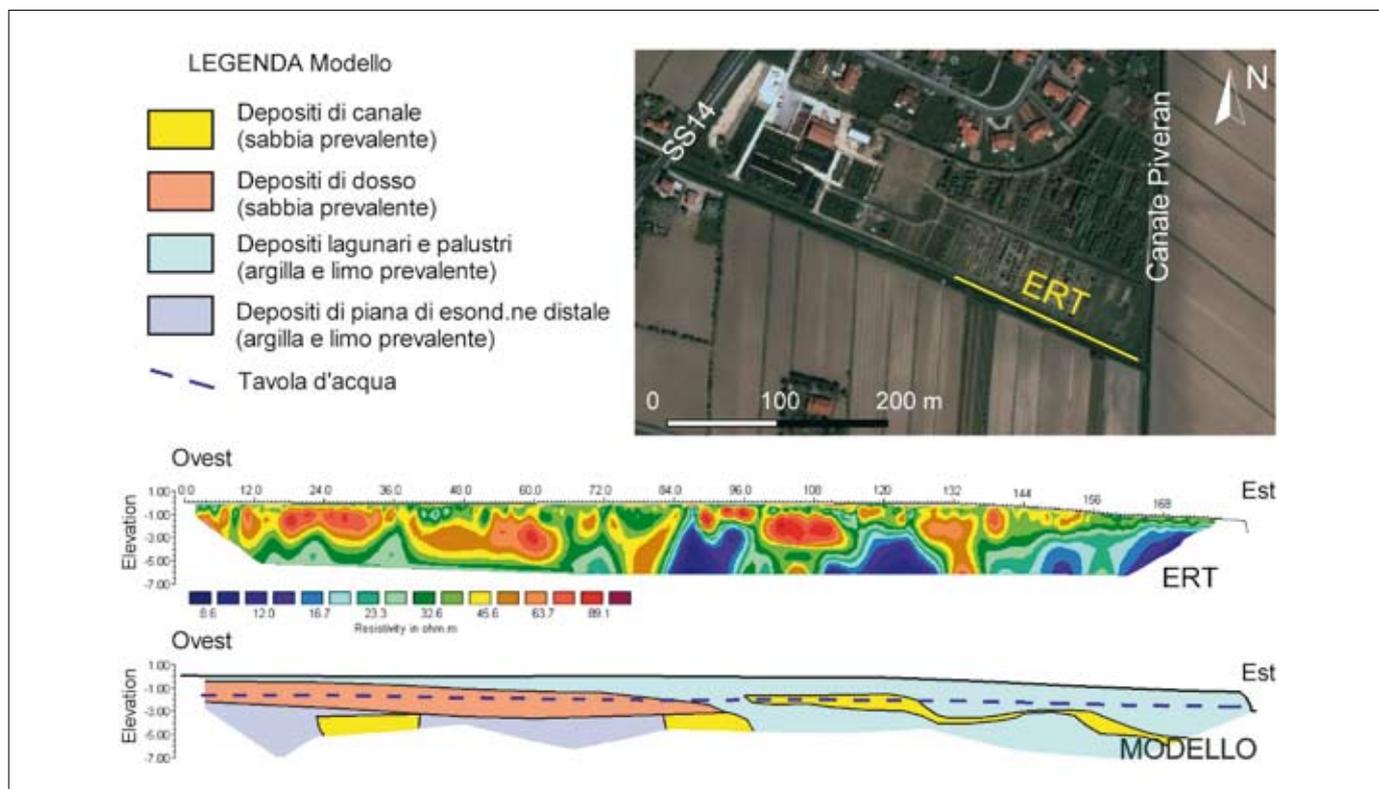
Le misure di tomografia elettrica sono state acquisite lungo un transetto, della lunghezza di circa 180 m, steso dal Canale Piveran verso la SS/14 "Triestina" e parallelo al Canale della Veneziana (fig. 3.13). È stato utilizzato un geo-resistivimetro IRIS Syscal Pro a 72 elettrodi e 10 canali di misura simultanea della differenza di potenziale. La spaziatura interelettrodi-

è stata impostata a 0.5 m, al fine di ottenere un elevato grado di risoluzione laterale, e la stessa è stata coperta con una sequenza base e nove sequenze di *roll* per un totale di 2194 punti misura.

Le misure *radar* sono state invece acquisite tra le località Cittanova e Primo Maggio (fig. 3.15). Sono state acquisite scansioni per una lunghezza complessiva di circa 2000 m, distribuite su una serie di transetti intorno ad un paleoalveo del Fiume Piave. È stato utilizzato un sistema GSSI Sir System 2 equipaggiato con un'antenna da 200 MHz in configurazione bistatica corta.

### 3.7.2. Analisi ed elaborazione dei dati geofisici

L'inversione delle misure di resistività da valori apparenti a valori reali ha chiuso, convergendo in poche iterazioni, con errori inferiori al 3% indicando la buona qualità delle misure di



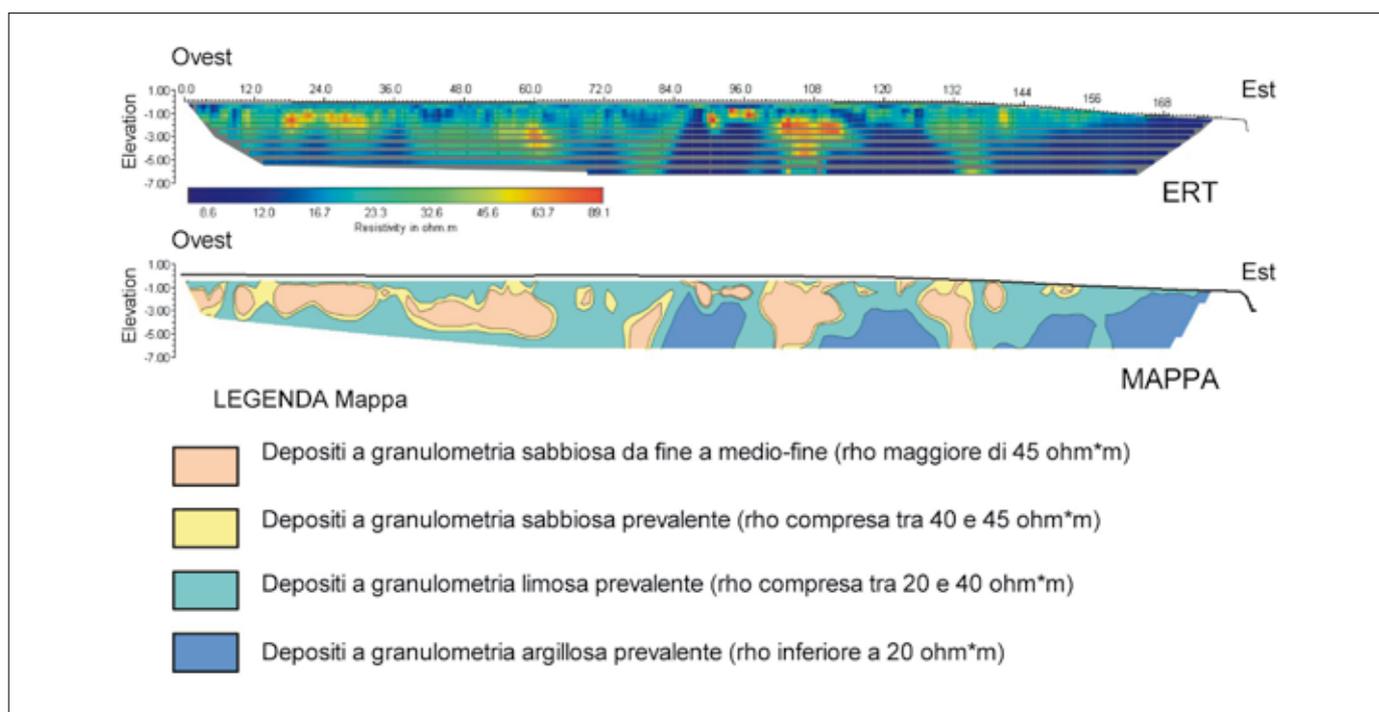
3.13. Disposizione del profilo di tomografia elettrica in vicinanza del dosso del Piveran (in alto a destra). Sezione di resistività reale (ERT) e profilo geologico interpretativo (MODELLO).

campo. La configurazione di misura ha consentito di penetrare sino alla profondità di circa 7 m dalla superficie. La sezione (fig. 3.13) mostra valori di resistività variabili da 1-2  $\text{ohm}^*\text{m}$  a circa 90  $\text{ohm}^*\text{m}$  e copre quindi l'intervallo tipico dei terreni con fusi granulometrici di classe compresa tra l'argilla limosa e la sabbia fine.

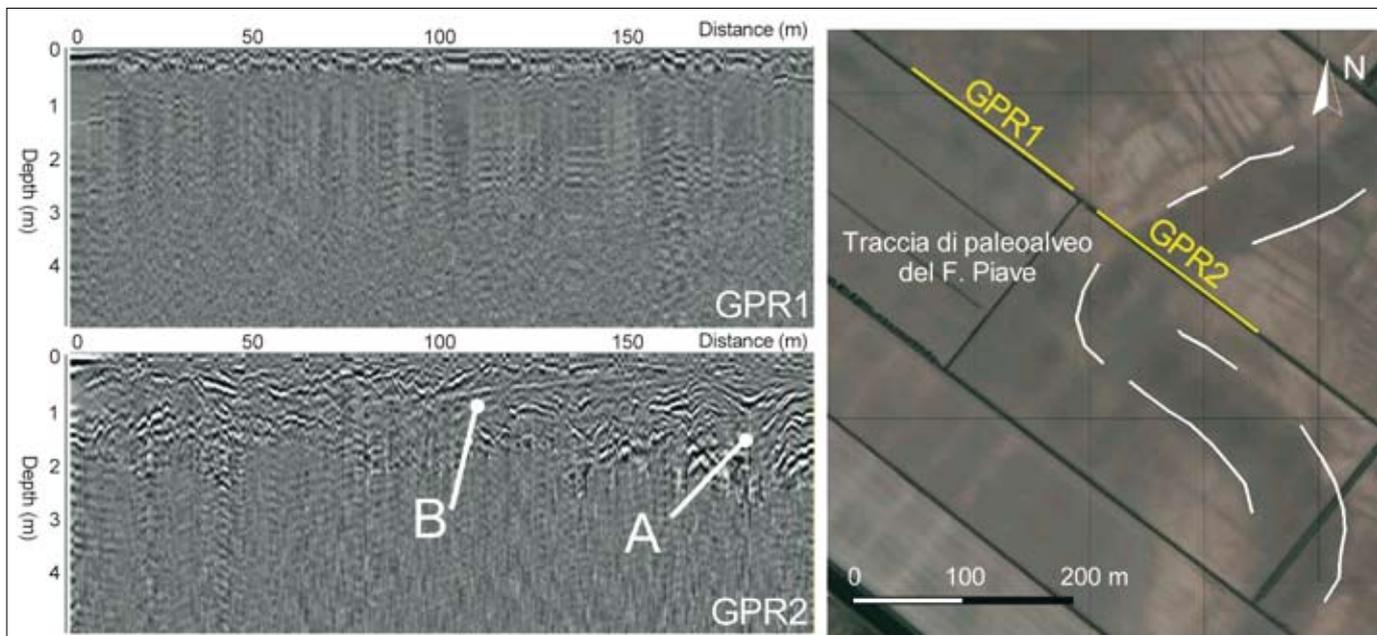
Il dato *radar* ha consentito di ottenere penetrazioni variabili in funzione della conducibilità dei terreni e che comunque sono

risultate comprese nell'intervallo 1.5-3.5 m dalla superficie di misura.

Aldisotto di questa profondità, anche in corrispondenza dei livelli a granulometria grossolana, non è stato possibile ottenere riflessioni delle onde elettro-magnetiche con ampiezza misurabile. Per migliorare la leggibilità delle scansioni *radar* sono stati applicati filtri in banda di frequenza e di media mobile.



3.14. Sezione di resistività elettrica (ERT) rappresentata per punti misura (blocchi discreti senza interpolazione) e sezione di correlazione "resistività-granulometria" (MAPPA) definita sulla base dei valori di soglia derivati dall'analisi comparata di ERT e MODELLO di fig. 3.13.



3.15. Disposizione dei profili radar nella stazione di validazione di Cittanova (a destra). Immagine *radar* nei depositi a granulometria fine (GPR1 in alto a sinistra) e nei depositi grossolani di paleoalveo (GPR2 in basso a sinistra). Le lettere A e B indicano delle tipiche geometrie deposizionali (per la spiegazione vedi il testo).

### 3.7.3. Risultati e discussione

La sezione di resistività è stata confrontata con una sezione geologica interpretativa (modello) costruita correlando le risultanze di dieci trivellazioni manuali (fig. 3.13) realizzate pochi mesi prima della campagna geofisica. Lo scopo principale del confronto era quello di trovare una serie di vincoli che consentissero di passare dalla sezione geofisica a quella dei depositi geologici con un numero ridotto di carotaggi meccanici. Nel complesso il confronto tra i due insiemi di dati appare consistente ed i principali lineamenti geologici si ritrovano nella sezione di resistività.

Alla macroscala si notano nella sezione due distinti domini di valori, che corrispondono ad una evidente classazione granulometrica del modello, separati dalla progressiva metrica 84.0. Il dominio occidentale presenta valori di resistività media superiori rispetto a quello orientale dove la resistività media si abbassa a circa 20  $\text{ohm}^*\text{m}$ .

Il corpo sabbioso (depositi di dosso) inclinato presente nel modello tra le progressive 0.0 ed 84.0 è ben risolto nella sezione elettrica e presenta valori di resistività variabili da 40 a 80  $\text{ohm}^*\text{m}$ . Anche la terminazione dello stesso corpo sabbioso, con prolungamento verso il basso, visibile alla progressiva metrica 84.0 trova una buona lettura nella sezione geofisica. L'evidente saccatura dei depositi sabbiosi visibile nel modello nell'intervallo di progressiva metrica 24.0-36.0 si osserva invece come prolungamento verso il basso delle iso-resistive.

Nella porzione occidentale del modello è presente un corpo sabbioso, inizialmente orizzontale e che poi piega verso il basso nell'intervallo di progressive metriche 96.0-132.0. Tale corpo è risolto abbastanza bene nella sezione di resistività e presenta valori dell'ordine di 40-90  $\text{ohm}^*\text{m}$ . Nella parte terminale della sezione (intervallo di progressiva metrica 132.0-177.0) si osserva una leggera discrepanza tra modello e sezione. Questa differenza è principalmente dovuta alle condizioni anidre dei depositi superficiali che, nonostante la granulometria fine, presentano dei valori di resistività tipici dei limi sabbiosi e delle sabbie fini.

Una volta individuata una prima chiave di correlazione tra resistività e granulometria è possibile trasporre la sezione elettrica in mappa litologica (fig. 3.14). La sezione elettrica, che in forma ancillare è costituita da celle quadrate, è stata quindi semplificata in quattro intervalli di resistività e classificata dal

punto di vista granulometrico sulla base delle risultanze dei carotaggi meccanici.

Relativamente alle finalità poste nell'introduzione di questo contributo si può quindi affermare che la tecnica di tomografia elettrica in corrente continua consente di avere delle rappresentazioni di altissima risoluzione della classazione granulometrica dei depositi. La presenza di condizioni anidre nella parte superficiale complica la correlazione diretta resistività-granulometria in quanto introduce nel sistema una nuova variabile indipendente. Di questa variabile si può tenere conto con una buona conoscenza delle condizioni di soggiacenza della falda freatica oppure effettuando le misure di resistività in condizioni di quasi completa saturazione dei terreni (ad esempio dopo le piogge autunnali o primaverili).

Come evidente dall'analisi dei dati la corrispondenza tra modello geologico e sezione di resistività non è comunque immediata in quanto la lettura geofisica, alla scala della sezione, presenta un maggior grado di risoluzione rispetto al modello che è comunque stato costruito per generalizzazione dei carotaggi che puntualmente sono più risolutivi della geofisica. Da un punto di vista scientifico la questione è pertanto ancora aperta e merita certamente, per sue implicazioni applicative, un deciso approfondimento che è tuttora in corso. Tra le diverse scansioni *radar* acquisite nel corso del progetto nel presente contributo vengono descritte solo quelle relative alla zona di Cittanova dove è possibile validare i risultati geofisici sulla base delle immagini aeree.

Le sezioni *radar* (fig. 3.15) presentano una lettura più immediata rispetto alla sezione di resistività e mostrano un grado di risoluzione molto elevato e, nei terreni a granulometria grossolana, si nota chiaramente la stratificazione interna che le sezioni di resistività non riescono ad evidenziare. La zona a prevalente granulometria fine (GPR1), al di fuori della fascia occupata dal paleoalveo, si presenta quasi completamente priva di riflessioni a causa del forte assorbimento di onde determinato dai terreni limoso-argillosi. A questo quadro generale fanno eccezione lo strato superficiale, per i primi 0.4-0.5 m dove si osserva una debole riflettività, e le ultime tracce della scansione dove cominciano ad apparire le tipiche risposte dei livelli sabbiosi.

La zona a prevalente granulometria grossolana (GPR2), all'interno della fascia occupata dal paleoalveo, presenta una distinta firma di riflettività. L'immagine *radar* evidenzia infatti una

serie di riflettori, anche con geometria incrociata, che occupano l'intera sezione sino alla profondità massima di 2.5-3.0 m dove presumibilmente si incontra un livello a granulometria più fine che determina l'assorbimento delle onde elettromagnetiche. Tra le varie strutture presenti nella sezione si può notare la presenza di un corpo canalizzato (lettera A in fig. 3.15) e del relativo riempimento inizialmente fine e poi grossolano e di una discontinuità stratigrafica che taglia la sezione tra le progressive metriche 100 e 150 e che presenta vergenza apparente verso nord-ovest (lettera B in fig. 3.15). Questa superficie, che potrebbe rappresentare la traccia di un episodio erosivo importante, sembra chiudere la propria concavità verso la parte centrale del paleoalveo per poi risalire, con un maggior grado di riflettanza, sul margine nord-orientale.

### 3.8. Allestimento cartografico

Arianna Bisazza

L'acquisizione, la registrazione, la visualizzazione e l'analisi dei dati raccolti nell'ambito del presente studio sono stati condotti mediante l'utilizzo di Sistemi Informativi Territoriali. Tali sistemi informatici permettono di gestire e analizzare dati spaziali associando a ciascuno di essi una o più descrizioni alfanumeriche. Dati spaziali di diversa natura (immagini satellitari, fotografie aeree ecc.) possono essere utilizzati e gestiti mediante i SIT.

Il presente studio si è avvalso dell'utilizzo di tali sistemi sia per l'analisi e l'elaborazione dei dati territoriali, sia per l'allestimento della carta delle unità geologiche.

Il lavoro di redazione della carta si è sviluppato individuando innanzitutto i tematismi geologici e geomorfologici di interesse da rappresentare. Si è proceduto quindi alla raccolta e catalogazione di dati esaminando materiale di diversa tipologia (cartografia tematica, fotografie aeree, banche dati informatizzate e georeferenziate). La disomogeneità di tipologie dei dati ha comportato una diversa modalità di acquisizione e organizzazione informatica.

I dati non digitali sono stati trattati mediante l'acquisizione della geometria delle varie entità e il successivo inserimento, con il loro attributo alfanumerico, all'interno dei tematismi già predisposti. I dati già informatizzati sono stati, se necessario, inizialmente convertiti nel formato e/o nel sistema di riferimento adeguandoli a quelli scelti per la carta. Successivamente la loro modifica e l'elaborazione sono avvenute in rapporto a tutti gli altri dati.

L'allestimento della carta delle unità geologiche ha previsto

Si può quindi affermare che, in relazione al quesito posto nell'introduzione, la tecnica *radar* rappresenta un approccio possibile per l'individuazione dei paleoalvei sabbiosi quando questi ultimi sono molto prossimi alla superficie di scansione. Il grado di risoluzione della tecnica consente anche di ottenere delle informazioni sull'organizzazione (stratificazione) interna dei diversi corpi deposizionali. In quelle zone dove la granulometria fine impedisce la penetrazione delle onde la risposta *radar* può essere impiegata al negativo e cioè come indicatore di forte assorbimento e quindi come conferma della presenza di materiali fini ed altamente conduttivi. Il parziale o totale stato di saturazione dei depositi grossolani non sembra influenzare significativamente la penetrazione delle onde elettromagnetiche.

innanzitutto la scelta della base topografica; per una buona leggibilità del territorio si è deciso di raffigurare i tematismi geologici e geomorfologici sulla base topografica della Carta Tecnica Regionale, così come è stata semplificata dal Settore Urbanistica della Provincia, ai fini di rappresentare efficacemente gli elementi topografici significativi (edifici e viabilità) alla scala di stampa (1:50.000).

In seguito si è scelta la simbologia idonea a rappresentare su supporto cartaceo ciascuno dei tematismi in modo chiaro, senza pregiudicare la visibilità di alcuno.

In maggioranza, i tematismi sono rappresentati da entità di tipo areale (unità geologica, traccia di antico corso fluviale e lagunare, dosso fluviale, cordone litoraneo); queste sono state raffigurate mediante campiture o retini, creati appositamente con le dimensioni corrette per la scala di stampa prevista. Entrambe le tipologie, con particolari effetti di trasparenza, permettono di rendere visibili anche le campiture sottostanti.

Le entità di tipo lineare, che designano i tematismi orlo di terrazzo, confine provinciale e traccia di transetto, si differenziano invece per lo spessore, il colore e lo stile della linea, anch'esso creato appositamente in relazione alla scala di stampa prevista.

Tutta la simbologia è stata gestita tramite *files* di istruzioni che consentono di adattare le caratteristiche di stampa dei vari tematismi senza interferire con le geometrie degli oggetti.

Particolare rilevanza ha assunto in tutto lo studio la creazione di tale simbologia, particolarmente efficace nella leggibilità complessiva della carta.

## 4. LE UNITÀ GEOLOGICHE

### 4.1. Criteri di rappresentazione cartografica delle unità geologiche

I contenuti della carta si riferiscono ai rilevamenti avvenuti tra gli anni 2005-2008 tenendo conto della cartografia geologica esistente e dei dati pregressi a disposizione. In particolare, la cartografia ha usufruito in parte anche dei nuovi dati raccolti dal Progetto CARG-Regione Veneto (responsabile F. Toffoletto), relativo alla nuova carta geologica nazionale. Trattandosi della provincia di Venezia, la carta rappresenta un'area con caratteristiche abbastanza omogenee al suo interno, in cui i sedimenti sono di tipo continentale, lagunare e costiero. In carta non sono stati considerati gli spazi lagunari sommersi o anfibi della laguna di Venezia, per i quali comunque è già disponibile la nuova cartografia geologica (Tosi et al., 2007a; 2007b).

La legenda è organizzata gerarchicamente in "unità" raggruppate secondo "sistemi" individuati in base al bacino fluviale di alimentazione (bacini dei principali fiumi alpini) o al sistema geolitologico di pertinenza (costiero, lagunare, dei fiumi di risorgiva, antropico) che li hanno formati. Sono così state individuate delle macroaree geologicamente omogenee per provenienza dei sedimenti e per tipologia dei processi genetici. Ogni sistema deposizionale è stato caratterizzato da un colore e, quando consentito dalla scala cromatica, le unità afferenti al medesimo sistema sono contraddistinte da tonalità differenti dello stesso colore. Un codice composto da tre lettere facilita il riconoscimento di ciascuna unità: esso è riportato contemporaneamente in carta e in legenda. Per la denominazione delle unità sono stati attribuiti dei nomi geografici, in genere corrispondenti all'abitato più importante o alla località più caratteristica che ricade all'interno dell'unità. Nel Portogruarese i nomi delle unità coincidono in alcuni casi con quelli adottati nella "Carta Geomorfologica della bassa pianura friulana" (Fontana, 2006), individuate in base agli stessi criteri. Tale scelta ha voluto evitare il proliferare di nomi di unità ed è per questo motivo che alcune unità hanno nomi di paesi che non ricadono all'interno del territorio provinciale.

Volendo realizzare una carta che avesse un valore crono-stratigrafico, ma anche una fondamentale utilizzazione applicativa e una dettagliata rappresentazione alla scala 1:20.000, sono stati adottati dei criteri cartografici leggermente differenti rispetto a quelli raccomandati dal Servizio Geologico Nazionale (1992), in cui sono utilizzate le UBSU (unità a limiti inconformi - *"a body of rocks bounded above and below by specifically designated, significant and demonstrable discontinuities in the stratigraphic succession (angular unconformities, disconformities, etc.), preferably of regional or interregional extent"*) (ISSC, 1994); tale scelta ha consentito di rappresentare con maggior dettaglio estese superfici che, altrimenti, sarebbero risultate appartenere alla medesima unità, accorpando depositi con caratteristiche interne anche abbastanza differenti, quali la granulometria e la geometria dei corpi, come ad esempio la profondità dei paleoalvei.

Le caratteristiche delle unità geologiche adottate nella carta della provincia sono molto simili a quelle previste dall' "Allostratigrafia" (NACSN, 1986), soprattutto per quanto concerne la natura, l'estensione, il riconoscimento ed il rango delle superfici limite che identificano le varie unità, tanto da renderle confrontabili con le "allunità" adottate nei nuovi fogli geologici CARG in cui è stata applicata l'allostratigrafia (Bini et al., 2004). Le unità della carta sono rappresentative di corpi sedimentari identificati da superfici limite inferiore e superiore diacrone, corrispondenti a discontinuità sedimentarie di rango superiore (prevalentemente si tratta di *hiatus* deposizionali caratterizzati o meno da superfici pedogenizzate oppure superfici erosive). In particolare, rispetto alle UBSU, le superfici limite delle unità non hanno necessariamente un'estensione regionale, ma talvolta sono riconoscibili solo a scala locale, ad esempio, delimitano rami fluviali differenti formati nella stessa fase deposizionale. Ciò non toglie che in alcuni casi vi sia corrispondenza tra le unità geologiche di questa carta e quelle dei fogli CARG della Regione Veneto (ad esempio per quelle relative ai depositi LGM). Inoltre, si segnala che vi sono delle unità identificate soprattutto in base alle loro caratteristiche litostratigrafiche, mentre la loro superficie limite inferiore può essere variabile; è questo il caso delle unità dei corsi di risorgiva e del reticolo locale, che sono identificabili con le unità informali utilizzata nei fogli CARG San Vito al Tagliamento e Portogruaro (Zanferrari et al., 2008; Bondean et al., in stampa).

Da un confronto con gli altri gruppi di lavoro impegnati nel Progetto CARG delle aree di pianura dell'Italia settentrionale si è deciso di considerare come affioranti non solo le unità che si trovano fisicamente sulla superficie topografica, ma in vari casi anche quelle subaffioranti, entro 1-1,2 m dal piano campagna, cioè entro la profondità normalmente investigata con le trivellate pedologiche.

Per consentire una lettura più completa e per facilitare gli utilizzi applicativi della carta, sono stati rappresentati anche alcuni elementi geomorfologici fra cui si è data grande importanza alle tracce di antica idrografia (paleoalvei) e ai dossi fluviali antichi e attuali. Queste morfologie sono infatti tra gli oggetti che consentono la ricostruzione dell'evoluzione geologica e ambientale di un'area di pianura, permettendo con lo studio delle loro caratteristiche morfometriche, sedimentologiche, spaziali e crono-stratigrafiche di delineare buona parte della storia del territorio dal LGM ad oggi. Le forme del terreno derivano dalla "Carta geomorfologica della provincia di Venezia" (Bondean et al., 2004), riportando solo quelle di maggiore importanza adeguatamente aggiornate sulla base dei nuovi rilevamenti. I dossi fluviali, i cordoni litoranei e i paleoalvei sono elementi geomorfologici che completano la carta, ma che da soli non definiscono unità specifiche e che appartengono alle unità entro cui sono contenuti.

Alessandro Fontana

## 4.2. Stralci cartografici inseriti nelle schede descrittive delle unità geologiche

INQUADRAMENTO relativo alla “Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia”

All'interno delle schede descrittive delle singole unità geologiche rappresentate nella “Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia”, è stato inserito uno stralcio della carta stessa (inquadramento in alto o a sinistra), relativo ai transetti rappresentativi dell'unità descritta.

Per la descrizione degli elementi raffigurati in questi inquadramenti, fare riferimento alla legenda della “Carta delle unità geologiche” allegata.

INQUADRAMENTO relativo alla “Carta geomorfologica della provincia di Venezia”

In associazione con l'inquadramento citato precedentemente, all'interno delle schede descrittive delle singole unità geologiche è stato inserito un secondo inquadramento (in basso o a destra), in cui sono riportati i principali elementi geomorfologici ripresi dalla “Carta geomorfologica della provincia di Venezia” (Bondesan & Meneghel, 2004). All'interno di questo quadro, è stata inoltre indicata l'ubicazione dei sondaggi utilizzati per la stesura dei profili geologici rappresentativi delle varie unità.

### LEGENDA INQUADRAMENTI GEOMORFOLOGICI

#### FORME E DEPOSITI FLUVIALI

	Corso d'acqua attuale		Argine fluviale		
	Traccia di corso fluviale olocenico estinto		Orlo di terrazzo		
	Traccia di corso fluviale pleistocenico estinto		Dosso fluviale		
	Traccia di corso fluviale di risorgiva estinto		Ventaglio di esondazione		
	Traccia di antichi canali lagunari		Area depressa		
	Ghiaia		Limo		Torba
	Sabbia		Argilla		Tessitura fuori provincia

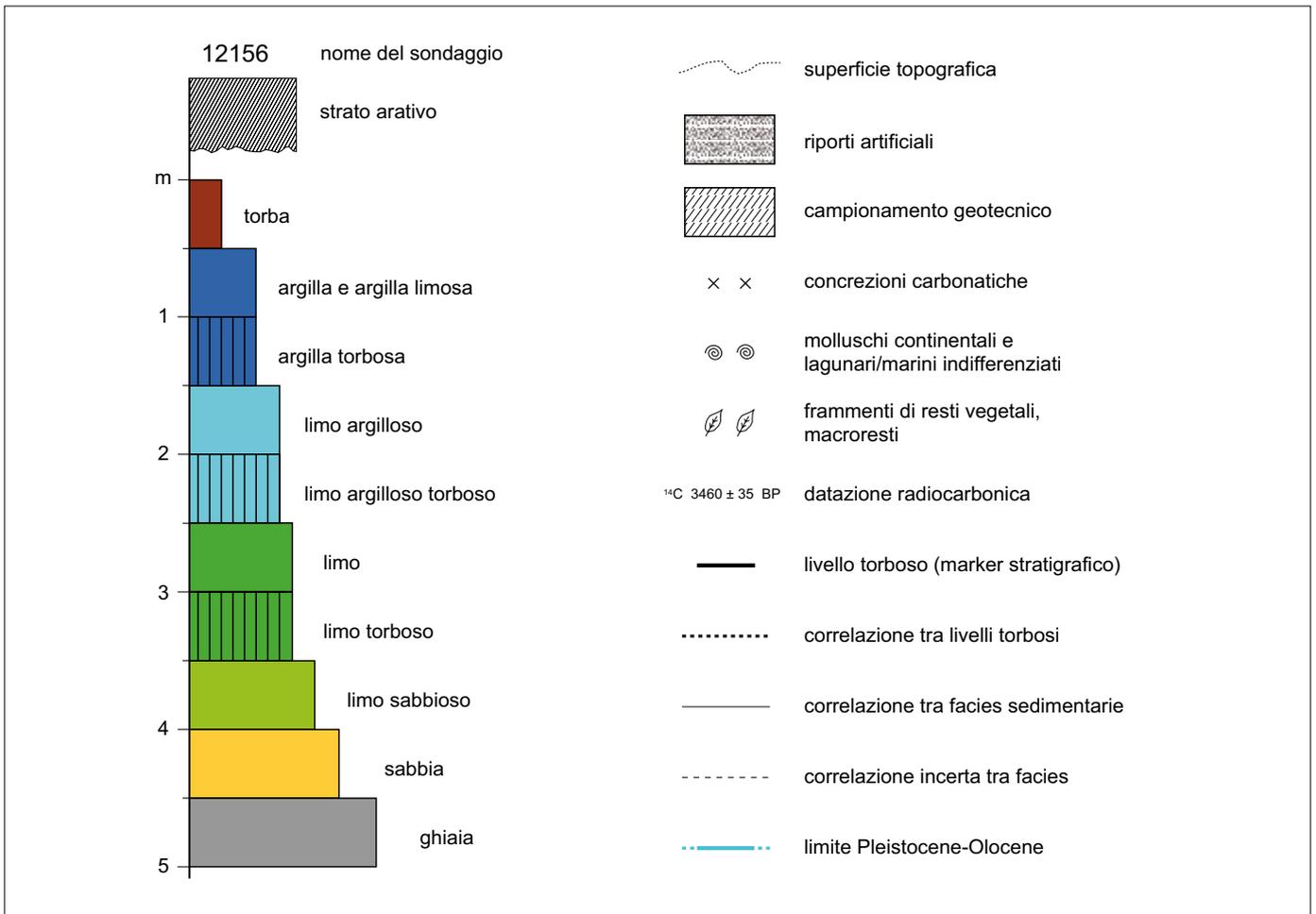
#### FORME E DEPOSITI COSTIERI

Cordone litoraneo spianato:		Cordone litoraneo rilevato:	
	semplice		semplice
	complesso		complesso
	avandune costiere		sabbia

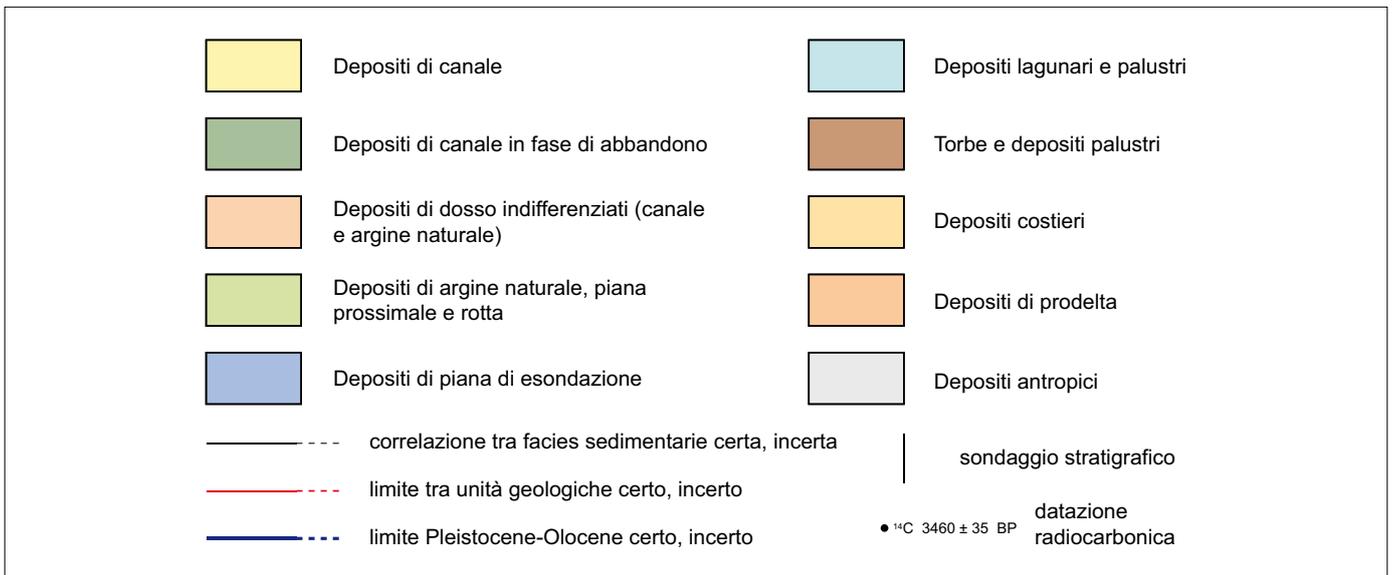
#### FORME E DEPOSITI ANTROPICI

	Traccia di strutture antropiche antiche		Discarica
	Terrapieno		Cava

## LEGENDA PROFILI GEOLOGICI



## LEGENDA MODELLI INTERPRETATIVI



## GUIDA ALLA LETTURA

Tutti i profili geologici sono identificati da un numero (riportato anche in carta all'inizio della traccia della sezione) e da un nome. Nella scheda sono riportate, associate ai due riquadri, le coordinate Gauss-Boaga - fuso ovest del primo sondaggio, l'elenco di tutti i sondaggi appartenenti al profilo e i comuni in cui ricade il profilo stesso.

A parte poche eccezioni, profilo (sopra) e modello (sotto) sono rappresentati alla medesima scala, con esagerazione verticale. La scala verticale è espressa in metri e ogni transetto riporta in alto la sigla relativa a ciascun sondaggio e in basso la distanza in metri tra sondaggi adiacenti.

Per alcune unità, a causa del poco spazio disponibile, profilo e modello sono stati rappresentati in un'unica figura.