



**ISPR A**

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

**SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA**

Organo Cartografico dello Stato (legge n°68 del 2.2.1960)

**NOTE ILLUSTRATIVE  
della  
CARTA GEOLOGICA D'ITALIA  
alla scala 1:50.000**

foglio 107

**PORTOGRUARO**

A cura di:

**A. Fontana<sup>(1)</sup>, A. Bondesan<sup>(1)</sup>, M. Meneghel<sup>(1)</sup>,  
F. Toffoletto<sup>(2)</sup>, A. Vitturi<sup>(3)</sup>, V. Bassan<sup>(3)</sup>**

Con i contributi di:

**F. Toffoletto<sup>(2)</sup>, A. Vitturi<sup>(3)</sup>, A. Fontana<sup>(1)</sup>, A. Zanferrari<sup>(4)</sup>,  
V. Bassan<sup>(3)</sup>, R. Campana<sup>(2)</sup>, E. Conchetto<sup>(3)</sup>, A. Correggiari<sup>(5)</sup>,  
A. Mazzuccato<sup>(3)</sup>, G. Paiero<sup>(4)</sup>, R. Avigliano<sup>(4)</sup>, A. Asioli<sup>(6)</sup>,  
A. Lubiani<sup>(7)</sup>, F. Massari<sup>(8)</sup>, A. Miola<sup>(9)</sup>, M.E. Montenegro<sup>(10)</sup>,  
N. Pugliese<sup>(10)</sup>, C. Stefani<sup>(8)</sup>, L. Peruzza<sup>(11)</sup>, P. Zangheri<sup>(7)</sup>,  
A. Bondesan<sup>(3)</sup>, M. Fingolo<sup>(7)</sup>, V. Gennari<sup>(7)</sup>**

(1) - Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geografia; (2) - Regione del Veneto, Direzione Geologia e Attività Estrattive; (3) - Provincia di Venezia, Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo, Servizio Geologico; (4) - Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio; (5) - C.N.R. - ISMAR Bologna; (6) - C.N.R. Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Padova; (7) - Libero professionista; (8) - Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze; (9) - Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Biologia; (10) - Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze Geologiche, Marine e Ambientali; (11) - Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste

Ente realizzatore:



**REGIONE DEL VENETO**

*Direttore del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA: L. Serva*

*Responsabile del Progetto CARG per il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA:  
F. Galluzzo*

*Responsabile del Progetto CARG per la Regione del Veneto:  
F. Toffoletto (2000-2007), E. Schiavon (dal 2008)*

PER IL SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - ISPRA:

*Revisione scientifica:*

**D. Berti, R. Graciotti, M.L. Pampaloni, M. Pantaloni  
S. D'Angelo, A. Fiorentino** (parte a mare)

*Coordinamento cartografico:*

**D. Tacchia** (coordinatore), **V. Pannuti**

*Revisione informatizzazione dei dati geologici:*

**L. Battaglini, V. Campo, A. Fiorentino** (ASC)

*Coordinamento editoriale e allestimento per la stampa:*

**D. Tacchia, V. Pannuti**

PER LA REGIONE DEL VENETO:

*Coordinamento informatizzazione:*

**R. Campana** (responsabile), **V. Perna**

*Informatizzazione dei dati geologici:*

**R. Campana, A. Fontana, V. Perna, D. Albanese**

*Coordinamento allestimento cartografico per la stampa:*

**R. Campana, E. Schiavon**

*Allestimento cartografico per la stampa a cura di:*

**InfoCartoGrafica** - Piacenza

PER LA PROVINCIA DI VENEZIA:

*Coordinamento scientifico:*

**A. Vitturi, V. Bassan**

GESTIONE TECNICO-AMMINISTRATIVA DEL PROGETTO CARG:

**M.T. Lettieri** - Servizio Geologico d'Italia - ISPRA  
**F. Toffoletto, E. Schiavon** - Regione del Veneto

*Si ringraziano i componenti dei Comitati Geologici per il loro contributo scientifico*

Stampa: InfoCartoGrafica - Piacenza

## INDICE

<b>I</b>	<b>- INTRODUZIONE</b> .....	pag. 7
<b>II</b>	<b>- STUDI PRECEDENTI</b> .....	» 11
<b>III</b>	<b>- METODI DI INDAGINE E CRITERI CARTOGRAFICI</b> .....	» 15
1.	- STUDIO DELLE AREE EMERSE E LAGUNARI .....	» 15
1.1.	- TELERILEVAMENTO .....	» 15
1.2.	- ANALISI DEL MICRORILIEVO .....	» 17
1.3.	- ANALISI DELLA CARTOGRAFIA STORICA .....	» 18
1.4.	- RILEVAMENTO DI CAMPAGNA .....	» 18
1.5.	- SONDAGGI MANUALI E TRIVELLATE MECCANICHE .....	» 20
1.6.	- GEOARCHEOLOGIA .....	» 21
2.	- STUDIO DELLE AREE A MARE .....	» 22
3.	- CRITERI DI ANALISI BIOSTRATIGRAFICA E PETROGRAFICA .....	» 24
4.	- CRITERI DI ANALISI DEL SOTTOSUOLO PROFONDO .....	» 25
5.	- BANCHE DATI .....	» 26
5.1.	- BANCA DATI DEL FOGLIO "PORTOGRUARO" .....	» 29
6.	- CRITERI DI RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA .....	» 31
<b>IV</b>	<b>- INQUADRAMENTO GEOLOGICO E LINEAMENTI STRUTTURALI</b> .....	» 35
1.	- EVOLUZIONE MESOZOICA: LA PIATTAFORMA CARBONATICA FRIULANA E IL BACINO DI BELLUNO .....	» 38
2.	- EVOLUZIONE CENOZOICA: GLI EVENTI CONTRAZIONALI DINARICO, INSUBRICO E NEOALPINO .....	» 40
<b>V</b>	<b>- INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED EVOLUZIONE GEOLOGICA TARDO-QUATERNARIA</b> .....	» 47
1.	- INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	» 47
2.	- EVOLUZIONE TARDO-QUATERNARIA .....	» 51
2.1.	- PRE-LGM (> 24.000 BP) .....	» 52
2.2.	- LGM (fase pleniglaciale: 28.000-18.000 a.C.) .....	» 53
2.3.	- LGM (fase cataglaciale: 18.000-15.000 anni a.C.) .....	» 54
2.4.	- POST-LGM (ultimi 17.000 anni) .....	» 56
2.4.1.	- <i>Stasi deposizionale e incisioni fluviali</i> (circa 15.000 - 5000 a.C.) .....	» 57
2.4.2.	- <i>La trasgressione marina dinamica fluviale</i> (5000 a.C. - Attuale) .....	» 58
2.4.3.	- <i>La formazione dei dossi fluviali e l'evoluzione recente del Tagliamento</i> .....	» 61
2.4.4.	- <i>Evoluzione moderna e recente della Laguna di Caorle</i> .....	» 63

<b>VI</b>	<b>- GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO</b>	»	65
1.	- INTRODUZIONE	»	65
2.	- METODOLOGIE DI STUDIO DEI CAROTAGGI STRATIGRAFICI	»	66
2.1.	- ANALISI DI FACIES	»	66
2.2.	- ANALISI POLLINICHE E PALEOBOTANICHE	»	67
2.2.1.	- <i>Campionamento e analisi palinologiche</i>	»	67
2.2.2.	- <i>Campionamento e analisi dei macroresti vegetali</i>	»	68
2.3.	- ANALISI MICROPALAEOANTOLOGICHE DEI FORAMINIFERI	»	69
2.3.1.	- <i>Generalità</i>	»	69
2.3.2.	- <i>Materiali e metodi</i>	»	72
2.4.	- ANALISI MICROPALAEOANTOLOGICHE DEGLI OSTRACODI	»	72
2.4.1.	- <i>Materiali e metodi</i>	»	72
2.5.	- ANALISI MACROPALAEOANTOLOGICHE DELLE MALACOFAUNE	»	73
2.5.1.	- <i>Materiali e metodi</i>	»	73
3.	- CAROTAGGI STRATIGRAFICI DEL PROGETTO CARG	»	74
3.1.	- CAROTAGGIO TORRE DI MOSTO	»	74
3.1.1.	- <i>Analisi palinologiche</i>	»	74
3.1.2.	- <i>Analisi dei foraminiferi</i>	»	76
3.1.3.	- <i>Analisi degli ostracodi</i>	»	78
3.1.4.	- <i>Analisi micropaleontologiche</i>	»	80
3.1.5.	- <i>Descrizione sedimentologica e correlazioni stratigrafiche</i>	»	80
3.2.	- CAROTAGGIO CONCORDIA TEATRO	»	86
3.2.1.	- <i>Dati palinologici e paleobotanici</i>	»	86
3.2.2.	- <i>Dati micropaleontologici</i>	»	88
3.2.3.	- <i>Dati micropaleontologici</i>	»	88
3.2.4.	- <i>Descrizione sedimentologica, sintesi stratigrafica e correlazioni</i>	»	89
3.3.	- CAROTAGGIO PRAMAGGIORE	»	92
3.3.1.	- <i>Dati palinologici e paleobotanici</i>	»	93
3.3.2.	- <i>Dati micropaleontologici</i>	»	93
3.3.3.	- <i>Descrizione sedimentologica e correlazioni stratigrafiche</i>	»	94
3.4.	- CAROTAGGIO VALLE VECCHIA	»	97
3.4.1.	- <i>Dati micropaleontologici</i>	»	97
3.4.2.	- <i>Dati micropaleontologici</i>	»	98
3.4.3.	- <i>Descrizione sedimentologica e correlazioni stratigrafiche</i>	»	99
3.5.	- CAROTAGGIO MARINA DI LUGUGNANA	»	103
3.5.1.	- <i>Descrizione sedimentologica e correlazioni stratigrafiche</i>	»	103
4.	- ANALISI PETROGRAFICHE	»	105
4.1.	- CAMPIONI ANALIZZATI E METODI D'INDAGINE	»	105
4.2.	- RISULTATI	»	106
<b>VII</b>	<b>- STRATIGRAFIA</b>	»	111
1.	- UNITÀ DI SOTTOSUOLO	»	111

1.1.	- UNITÀ DI TORRE DI MOSTO	» 111
1.2.	- UNITÀ DI SENZIELLI	» 113
1.3.	- UNITÀ DI PRAMAGGIORE	» 114
1.4.	- UNITÀ DI CONCORDIA SAGITTARIA	» 114
2.	- UNITÀ CARTOGRAFICHE	» 116
2.1.	- SINTEMA DI SPILIMBERGO	» 116
2.1.1.	- <i>Subsintema di Canodusso</i>	» 116
2.1.2.	- <i>Subsintema di Remanzacco</i>	» 119
2.2.	- SINTEMA DEL PO	» 123
2.2.1.	- <i>Unità di Malamocco</i>	» 127
2.2.2.	- <i>Unità di Torcello</i>	» 129
2.3.	- UNITÀ UBIQUITARIE	» 132
<b>VIII - SISMICITÀ E ASPETTI NORMATIVI</b>		» 135
<b>IX - ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA</b>		» 139
1.	- ASPETTI IDROGEOLOGICI	» 139
1.1.	- STRUTTURA IDROGEOLOGICA	» 139
1.2.	- SERIE IDROGEOLOGICA	» 140
1.3.	- PRINCIPALI CARATTERISTICHE QUANTITATIVE DEGLI ACQUIFERI	» 140
1.3.1.	- <i>Qualità naturale delle acque sotterranee</i>	» 143
1.4.	- LE ACQUE TERMALI	» 145
2.	- COMPATIBILITÀ GEOLOGICA A FINI URBANISTICI	» 146
2.1.	- AREE IDONEE	» 146
2.2.	- AREE IDONEE A CONDIZIONE	» 147
2.2.1.	- <i>Aree di piana alluvionale</i>	» 147
2.2.2.	- <i>Fasce delle incisioni pleistoceniche</i>	» 147
2.2.3.	- <i>Aree delle fasce fluviali</i>	» 148
2.2.4.	- <i>Aree costituite da terreni con risposte geotecniche scadenti</i>	» 148
2.2.5.	- <i>Aree litorali</i>	» 149
<b>X - EXTENDED ABSTRACT</b>		» 151
1.	- METHODS	» 151
2.	- GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGIC SETTING	» 152
3.	- LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE EVOLUTION	» 152
4.	- LEGEND OF THE GEOLOGICAL MAP	» 154
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		» 160
<b>APPENDICE 1</b>		» 170
<b>APPENDICE 2</b>		» 172
<b>APPENDICE 3</b>		» 174

<b>APPENDICE 4</b> .....	» 176
<b>APPENDICE 5</b> .....	» 178
<b>APPENDICE 6</b> .....	» 184

PROGETTO  
CARG

#### *RINGRAZIAMENTI*

*Per i dati forniti si ringrazia Genio Civile di Venezia, Genio Civile di Treviso, Comune di Concordia Sagittaria, Comune di San Michele al Tagliamento, Veneto Agricoltura - Azienda pilota e dimostrativa Vallevecchia, Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, ANAS Venezia, Autovie Venete, Ferrovie Italia, CNR-ISMAR di Bologna.*

*Importante è stata la collaborazione allo studio del sottosuolo fornita dai geologi V. Gennari, A. Vidali, A. Coral, U. Stefanel, S. Russo, P. Sivieri e la Geoservizi S.r.l e D. Gobbato. Per la disponibilità dimostrata si ringraziano L. Ciani Bassetti, M. Savian, G.B. Gasparotto, i proprietari e gli amministratori della Val Nova, Val Franchetti, Valle Grande, Val Perera e Valle Zignago.*

## I - INTRODUZIONE

(F. Toffoletto, A. Vitturi)

Il Foglio 107 “Portogruaro” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000 è stato realizzato nell’ambito del Progetto CARG (Legge 226/99), con una convenzione tra l’Agenzia per l’Ambiente ed i Servizi Tecnici, Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d’Italia (già Servizio Geologico Nazionale) e la Regione del Veneto. L’incarico per lo svolgimento dei lavori è stato dato alla Regione del Veneto, che ne ha affidato il coordinamento scientifico al Dipartimento di Geografia dell’Università degli Studi di Padova. Al progetto ha aderito la provincia di Venezia con un proprio contributo e la collaborazione del Servizio Geologico, all’epoca inquadrato nel Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio (ora Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo), attraverso la stipula di un Protocollo d’Intesa con la Regione.

Hanno partecipato ai lavori:

- per la Regione del Veneto: Roberto Casarin, *segretario regionale* della Segreteria all’Ambiente e Territorio; Andrea Costantini, *dirigente regionale* della Direzione Geologia e Attività Estrattive; Federico Toffoletto, del Servizio Regionale Geologia, *responsabile del progetto*, coadiuvato da Riccardo Campana, *responsabile dell’informatizzazione*.

- per il Dipartimento di Geografia dell’Università di Padova: Aldino Bondesan e Mirco Meneghel, *responsabili scientifici*; Alessandro Fontana, *esperto e rilevatore*; Tiziano Abbà, Diego Albanese, *geologi rilevatori*; Aldino Bondesan e Mirco Meneghel, *responsabili della geomorfologia e della sedimentologia*.

Con il Protocollo d’Intesa con la provincia di Venezia, Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo, con *responsabile* Andrea Vitturi, dirigente dello stesso Settore, sono stati acquisiti il database dei sondaggi allestito dalla stessa con il



Fig. 1 - Ubicazione del Foglio 107 "Portogruaro".

Servizio Geologico, *esperti* Valentina Bassan, Sandra Primon, Vittorio Bisaglia, Enrico Conchetto e Andrea Mazzucato sono state acquisite nuove stratigrafie con apposite trivellate e sono state approfondite alcune tematiche come gli aspetti relativi all'idrogeologia, *esperto* Pietro Zangheri.

Antonella Miola, del Dipartimento di Biologia dell'Università degli Studi di Padova, ha collaborato mediante la realizzazione di indagini palinologiche. Fin dalle fasi iniziali si è instaurata un'ampia collaborazione con il Dipartimento di Georisorse e Territorio dell'Università di Udine, impegnato nella realizzazione dell'adiacente Foglio 086 "San Vito al Tagliamento", allo scopo di ottimizzare risorse e competenze e di realizzare un prodotto omogeneo dal punto di vista cartografico e scientifico. In quest'ottica, Adriano Zanferrari ha curato l'analisi dei lineamenti strutturali del Foglio "Portogruaro" e Roberto Avigliano ha fortemente contribuito allo studio del sottosuolo. Cristina Stefani del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova ha realizzato lo studio petrografico sulle sabbie; Alessandra Asioli del CNR di Padova, Nevio Pugliese ed Eugenia Montenegro del DiSGAM dell'Università di Trieste hanno effettuato le analisi micropaleontologiche. Laura Peruzza dell'OGS di Trieste ha analizzato la sismicità della zona; Bernd Kromer dell'Università di Heidelberg e Göran Possnert dell'Università di Uppsala hanno realizzato le datazioni geocronologiche.



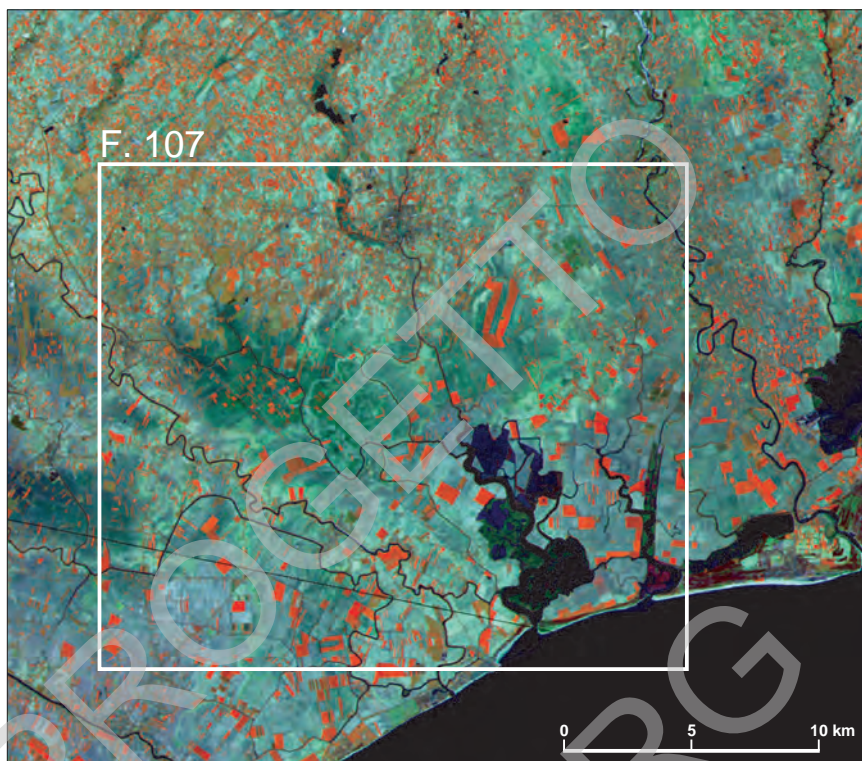


Fig. 2 - Immagine a falsi colori (bande 4-5-3) del satellite Landsat 5 del 1989. Con il riquadro bianco è indicata l'area compresa nel Foglio 107 "Portogruaro". Immagine fornita da Telespazio ed elaborata dalla Direzione Foreste ed Economia Montana della Regione Veneto.

Hanno inoltre contribuito alla realizzazione del progetto per la Regione del Veneto, Anna Galuppo, Enrico Schiavon, Vincenzo Perna, che hanno collaborato alla raccolta dei dati e allo loro informatizzazione.

La campagna di sondaggi geognostici profondi è stata realizzata dal Servizio Forestale Regionale di Belluno, con il coordinamento del dirigente Arduino Graziottin e l'organizzazione logistica di Celeste Gnech; gli operatori sono stati Giovanni Fiocco, Claudio Ganz e Massimo Buzzo.

Infine hanno contribuito con suggerimenti ed idee durante i seminari e le riunioni di coordinamento alcuni specialisti dei vari settori, quali: Giovanni Battista Castiglioni dell'Università degli Studi di Padova, Adriano Zanferrari del Dipartimento Georisorse e Territorio dell'Università degli Studi di Udine, Fabrizio Galluzzo, dirigente di APAT, con i suoi collaboratori Maria Teresa Lettieri, Roberto Graciotti, Marco Pantaloni, Silvana D'Angelo, Maria Letizia Pampaloni, Felicia Papasodaro, Roberta Carta, Edi Chiarini e Andrea Fiorentino.

Il Foglio “Portogruaro”, ubicato nel Veneto orientale (Fig. 1), ricade in gran parte nella provincia di Venezia con i Comuni di Annone Veneto, Concordia Sagittaria, Eraclea, Fossalta di Portogruaro, Portogruaro, Caorle, S. Michele al Tagliamento, S. Stino di Livenza, Torre di Mosto, e in piccola parte in provincia di Pordenone (comune di Azzano Decimo), di Udine (comune di Latisana) e di Treviso (comune di Motta di Livenza).

La base topografica è quella del Foglio 107 “Portogruaro”, alla scala 1:50.000, dell’Istituto Geografico Militare Italiano, che comprende in tutto o in parte le seguenti tavolette I.G.M. alla scala 1:25.000: 39 II NE “Portogruaro”, 39 II SE “Cavanella”, 39 II SO “Torre di Mosto”, 39 II NO “Pramaggiore”, 39 III NE “Motta di Livenza”, 39 III SE “S. Stino di Livenza”, 40 III SO “Cesarolo”, 40 III NO “Latisana”, 52 I NE “Caorle”, 52 I NO “San Giorgio di Livenza”, 52 IV NE “Passarella”, 53 IV NO “Porto di Baseleghe”.

Per i rilievi di campagna sono state utilizzate le Sezioni della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000: 107010 “Annone Veneto”, 107020 “Summaga”, 107030 “Portogruaro”, 107040 “Latisana Ovest”, 107050 “San Stino di Livenza”, 107060 “Bonazza”, 107070 “Sindacale”, 107080 “Lugugnana”, 107090 “Torre di Mosto”, 107100 “La Salute di Livenza”, 107110 “Valle Zignago”, 107120 “Prati Nuovi”, 107130 “Stretti”, 107140 “Ponte Salici”, 107150 “Caorle Nord”, 107160 “Porto di Baseleghe”.

## II - STUDI PRECEDENTI

(A. Fontana, A. Zanferrari)

I primi studi di tipo moderno che considerino, almeno parzialmente, il territorio compreso nel Foglio “Portogruaro”, risalgono alla seconda metà del XIX secolo. In particolare, il settore posto a est del Livenza venne esaminato da G.A. Pirona (1861) e soprattutto nello studio di T. Taramelli “*Dei terreni morenici ed alluvionali del Friuli*” (1875), cui si deve una prima dettagliata carta geologica alla scala 1:25.000 dell’intera pianura friulana fino al Livenza (1881a; 1881b); Taramelli propose inoltre la suddivisione tra terreni formati nel periodo glaciale e in quello postglaciale, basata sul grado di alterazione delle superfici esposte e sulle caratteristiche delle antiche direttrici fluviali.

Importante è stato il lavoro di E. Feruglio (1925), cui si deve il riconoscimento e la caratterizzazione di tre distinte fasi nell’evoluzione tardopleistocenica e olocenica della pianura friulana: quella pleniglaciale relativa alla massima espansione del ghiacciaio würmiano del Tagliamento, quella cataglaciale riguardante il periodo di scioglimento glaciale e quella postglaciale, successiva alla scomparsa dei ghiacciai. Questa divisione è stata poi ripresa dagli autori successivi come A. Comel e, con alcune modifiche e delle precisazioni cronostatigrafiche, è riportata anche nelle legende della nuova cartografia geologica e geomorfologica della pianura veneta e friulana (ZANFERRARI *et alii*, 2008a; 2008b; 2008c; FONTANA, 2006b).

Il rilevamento sistematico e lo studio dettagliato del territorio rappresentato nel Foglio si devono essenzialmente a Comel, che redasse le carte geologiche e geopedologiche e scrisse numerosi lavori di carattere pedologico e geomorfologico che rimangono ancora oggi tra gli studi di riferimento per l’evoluzione geologica tardoquaternaria della pianura veneta e friulana. Comel adottò un approccio improntato essenzialmente alla geopedologia, che in quegli anni subiva

importanti sviluppi. L'identificazione delle unità geologiche da lui individuate si basò sui tipi di suolo presenti sulle superfici ed egli considerò in dettaglio la granulometria e la petrografia dei paleoalvei, la loro pendenza e i rapporti relativi tra i vari terrazzi individuati. Vennero così identificati con precisione i vari lobi deposizionali che costituiscono i sistemi alluvionali formati dal Piave e dal Tagliamento e ne venne tracciata una ricostruzione evolutiva dall'Ultimo Massimo Glaciale (*LGM*) al presente che mantiene tuttora una generale validità (COMEL, 1950; 1956a; 1956b; 1958a; 1958b).

Il settore settentrionale del Foglio è compreso nella carta geologica alla scala 1:100.000 Foglio "Pordenone" (COMEL, 1956a; 1956b) mentre la quasi totalità del Foglio "Portogruaro" è rappresentata nella carta alla scala 1:50.000 allegata allo "Studio della pianura friulana occidentale" (COMEL, 1950). Informazioni più dettagliate, ma di poche zone specifiche e localizzate, sono state fornite da Comel anche nella descrizione dei caratteri pedologici e geologici di alcune delle Tavole IGM che compongono il Foglio o le zone adiacenti.

È da sottolineare il fatto che, quando vennero realizzati i rilevamenti, le aree più meridionali del Foglio erano state bonificate da pochi anni e mantenevano in superficie ancora un'evidente traccia dell'ambiente lagunare preesistente. Di conseguenza, le caratteristiche pedologiche e geomorfologiche documentate nelle carte del Comel spesso sono oggi molto cambiate a causa delle sistemazioni agrarie. In particolare, le bonifiche agrarie e le continue arature sempre più profonde hanno causato una generale erosione degli orizzonti superficiali, consentendo l'affioramento o il subaffioramento del tetto delle unità che fino a poche decine di anni fa erano poste a più di 1 m di profondità.

A partire dagli anni ottanta una nuova serie di studi riguardanti gli aspetti geologici, pedologici, geomorfologici, idrogeologici, il rischio idraulico e quello da mareggiata è stata condotta dalla provincia di Venezia. In particolare di grande importanza è lo studio geo-ambientale del settore orientale della provincia di Venezia alla scala 1:50.000 (PROVINCIA DI VENEZIA, 1983), che fornisce anche una serie di cartografie tematiche di carattere applicativo a scale minori.

Negli ultimi anni i caratteri pedologici del territorio considerato sono stati analizzati e rappresentati, essenzialmente per finalità agrarie e zootecniche, dalla carta pedologica della zona vinicola DOC del Piave e da quella dell'area DOC "Lison-Pramaggiore" alla scala 1:25.000 (ESAV, 1996; VENETO AGRICOLTURA, 2001); a questi lavori sono allegate le descrizioni di numerosi profili e i risultati di analisi di laboratorio che consentono una buona caratterizzazione dei terreni superficiali. Tali carte e dati sono recentemente confluiti nella Carta pedologica della provincia di Venezia, alla scala 1:50.000 (RAGAZZI & ZAMARCHI, 2008a; 2008b). La Carta dei suoli del Veneto alla scala 1:250.000, recentemente pubblicata, consente un inquadramento a scala regionale dei caratteri pedologici e geolitologici delle varie superfici presenti nel Foglio (REGIONE DEL VENETO, 2005). Inoltre, per i territori posti poco a monte del Foglio sono disponibili rilevamenti pedologici recenti (MICHELUTTI *et alii*, 2003).

Gli aspetti geomorfologici, soprattutto quelli relativi al microrilievo e alle antiche tracce paleoidrografiche, sono stati considerati nella “Carta geomorfologica della Pianura Padana” alla scala 1:250.000 (MURST, 1997a; 1997b) e, più in dettaglio, dalla “Carta geomorfologica della provincia di Venezia” (BONDESAN *et alii*, 2004a; BONDESAN & MENEGHEL, 2004) in cui la rappresentazione alla scala 1:20.000 (CD-Rom allegato alla carta 1:50.000) e le ricerche di dettaglio condotte sui paleoalvei hanno consentito di fornire una precisa attribuzione cronologica di buona parte delle diverse direttrici fluviali del Tagliamento, Livenza e Piave presenti nel Foglio (BONDESAN, 2004; FONTANA, 2004a; 2004b; FONTANA *et alii*, 2004; 2008). Riguardo l'evoluzione olocenica dei percorsi del Tagliamento e del Piave sono state importanti le ricerche che hanno considerato i rapporti tra l'evoluzione fluviale e lagunare e gli insediamenti archeologici di Cittanova e Concordia Sagittaria (SALVATORI, 1989; FAVERO, 1990; CASTIGLIONI & FAVERO, 1996; VALLE & VERCESI, 1996; CROCE DA VILLA & DI FILIPPO, 2003). Gli aspetti geologici e paleoambientali di quest'ultimo sito sono stati analizzati in dettaglio grazie al Progetto INTERREG 2002-04, IIIA. III A Italia - Slovenia AAVEN 332065 “Paleovie e logistica della comunicazione nel territorio di Iulia Concordia XII sec. a.C. - II sec. d.C.” (BONDESAN *et alii*, 2005).

Nella zona costiera di Valle Vecchia numerosi studi sono stati effettuati dai ricercatori dell'Università di Trieste (CATANI *et alii*, 1978; 1982); l'assetto stratigrafico tardo quaternario dell'area compresa tra la foce del Tagliamento e quella del Livenza è stata analizzata in dettaglio in varie ricerche condotte da Marocco e collaboratori (MAROCCO, 1988; MAROCCO *et alii*, 1996; GALASSI & MAROCCO, 1999; LENARDON *et alii*, 2001; GORDINI *et alii*, 2002; 2006); le trasformazioni subite dalla zona costiera sono descritti in dettaglio anche per il tratto compreso tra Bibione e Porto S. Margherita da Fontolan (2004), che ha anche curato lo studio del rischio da mareggiata realizzato dalla provincia di Venezia.

Per lo studio sulle alluvioni storiche e recenti un dettagliato catalogo è stato ricostruito da Castellarin (1990).

Recentemente tutti gli aspetti della Geologia superficiale, Geomorfologia, Idrografia e Geoarcheologia della bassa pianura friulana sono stati trattati in dettaglio nella monografia “Evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana e sue relazioni con le antiche dinamiche insediative” (FONTANA, 2006), cui è allegata anche la “Carta Geomorfologica della bassa pianura friulana” alla scala 1:50.000. Questi lavori sono stati aggiornati anche con i nuovi dati dei rilevamenti relativi ai Fogli geologici “Portogruaro” e “San Vito al Tagliamento” e offrono una sintesi delle attuali conoscenze relative all'area, in pieno accordo con i metodi e le suddivisioni cronostratigrafiche adottate anche nella realizzazione della cartografia CARG. I nuovi dati sono anche stati considerati nella realizzazione della Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia (BONDESAN *et alii*, 2008). Nell'area compresa nel Foglio sono inoltre presenti alcuni dei geositi individuati dalla provincia di Venezia (BONDESAN & LEVORATO, 2008).

I rapporti tra la stratigrafia e le falde profonde sono stati analizzati in dettaglio da Zangheri (CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA VENETA & PROVINCIA DI VENEZIA, 2001).

Il sottosuolo dell'area del Foglio è stato indagato solo marginalmente dalle indagini per la ricerca di idrocarburi, in quanto tale area durante gli eventi contrazionali cenozoici, si è trovata in posizione di rialzo periferico o di avampaese distale e quindi inadatta, oltre che per altre caratteristiche, a conservare giacimenti di idrocarburi. A parte una maglia sufficientemente fitta di buone linee di sismica a riflessione, le informazioni derivano perciò dai pozzi AGIP circostanti (AGIP, 1977; CATI *et alii*, 1989b). Importanti lavori di inquadramento regionale sono rappresentati da CATI *et alii* (1989a) relativamente al basamento magnetico e, soprattutto, da CATI *et alii* (1989b) per quanto riguarda l'evoluzione e le geometrie regionali della Piattaforma Carbonatica Friulana.

La storia geologica di quest'ultima tra il Giurassico e il Cretacico è stata analizzata dettagliatamente in PICOTTI *et alii* (2003), che hanno messo in evidenza la variazioni di subsidenza del sistema piattaforma-bacino e di produttività della Piattaforma Carbonatica Friulana e i relativi effetti sulla batimetria del Bacino di Belluno.

Una sintesi sull'evoluzione, diacrona da ovest ad est, dell'intero sistema catena-avanfossa sudalpino a partire dall'Oligocene, realizzatasi in un contesto di convergenza obliqua associata a rotazione antioraria del margine settentrionale della microplacca Adriatica, è stata presentata da MASSARI (1990).

Successivamente FANTONI *et alii* (2002) hanno realizzato una fondamentale sintesi focalizzata sul bacino di avampaese veneto-friulano, di cui viene tratteggiata l'evoluzione cenozoica alla luce dei rapporti fra sedimentazione e tettonica nei tre eventi contrazionali - dinarico, insubrico e neoalpino - che hanno caratterizzato la regione nel Cenozoico. Il lavoro si avvale anche dei risultati della recente revisione stratigrafica dei log dei pozzi AGIP nella pianura veneto-friulana, che ha portato ad aggiornamenti talora sostanziali del *data set* del sottosuolo.

### III - METODI DI INDAGINE E CRITERI CARTOGRAFICI

(A. Fontana, V. Bassan, R. Campana, A. Correggiari,  
A. Mazzuccato, G. Paiero, A. Zanferrari)

#### 1. - STUDIO DELLE AREE EMERSE E LAGUNARI

Trattandosi di un Foglio che comprende un'area di bassa pianura e alcuni settori lagunari e marini, il lavoro è iniziato dalla raccolta dei dati preesistenti e dalla realizzazione di alcune ricerche di tipo indiretto che considerassero l'intera superficie da indagare. Sono così stati effettuati lo studio del microrilievo e il telerilevamento, dal cui incrocio sono state poi evidenziate le zone più interessanti e quelle più problematiche in cui eventualmente concentrare maggiormente le indagini dirette sul terreno.

##### 1.1. - TELERILEVAMENTO

È stato redatto sulla base dei dati ottenuti dalla fotointerpretazione delle coperture aerofotografiche zenitali disponibili per l'area considerata e solo marginalmente con l'analisi d'immagini satellitari. La visuale più ampia fornita da queste ultime ha permesso di raccordare e correlare fra loro le tracce riconosciute in dettaglio nelle foto aeree. Sono state analizzate ed interpretate le seguenti serie di foto aeree e immagini satellitari:

- Volo GAI 1954 - bianco/nero; scala media 1:31.000;
- Volo ITALIA 1983 - bianco/nero; scala media 1:13.000;
- Volo ENEL 1987 - bianco/nero; scala media 1:33.000;
- Volo REVEN 1990 - colori; scala 1:20.000;
- Volo ITALIA 2000 - Ortofoto; colori; scala media 1:5.000;

- LANDSAT 5 TM; LANDSAT 7 TM;
- SPOT 3; SPOT 5;
- Quickbird 2003-2006;
- Ikonos 2003-2005.

È stata posta grande attenzione al riconoscimento di paleoalvei e di tracce di antichi canali lagunari, confrontando i dati emersi dalla fotointerpretazione con la cartografia storica e moderna, al fine di datare alcune delle morfologie individuate. Si può ritenere che nella maggioranza dei casi le tracce di antichi canali lagunari appartengano ad elementi ancora attivi nel corso del XIX e XX secolo, successivamente disattivatisi per opera delle bonifiche agrarie.

Il riconoscimento di tracce prodotte da antichi interventi dell'uomo, come segni legati alla centuriazione romana e agli antichi tracciati stradali, ha consentito di ottenere delle datazioni relative delle superfici su cui si trovano.

I controlli sul terreno hanno permesso anche di discriminare alcune tracce che preliminarmente erano state considerate come paleoalvei, mentre in realtà si sono rivelate aree con drenaggio difficile o caratterizzate da variazioni tessiturali non direttamente connesse alla esistenza di paleoalvei. Ad esempio, nel caso di antichi percorsi di dossi fluviali, nella fotointerpretazione la traccia più evidente è quella che demarca il limite esterno del dosso, cioè la zona in cui i depositi limoso-sabbiosi dell'argine naturale passano a quelli limoso-argillosi della piana



Fig. 3 - Stralcio di foto aerea del volo REVEN 90 delle aree bonificate a ovest di Sindacale di Concordia Sagittaria. Si riconoscono le tracce di numerosi canali lagunari e, in alto a sinistra, un paleoalveo medievale del Tagliamento e il dosso sabbioso caratterizzato dai toni gialli.



inondabile. Si tratta però di un segno legato alla diversa permeabilità dei terreni e che non indica quindi un antico canale fluviale.

## 1.2. - ANALISI DEL MICRORILIEVO

Si è proceduto al tracciamento delle isoipse con equidistanza 0,5 m, interpolando manualmente i punti quotati della CTR alla scala 1:10.000 o 1:5.000; nell'elaborazione sono stati considerati solo i punti che si riferivano al terreno "naturale", evitando invece o correggendo quelli posti su manufatti come strade, piazzali, abitazioni. Le misure riferite agli argini fluviali e lagunari, ai rilevati stradali e ai ponti sono state scartate e si sono anche analizzati con attenzione i punti riferiti a luoghi in cui, dalle conoscenze pregresse, si sapeva che erano stati effettuati importanti interventi come spianamenti, riporti o livellamenti.

A questa prima stesura è seguito poi un confronto con i dati ottenuti dalla fotointerpretazione e dal rilevamento di campagna; si sono così effettuate alcune



Fig. 4 - DTM dell'area del Foglio sovrapposta in trasparenza a hillshading con lumeggiamento.

correzioni che hanno reso il microrilievo più aderente alla realtà. Durante il rilevamento si è posta particolare attenzione nel cartografare i bordi dei terrazzi fluviali, che normalmente non si riesce a rappresentare in modo corretto attraverso una carta del microrilievo a causa della distribuzione casuale e della scarsa densità dei punti quotati presenti nella CTR.

Le isoipse sono state poi digitalizzate e si è proceduto alla loro elaborazione tramite il Sistema Informativo Geografico IDRISI® per ottenere un modello digitale del terreno (DTM). Questo ha consentito un'analisi tridimensionale della topografia che si è rivelata di grande aiuto nella comprensione dei rapporti esistenti fra le varie unità geomorfologiche e nell'inquadramento di alcuni dei principali siti archeologici. I dati sono poi serviti anche per calcolare la profondità della base del sistema del Po (vedi Foglio Allegato sul sottosuolo).

### 1.3. - ANALISI DELLA CARTOGRAFIA STORICA

Contemporaneamente al telerilevamento è stato effettuato uno studio della cartografia storica disponibile, mirato in particolare all'analisi dell'evoluzione dell'idrografia e delle zone costiere e lagunari; sono state consultate la Carta Topografica del Regno Lombardo-Veneto alla scala 1:86.400 (1833) e le serie storiche delle tavolette della Carta Topografica d'Italia alla scala 1:25.000 edita dall'IGM, a partire dall'edizione del 1891. Di grande utilità si è rivelata la *Topographisch-geometrische Kriegskarte von dem Herzogthums Venedig* ossia la *Carta Topografica-geometrica militare o, letteralmente, da guerra, del Ducato di Venezia* (ROSSI, 2005). Questa venne rilevata alla scala media 1:28.800 tra il 1801-1805 da Anton Von Zach per conto dell'amministrazione austriaca. L'analisi delle tavolette IGM ha consentito la datazione di molti paleoalvei rinascimentali e moderni del Tagliamento nell'area compresa tra Ronchis e Latisana (UD), nell'angolo nord-orientale del Foglio (cfr. SURIAN, 2002). Lo studio dell'evoluzione di questo fiume nei pressi di Latisana è stato anche favorito dalle numerose cartografie e resoconti di epoca veneziana relativi alle piene del fiume e alla sistemazione delle sponde (CASTELLARIN, 1990).

Fondamentale risulta l'utilizzo della cartografia storica nelle aree un tempo lagunari ora bonificate, spesso ritratte con buon dettaglio già dal XVI sec. d.C. e che aiutano a differenziare gli ambienti un tempo influenzati dalla laguna da quelli di piana alluvionale.

### 1.4. - RILEVAMENTO DI CAMPAGNA

Il rilevamento di campagna del Foglio è stato realizzato negli anni 2002-2005 e, oltre al rilevamento sistematico per ogni sezione della CTR, molto tempo è stato dedicato alla raccolta di dati tramite lo studio di scavi profondi in cantieri edili. Per ogni "affioramento" o sondaggio geognostico sono stati raccolti dati

secondo le indicazioni proposte da specifici lavori riguardanti lo studio della geologia e geomorfologia di pianura (MIALL, 1996; CASTIGLIONI, 1995; BONDESAN *et alii*, 2004a) oltre alle raccomandazioni del Servizio Geologico Nazionale. Inoltre, dato il carattere temporaneo degli affioramenti presenti in pianura, durante il rilevamento si è raccolta una buona documentazione fotografica.

Ci si è basati soprattutto sull'ispezione di fossati e scoline appena rifatti, che consentivano la visibilità degli strati inferiori a quello arativo, spesso poco significativo e ampiamente rimaneggiato dalle pratiche agrarie. In particolare le pareti dei fossati fondi 1,5-3 m e lunghi oltre 1 km hanno infatti consentito di cogliere gli aspetti stratigrafici su grandi estensioni, facilitando la comprensione delle variazioni di facies laterali e la correlazione tra differenti corpi stratigrafici.

La profondità raggiunta dai fossati è risultata sufficiente nelle aree in cui affiorano i depositi pleistocenici, mentre per quelli di età olocenica si sono spesso dovuti effettuare carotaggi manuali o con sonda auger meccanica al fine di comprendere le geometrie e i rapporti tra le varie unità.

Meno numerose, ma spesso significative, sono state anche le sezioni stratigrafiche rilevate in scavi effettuati per cantieri edili, stradali e posa di tubature. Particolarmente importanti sono risultate le osservazioni condotte in corrispondenza degli scavi di parcheggi sotterranei e sottopassi, che hanno talvolta raggiunto i 4-5 m di profondità. Si è trattato di condizioni fortunate in quanto erano presenti sistemi di drenaggio artificiale tipo *well point* che consentivano di deprimere la falda freatica; questa è molto superficiale nella bassa pianura e rende in genere impossibile l'osservazione diretta di scavi profondi oltre 1,5 m.

La descrizione di campagna ha comportato la raccolta di dati riguardanti i primi strati di terreno ed in particolare si sono adottati i metodi di descrizione proposti da Sanesi (1977) e dalle "*Guidelines for soil description*" (FAO-ISRIC, 1990). La descrizione dei profili pedologici e la divisione in orizzonti oltre ai testi sopra citati si è basata sulle norme indicate dal Soil Survey Staff degli Stati Uniti d'America (1998). Tra le varie proprietà descritte si ricordano la granulometria, il colore, la struttura, il grado di consolidazione o di addensamento, l'effervescenza, le strutture e le geometrie sedimentarie, le figure pedologiche, il contenuto paleontologico animale, vegetale o archeologico. Per la distinzione granulometrica tra argille, limi e sabbie si è fatto riferimento alla scala di Udden-Wentworth (WENTWORTH, 1922) e il riconoscimento della presenza di argilla e limo è stato condotto secondo le proprietà empiriche determinabili attraverso la manipolazione dei sedimenti inumiditi (plasticità, adesività, saponosità, smeriglio; cfr. SANESI, 1977; CREMASCHI & RODOLFI, 1987). I colori dei terreni sono stati stimati per mezzo delle apposite tavole cromatiche di riferimento prodotte dalla *Munsell Color Company* (1996). Per la descrizione di questa proprietà sono stati in genere considerati i sedimenti umidi. Il tenore di carbonati contenuti nei sedimenti è stato valutato con acido cloridrico (HCl) diluito al 10%.

Oltre alle proprietà fisiche, quando presenti e distinguibili, sono state anche descritte le percentuali di abbondanza, le dimensioni e i colori di eventuali

elementi pedologici come screziature, noduli di ossidi, concrezioni, patine argillose e limose, anche dei resti vegetali e di quelli paleontologici (generalmente conchiglie di bivalvi o gasteropodi continentali e marini).

Durante il rilevamento è stato generalmente effettuato il prelievo di numerosi campioni, tra i quali sono stati selezionati i più rappresentativi per essere sottoposti ad analisi di laboratorio (bio cronostratigrafiche, sedimentologiche, paleontologiche, mineralogiche, petrografiche, geochimiche, palinologiche, datazioni ecc.).

#### 1.5. - SONDAGGI MANUALI E TRIVELLATE MECCANICHE

Nel corso del rilevamento è stata condotta una serie di sondaggi geognostici con sonda manuale di tipo olandese (Eijkelkamp®) lungo transetti perpendicolari ai principali elementi di idrografia antica, ora disattivati.

I carotaggi, oltre a consentire la comprensione dei rapporti stratigrafici delle varie unità, hanno permesso di raccogliere materiale da sottoporre a datazione con il metodo del  $^{14}\text{C}$  (torbe, legni, sedimenti organici).

In particolare si è puntato a datare la base dei canali residuali dei paleoalvei al fine di determinare l'età precisa di disattivazione dell'alveo. Oltre ai carotaggi manuali, in circa 250 punti precedentemente selezionati su tutta l'area del Foglio, sono state eseguite trivellate meccaniche fino alla profondità di 6 m. Le indagini sono state eseguite con la sonda di tipo auger della provincia di Venezia.



Fig. 5 - Sonda per trivellata meccanica di tipo auger presso località Comos di Lugugnana. Lungo la parete del fosso si nota un orizzonte organico sepolto dai depositi fluviali dell'unità di Malamocco.

## 1.6. - GEOARCHEOLOGIA

Grazie al lavoro condotto precedentemente per la realizzazione della Carta Geomorfologica della provincia di Venezia, su tutto il territorio compreso nel Foglio sono stati recentemente censiti e introdotti in un database informatizzato tutti i siti archeologici noti al dicembre 2003 e corrispondenti a oltre 150 aree (BONDESAN *et alii*, 2004). Oltre all'ubicazione e alle informazioni relative all'età dei reperti ritrovati, è stata descritta anche la tipologia dei siti, differenziando i vari contesti (infrastrutture, necropoli, ritrovamenti occasionali e insediamenti) permettendo quindi di dare il giusto valore stratigrafico ai vari siti. In tal modo è stato possibile un loro corretto utilizzo nella definizione della cronologia delle superfici esposte o sepolte su cui si trovano. Si sono così ottenute informazioni molto interessanti e talvolta fondamentali per stilare una cronologia relativa delle superfici e degli elementi geomorfologici individuati, come testato su tutta la bassa pianura friulana (FONTANA, 2006). In particolare le strutture antropiche di cui si conosce l'età, come ad esempio strade, canali e insediamenti, consentono di datare la superficie su cui esse si trovano, almeno precedentemente al periodo in cui vennero costruite. I siti possono così essere utilizzati come dei *marker* stratigrafici o, meglio, come dei termini cronologici *ante quem* o *post quem*, con cui realizzare prima una cronologia relativa e successivamente giungere



Fig. 6 - Presenza della via Annia di epoca romana nei pressi di Latisana, località Tavano. La strada rappresenta la discontinuità che separa l'unità di Malamocco e quella di Torcello, di età post-romana.

eventualmente anche a delle datazioni assolute di alcuni eventi. Ad esempio, tale metodo si è rivelato fondamentale per la caratterizzazione e l'individuazione dell'*unità di Torcello* di età post-romana (V-VI secolo d.C. - Attuale) e la cui definizione stratigrafica è strettamente legata ai siti archeologici.

Particolarmente importanti sono state le correlazioni tra stratigrafie archeologiche e depositi fluviali e lagunari nei territori di Concordia Sagittaria e Cittanova-Eraclia.

## 2. - STUDIO DELLE AREE A MARE

La porzione di mare compresa nel Foglio 107 "Portogruaro" ha un'estensione di circa 10 km<sup>2</sup> e raggiunge la profondità massima di -12 m presso il vertice SE della carta. Lo studio di questo settore si è articolato nella raccolta e analisi dei dati esistenti disponibili. Le informazioni acquisite si distinguono essenzialmente in due tipi: quelle sulla tessitura e batimetria del settore più prossimo alla linea di riva e quelle stratigrafiche e batimetriche riguardanti un'area molto più estesa rispetto al Foglio.

Per la caratterizzazione granulometrica dei depositi sommersi rappresentati nella carta è stata importante la collaborazione fornita da alcuni enti; in particolare dal Comune di San Michele al Tagliamento che, per la porzione marina orientale del Foglio, ha messo a disposizione lo studio della dinamica attuale del delta del Tagliamento, realizzato dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste (RAMELLA *et alii*, 2005), in parte pubblicato (GORDINI *et alii*, 2006). Per tracciare i limiti delle tessiture e l'andamento del fondale sono stati utilizzati anche i dati degli studi commissionati dal Genio Civile di Venezia e dal Comune di Caorle per la caratterizzazione delle aree di Porto Baseleghe e di Porto Falconera, ai fini di dragare le vie di accesso alla darsena di Bibione-Baseleghe e alla laguna di Caorle. A integrazione della ricostruzione delle granulometrie del fondale e della batimetria sono state utili anche le carte del fondale marino antistante il litorale di Valle Vecchia (CATANI *et alii*, 1978; 1982).

Per la comprensione dell'assetto stratigrafico del settore marino compreso nel Foglio sono state utilizzate le informazioni disponibili e di buona qualità riguardanti un'area notevolmente più estesa di quella rappresentata in carta. Infatti, la grande disponibilità di dati di buona qualità nelle zone più al largo, provenienti dagli archivi ISMAR-CNR di Bologna, ha permesso di correlare l'assetto stratigrafico generale tra terra e mare nell'area di studio. Inoltre, le impregnazioni di gas lungo la fascia litorale impongono l'estensione verso mare dei rilievi in modo da poter ricavare dati significativi di buona leggibilità. I dati utilizzati sono stati raccolti in varie campagne nel 2004-2005 da ISMAR-CNR sede di Bologna per il progetto Cartografia Geologica dei Mari Italiani a scala 1:250.000, Foglio NH 33-L "Venezia". Si tratta di profili sismoacustici di tipo CHIRP-Sonar acquisiti con la Nave Oceanografica Urania. Tra i vari profili acquisiti sono stati riportati

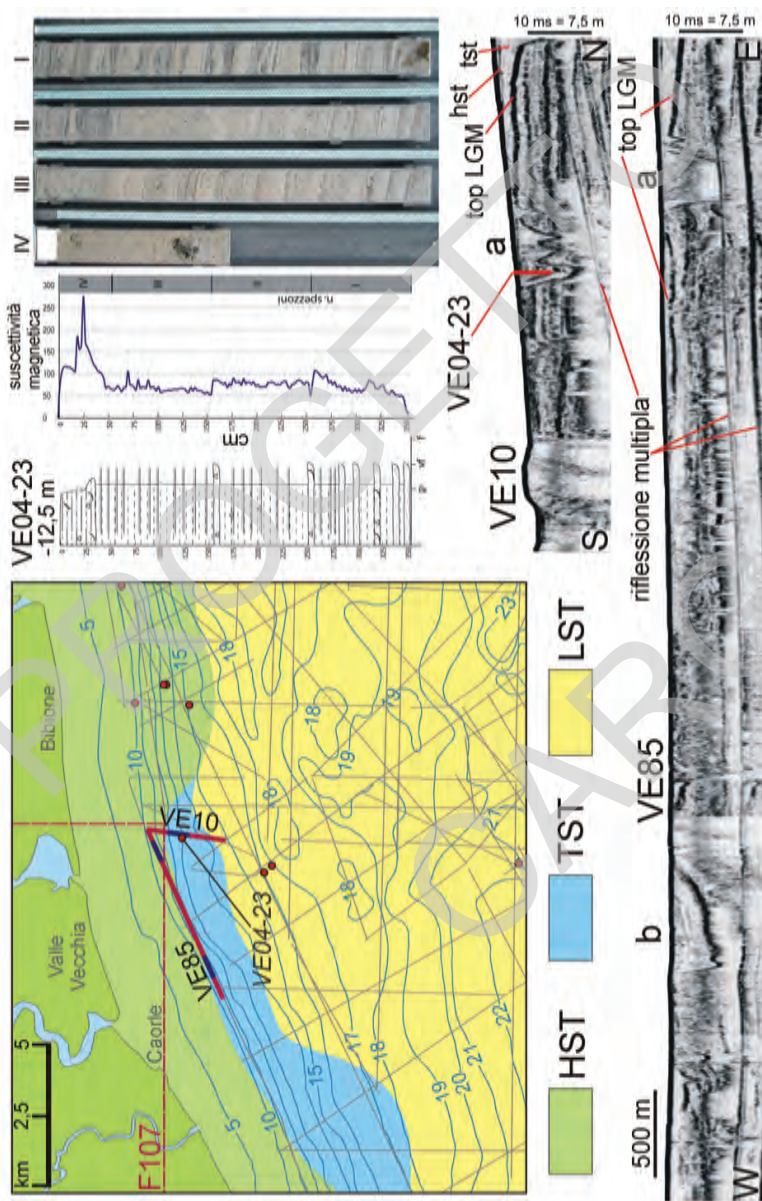


Fig. 7 - Siralicio della Carta Geologica dei Mari Italiani, Foglio NH 33-L "Venezia", con indicati i depositi di high stand (HST), transgressive (TST), low stand (LST) e le linee batimetriche; i pallini rossi e le linee grigie rappresentano i carotaggi a gravità e le tracce dei profili CHIRP-Sonar realizzati durante le crociere VE2004 e VE05 dal ISMAR-CNR di Bologna. In basso sono riportati i profili CHIRP-Sonar VE10 e VE85, mentre in alto è rappresentato il log stratigrafico, di suscettività magnetica e quello fotografico del carotaggio VE04-23.

in figura 7 i più rappresentativi per inquadrare i depositi presenti nel tratto marino incluso nel Foglio “Portogruaro”. Durante le crociere sono stati poi realizzati alcuni carotaggi convenzionali a gravità e, poche centinaia di metri a sud del limite del Foglio “Portogruaro”, è stato realizzato il sondaggio (VE04-23) che ha raggiunto i 3,5 m di profondità rispetto al fondale posto a -12,5 m (Fig. 7). Tale carota ha inoltre consentito di tarare le informazioni ottenute dai rilevamenti geofisici.

I dati raccolti consentono di tracciare i limiti cartografici più importanti e di evidenziare alcuni aspetti relativi all’evoluzione olocenica del settore costiero. In particolare, in figura 7 è rappresentata l’estensione dei depositi trasgressivi (*TST*) e quelli di *high stand* marino (*HST*) correlati all’attività di Tagliamento, Piave e Livenza. Da notare come i sedimenti di *high stand* terminino in corrispondenza del vertice di SE del Foglio, mentre sono progradati maggiormente poco più a est per effetto della deposizione del delta attuale del Tagliamento, attivatosi alla fine dell’epoca romana.

Nel profilo VE10, verso nord si ha la presenza di pochi decimetri di depositi di *high stand* (*HST*), sotto cui vi sono dei sedimenti trasgressivi (*TST*), probabilmente lagunari, che seppelliscono i sedimenti di *low stand* (*LST*); questi ultimi corrispondono alle alluvioni del *LGM* (Last Glacial Maximum), corrispondenti al sintema di Spilimbergo (SPB), depositate quando il livello marino era più basso di oltre -120 m. Poco più a ovest, nel profilo VE10 si riconoscono alcune valli, facenti parte di uno stesso sistema di incisioni e completamente riempite; oltre esse la superficie dei depositi *LGM* è praticamente coincidente con il fondale marino. Nell’incisione più fonda è stato effettuato il carotaggio VE04-23, che ha attraversato circa 25 cm di sedimenti legati all’*highstand*, riconoscibili anche per la loro maggiore suscettività magnetica. Nella carota vi è poi una sequenza di alternanze centimetriche di limi e sabbie con presenza di faune lagunari; il profilo evidenzia la presenza al fondo della valle di depositi più grossolani, probabilmente sabbiosi. Questa incisione è correlabile con quella identificata nel settore orientale del profilo VE85, ed è per questo indicata come canale (a) in entrambe le sezioni. Da notare poi l’esistenza di un’altra incisione, evidenziata come (b) e ampia alcune centinaia di metri, situata nella porzione occidentale del profilo CHIRP-Sonar. In entrambi i profili verso il basso sono riconoscibili le riflessioni multiple del fondo topografico e degli orizzonti superficiali che limitano l’interpretazione stratigrafica andando in profondità.

### 3. - CRITERI DI ANALISI BIOSTRATIGRAFICA E PETROGRAFICA

Per quanto riguarda le metodologie seguite per analisi palinologiche, micro- e macro-paleontologiche, e per l’analisi di facies sui sedimenti campionati dai sondaggi geognostici si rimanda ai relativi paragrafi nel Capitolo VI riguardante il sottosuolo. Per i criteri adottati nella petrografia delle sabbie si veda allo specifico Paragrafo VI-4.



#### 4. - CRITERI DI ANALISI DEL SOTTOSUOLO PROFONDO

In questa sezione vengono descritti i metodi utilizzati per lo studio della geologia profonda dei depositi sciolti situati a oltre 100 m di profondità e del substrato roccioso. Le modalità con cui sono state analizzate le prime decine di metri, invece, indagate direttamente con il Progetto CARG - Regione del Veneto, sono descritti in dettaglio nel Capitolo VI - Geologia del sottosuolo.

Per lo studio dell'architettura del sottosuolo e per la costruzione delle isobate della base dei depositi quaternari sono stati utilizzati sia i dati dei pozzi esplorativi che le sezioni sismiche a riflessione eseguite per ricerca di idrocarburi da parte dell'AGIP.

Per la taratura delle sezioni sismiche, non rientrando nell'area del Foglio alcun pozzo per idrocarburi, sono stati utilizzati in particolare i *log* dei pozzi Cesarolo 1, Cavanella 1, San Stino 1 e San Donà di Piave 1, recentemente rivisitati dall'AGIP (ubicazione in Fig. 16).

L'area del Foglio e circostante è interessata da una fitta maglia di linee sismiche a riflessione, realizzate dall'AGIP negli anni '70 e '80. Alcune, eseguite nel 1976 nell'ambito degli studi successivi al sisma del Friuli, furono immediatamente interpretate e pubblicate (AMATO *et alii*, 1976). Altre furono rese pubbliche quale fondamentale contributo dell'AGIP al Progetto Finalizzato Geodinamica (PIERI & GROPPA, 1981).

Tutte le sezioni sismiche di buona qualità sono state interpretate, in modo da realizzare una ricostruzione 3D del sottosuolo dell'area del Foglio e circostante. Per la conversione dei tempi in profondità sono state applicate le velocità sotto indicate.

Orizzonti sismostratigrafici di particolare evidenza, veri orizzonti-guida, sono rappresentati dalla base delle dolomie del Triassico superiore (*unconformity* carnica) e dal *top* della successione langhiana del "gruppo di Cavanella". Quasi sempre ben seguibile è anche il *top* della Piattaforma Carbonatica Friulana.

Le isobate della base dei depositi quaternari derivano da un lavoro esteso a tutta la pianura veneto-friulana (DI GIULIO *et alii*, in stampa). Le isobate sono state tracciate fino ai sovrascorrimenti frontali, applicando velocità variabili tra 2.500 e 2.000 m/s e tarando le sezioni sismiche con i *log* di tutti i pozzi AGIP esistenti; la mappa generale è stata poi ritagliata secondo il confine dei Fogli (ZANFERRARI *et alii*, 2008a; 2008b).

Valori di velocità sismiche applicate ai diversi intervalli stratigrafici:

Quaternario: .....	2.000 ÷ 2.200 m/s
Pliocene: .....	2.100 m/s
Serravalliano-Messiniano: .....	2.450 m/s
Aquitano-Langhiano ("Gruppo di Cavanella"): .....	4.100 m/s
Unità torbiditiche tra base "Cavanella" e <i>top</i> carbonati: .....	3.600 m/s
Carbonati giurassico-cretacici (e paleogenici) di piattaforma: . . . .	5.800 m/s
Dolomia Principale: .....	7.000 m/s

## 5. - BANCHE DATI

Nell'ambito del Progetto CARG, la Regione del Veneto ha strutturato una Banca Dati del sottosuolo, contenente in prevalenza dati relativi ad indagini geognostiche; parte di essi proviene dalla realizzazione di pozzi, trivellate o piccoli carotaggi eseguiti manualmente a piccola profondità, trincee esplorative e prove penetrometriche.

La struttura della suddetta Banca Dati è stata fornita alle amministrazioni pubbliche interessate alla realizzazione di un proprio archivio informatizzato di dati geognostici.

La provincia di Venezia, che ha partecipato alla realizzazione del Foglio 107 "Portogruaro" e che già da tempo disponeva di un proprio database relativo al territorio provinciale, ha curato la raccolta e l'inserimento dei nuovi dati stratigrafici relativi al Foglio in oggetto che durante il corso dei lavori di rilevamento si rendevano disponibili nonché la condivisione dei dati precedenti in suo possesso.

I dati acquisiti, nel loro complesso, sono stati in parte forniti da vari Enti in base ad accordi di programma o convenzioni (provincia di Venezia, Centro Agroambientale dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Veneto, Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, Veneto Strade S.p.a., Genio Civile di Treviso, Genio Civile di Venezia, Amministrazioni comunali, Autostrada Venezia-Trieste, Rete Ferroviaria Italiana, Autovie Venete S.p.a. e Dipartimento di Geografia dell'Università degli Studi di Padova) sono stati omogeneizzati ed importati nella struttura della Banca Dati Regionale ed eventualmente integrati con informazioni aggiuntive.

La Banca Dati è sostanzialmente strutturata in quattro gruppi di tabelle principali (Fig. 8), ciascuno dei quali contenente una specifica tipologia di informazioni:

- gruppo a - fonte ed attendibilità del dato (metadati)
- gruppo b - dati di carattere geografico-amministrativo, quali l'ubicazione del sondaggio, la ditta esecutrice, l'operatore di cantiere e la profondità indagata
- gruppo c - metodica d'indagine
- gruppo d - dati tessiturali diretti o interpretati da prove penetrometriche o da indagini geofisiche

L'ubicazione di ciascuna indagine è stata riportata in un apposito livello informativo, all'interno di un GIS, in coordinate Gauss Boaga - fuso ovest, proiettando direttamente i dati già informatizzati oppure, per i dati su supporto cartaceo, inserendola a video, previa visualizzazione del riferimento della Carta Tecnica Regionale. Nel caso delle nuove perforazioni, l'ubicazione è stata direttamente inserita nella Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000.

Posizionato il punto di indagine, un programma applicativo ha attribuito un numero identificativo all'indagine stessa, le coordinate ed i dati amministrativi e cartografici di riferimento. Tali dati sono stati successivamente caricati dal

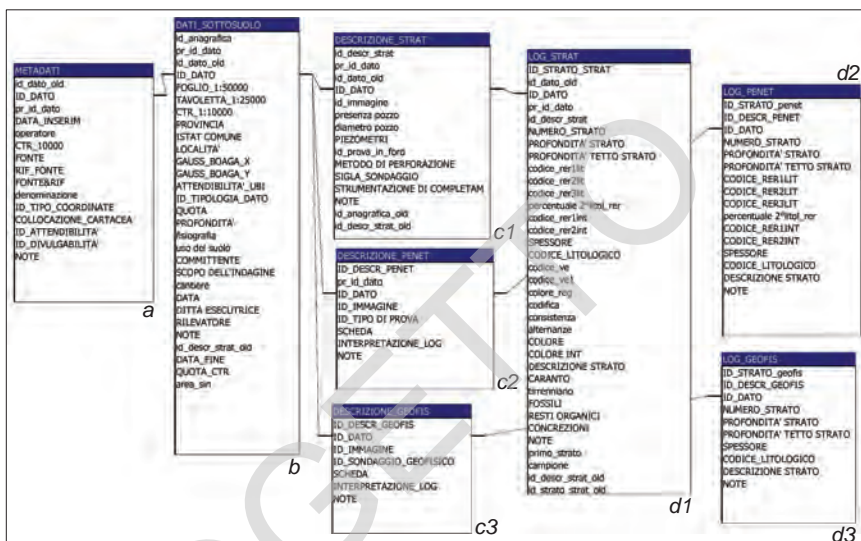


Fig. 8 - Schema della struttura tabellare e delle relazioni della Banca Dati Regionale: a) metadati; b) dati di carattere geografico-amministrativo; c) metodica d'indagine; d) dati tessiturati dedotti da indagini stratigrafiche (1), penetrometriche (2) e geofisiche (3).

sistema nei corrispondenti campi e tabelle della Banca Dati e completati con le informazioni tessiturati mediante un sistema di maschere (Fig. 9 e 10).

La consultazione di ciascuna indagine, o di un gruppo di indagini, può essere effettuata selezionando dallo strato informativo i punti di interesse ed esaminando la restituzione in forma grafica alla scala prescelta.

Le due schermate mostrano le maschere per l'inserimento dei metadati e delle principali informazioni amministrative e di localizzazione dell'indagine. La prima schermata (a sinistra) mostra i metadati, e la seconda (a destra) mostra le informazioni amministrative e di localizzazione.

Fig. 9 - Maschere per l'inserimento dei metadati e delle principali informazioni amministrative e di localizzazione dell'indagine.

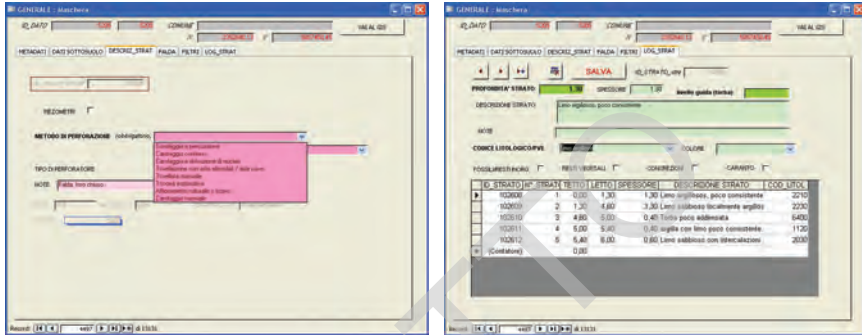


Fig. 10 - Maschere per l'inserimento delle caratteristiche e metodiche di realizzazione dell'indagine e dei dati stratigrafici.

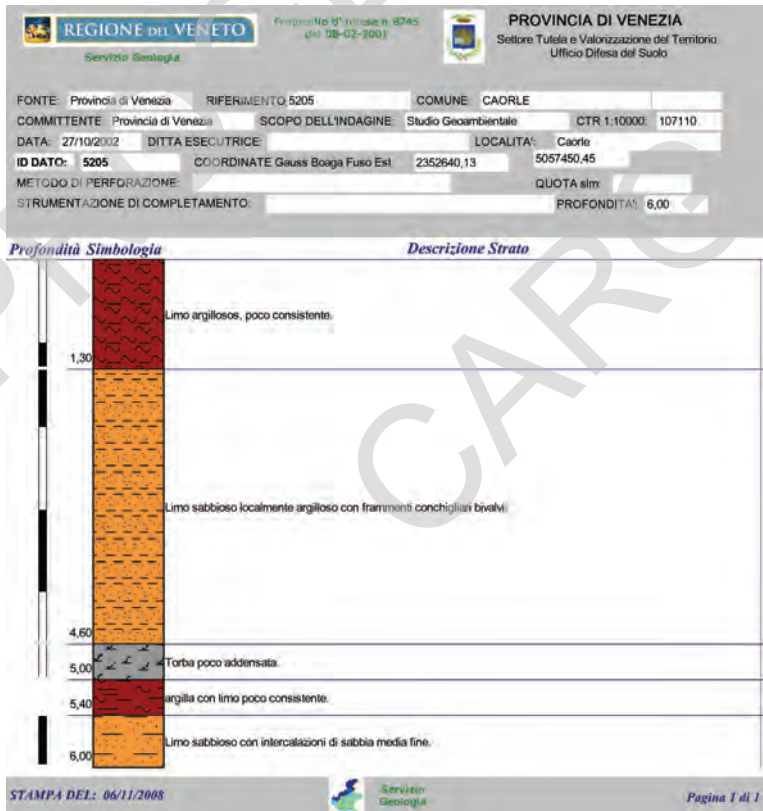


Fig. 11 - Esempio di restituzione grafica di una stratigrafia presente nella Banca Dati.

### 5.1. - BANCA DATI DEL FOGLIO “PORTOGRUARO”

Per la realizzazione del Foglio “Portogruaro” sono state raccolte alcune migliaia di dati esistenti, i quali, oltre all’analisi geologica preliminare, hanno permesso la programmazione delle nuove indagini CARG.

Nella Banca Dati CARG, oltre alle informazioni lito-stratigrafiche, sono presenti anche quelle relative alle indagini pedologiche.

In figura 12 e figura 13 sono riportate le ubicazioni delle indagini litologiche e dei rilievi pedologici dell’intero Foglio.

La consultazione della Banca Dati durante la realizzazione del Progetto CARG ha agevolato l’individuazione delle aree prive o carenti di informazioni per la cartografia geologica.

Sulla base delle informazioni pregresse disponibili sono state programmate le nuove campagne di indagini, campionamento e analisi di laboratorio.

In figura 14 è riportato un esempio di ubicazione dei nuovi punti di indagine CARG (carotaggi, trivellate, bennate) da effettuare ad integrazione delle informazioni esistenti.

La Banca Dati Geologica è in continuo aggiornamento, pertanto i dati inseriti vengono continuamente incrementati.

Attualmente, giugno 2009, essa contiene relativamente al Foglio “Portogruaro”, più di un migliaio di sondaggi.

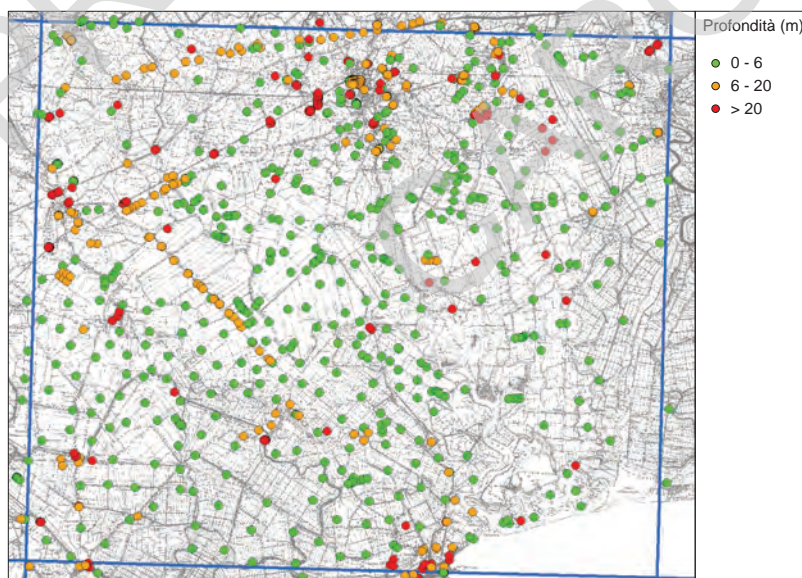


Fig. 12 - Localizzazione dei dati stratigrafici pregresi disponibili (suddivisi in base alla profondità).

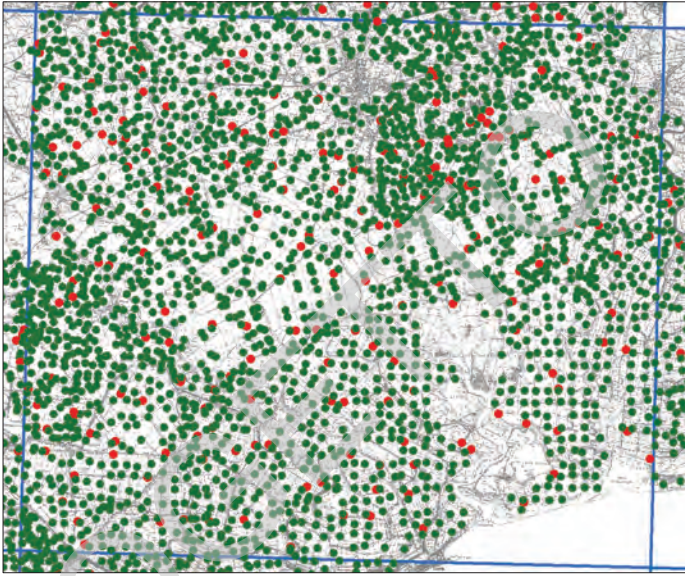


Fig. 13 - Localizzazione dei dati pedologici: in rosso profili pedologici, in verde trivellate manuali.

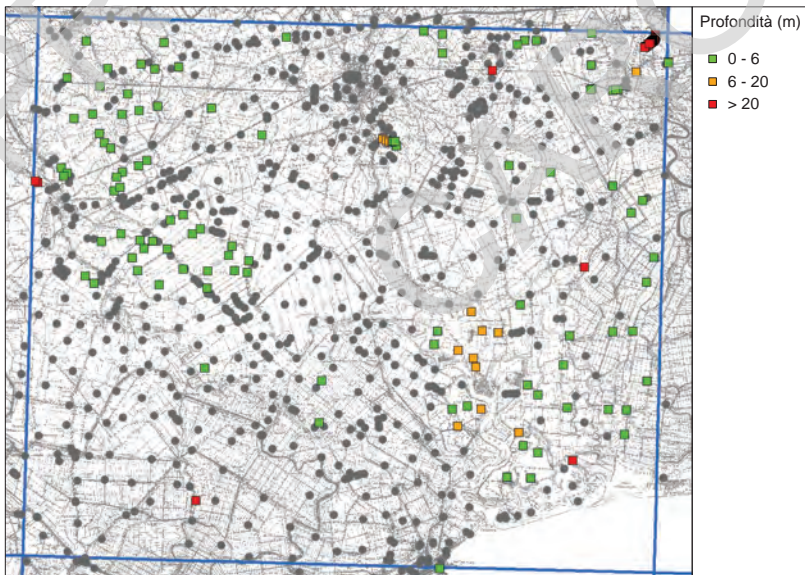


Fig. 14 - Ubicazione di nuovi sondaggi realizzati per il Progetto CARG (suddivisi in base alla profondità). In grigio sono riportati i sondaggi pregressi.

## 6. - CRITERI DI RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA

I contenuti della carta si riferiscono ai rilevamenti effettuati tra gli anni 2002-2005 tenendo conto della cartografia geologica esistente e dei dati pregressi a disposizione.

Secondo le raccomandazioni delle LINEE GUIDA DEL SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (AA.VV., 1997), per la suddivisione stratigrafica dei depositi plio-quadernari continentali nel Foglio si sono utilizzate le unità a limiti inconformi (UBSU). Sono state inoltre utilizzate anche delle unità informali, definite in carta come unità ubiquitarie per quei corpi meno significativi ai fini della ricostruzione dell'evoluzione geologica dell'area, e per unità UBSU di rango inferiore al sintema che però non sono state identificate come subsintemi (unità di Malamocco e unità di Torcello).

L'International Stratigraphic Guide (ISSC, 1994) definisce l' "*Unconformity-Bounded Stratigraphic Unit*" (UBSU), unità stratigrafica a limiti inconformi, in italiano, "*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 inter-regional extent*". Lo stesso codice considera il "sintema" come unità fondamentale, prevedendo che un sintema possa essere suddiviso in due o più subsintemi e che due o più sintemi possano essere raggruppati in un supersintema; inoltre prevede che le unità UBSU possano contenere al loro interno unità stratigrafiche di qualsiasi altro tipo. Il codice è stato integrato in seguito per l'utilizzo nella cartografia geologica italiana (AA.VV., 2003).

In realtà le caratteristiche delle unità UBSU adottate nel Foglio sono molto simili a quelle previste dall' "Allostratigrafia" (NASC, 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 Fogli in cui è stata applicata l'allostratigrafia (BINI *et alii*, 2004).

Le unità UBSU del Foglio corrispondono a 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 importanti superfici erosive). Il rango delle unità dipende dal rango delle relative superfici limite; entrambi dipendono della frequenza e natura dei processi che ne hanno controllato la sedimentazione. Per la definizione del rango delle unità e delle superfici limite sono stati adottati i criteri gerarchici proposti da MIALL (1996) per i depositi fluviali.

Le unità rappresentate in carta non sono separate per bacino di provenienza dei depositi in quanto nel settore meridionale del Foglio la loro identificazione risulta spesso difficile e non ha significato, soprattutto nelle aree lagunari e marine. Comunque per le zone di piana alluvionale si sono effettuate le analisi necessarie a separare il bacino deposizionale del Piave da quelli del Tagliamento

e del Livenza, basandosi sulla composizione litologica delle sabbie, su criteri geomorfologici e sull'andamento delle superfici limite.

L'unità informale (UIN) utilizzata nel Foglio è così definita perché non risponde pienamente alle definizioni dei Codici di Stratigrafia (BINI *et alii*, 2004) e le sue caratteristiche e il suo significato sono descritti nel Capitolo VII sulla stratigrafia.

Da un confronto anche con gli altri gruppi di lavoro impegnati nel Progetto CARG sulle 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. Tale metodo ha consentito di evidenziare meglio la geometria tridimensionale di alcuni corpi sedimentari, soprattutto quelli successivi al *LGM* (Last Glacial Maximum) che talvolta hanno uno spessore molto limitato.

Per quanto riguarda la scala cronologica di riferimento, seguendo le indicazioni contenute nel rapporto conclusivo dell'IGCP 24 "Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere" (ŠIBRAVA *et alii*, 1986), si è preferito abbandonare il modello classico delle glaciazioni alpine inizialmente proposto da PENCK & BRÜCKNER (1909) per seguire una cronologia geologica basata sui rapporti relativi tra i corpi sedimentari e supportata, per parte del Pleistocene superiore e l'Olocene, dalle datazioni geochimico-isotopiche ottenute su campioni di sostanza organica contenuta nei sedimenti prelevati nell'ambito dei rilevamenti (rif. Appendice 2 - datazioni radiometriche). Per le suddivisioni interne al Quaternario è stata utilizzata la scala cronologica degli *Stage* di riferimento formalmente accettata dalla comunità scientifica internazionale (GRADSTEIN *et alii*, 2004) modificata:

OLOCENE	
PLEISTOCENE SUPERIORE	11.500 anni
PLEISTOCENE MEDIO	126.000 anni
PLEISTOCENE INFERIORE	781.000 anni
PLIOCENE	1,806 Milioni di anni
MESSINIANO	5,332 Milioni di anni

Anche se la Commissione Internazionale di Stratigrafia nel 2009 ha deciso che la base del Quaternario venga fatta coincidere con quella del Gelasiano (2,588 milioni di anni), essa viene qui riferita a 1,806 Ma per omogeneità con i Fogli geologici adiacenti, recentemente pubblicati da Regione del Veneto e Regione Friuli Venezia Giulia.



Per una suddivisione più accurata dei periodi climatici tardopleistocenici e olocenici e la definizione cronologica delle fasi archeologiche si veda lo schema cronostratigrafico del tardo Pleistocene e Olocene riportato in Appendice 1.

Ciascuna unità stratigrafica è identificata in carta da un colore e da una sigla esclusiva. Vengono distinte in carta, mediante dei sovrassegni, anche le litologie dei depositi superficiali appartenenti alle varie unità stratigrafiche; esse devono considerarsi indicative e riguardano la tessitura media dei depositi compresi nei primi 1,2 m dal piano campagna.

La base di partenza per lo studio delle tessiture superficiali sono state le trivellate e i profili di tipo pedologico presenti nella Banca Dati della provincia di Venezia. Si tratta di analisi già precedentemente effettuate (PROVINCIA DI VENEZIA, 2002; BONDESAN *et alii*, 2004; REGIONE DEL VENETO, 2005; RAGAZZI, 2008) in cui le tessiture erano descritte con grande dettaglio e vi era anche la differenziazione in orizzonti pedologici. Le trivellate (400) hanno una profondità di 1,2 m e i profili (70) di 1,5 m, talvolta anche maggiore. Questi dati che già fornivano una buona copertura della superficie emersa del Foglio, sono stati poi integrati con le informazioni emerse durante il rilevamento di campagna e con le indicazioni fornite dalle prove riguardanti il sottosuolo. In particolare, sono stati utilizzati i dati riguardanti la porzione superficiale delle trivellate effettuate con la trivella meccanica della provincia di Venezia e i carotaggi effettuati con la sonda manuale (vedi Paragrafo 1.5. in questo Capitolo).

Per la realizzazione della carta geologica si è scelto di rappresentare solo le granulometrie medie: ghiaie, sabbie, limi, argille e torbe. Le informazioni sulle classi tessiture, spesso individuate con notevole precisione, sono state semplificate in modo da rendere i dati più omogenei su tutta la superficie del Foglio e facilitare la lettura della carta. È stata inserita la categoria torbe in quanto, pur non trattandosi di una definizione granulometrica ma essenzialmente composizionale, la sua presenza possiede importanti risvolti di carattere applicativo e ambientale.

I punti in cui sono disponibili anche delle indagini di laboratorio sono relativamente pochi (70), limitati ad alcuni dei profili pedologici, mentre in genere la determinazione della granulometria dei sedimenti superficiali è stata condotta utilizzando le metodologie empiriche comunemente adottate nelle descrizioni pedologiche (cfr. CREMASCHI & RODOLFI, 1987; SANESI, 1977).

Fra gli elementi geomorfologici rappresentati si è data grande importanza alle tracce di antica idrografia (paleoalvei) e a quelle di antichi canali lagunari. 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 cronostratigrafiche di delineare buona parte della storia del territorio dal LGM ad oggi. Nella versione della carta alla scala 1:50.000 alcune delle tracce individuate non sono state rappresentate per semplificare l'aspetto grafico del documento e migliorarne la leggibilità.

I dossi fluviali sono stati segnati sulla base di un controllo incrociato tra i dati relativi alle tessiture e al microrilievo. I dati ricavati dalla fotointerpretazione erano invece poco affidabili per il tracciamento dei limiti dei dossi.

Nella cartografia alla scala 1:10.000, per rappresentare alcune morfologie non previste dalla normativa nazionale ma particolarmente caratteristiche della zona esaminata, sono stati adottati dei simboli particolari. È questo il caso, ad esempio, delle “depressioni e incisioni fluviali di fiumi di risorgiva e del drenaggio locale”, molto diffuse sulla superficie dei depositi di pianura di età pleistocenica (subsistema di Canodusso) e che sono tra i pochi elementi caratterizzanti. Si tratta di incisioni limitate da scarpate alte 1-3 m, originariamente subverticali, che sono stati spesso trasformati in declivi regolarizzati a causa dell’evoluzione naturale e dell’attività antropica. Queste morfologie, pur non essendo rappresentate nella carta stampata, sono riportate in un quadro riassuntivo nel Capitolo relativo alla stratigrafia.

In carta sono stati rappresentati solo i sondaggi stratigrafici con profondità superiori a 20 m e di cui si siano potute studiare direttamente le carote.

#### IV - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E LINEAMENTI STRUTTURALI (A. Zanferrari)

L'area del Foglio "Portogruaro" è situata nell'avampaese neogenico-quadernario della catena Sudalpina orientale SE-vergente, il quale, a partire dal Pliocene, è condiviso con la catena appenninica settentrionale NE-vergente (Fig. 15). Tale avampaese, che comprende la quasi totalità della pianura veneto-friulana e l'*offshore* adriatico, in un contesto regionale più ampio è situato all'estremità nord-orientale della microplacca adriatica, che sottoscorre verso NW al di sotto delle Alpi *s.s.* (CASTELLARIN *et alii*, 2006).

La catena Sudalpina orientale (CSO) si estende dal sistema della faglia Schio-Vicenza a ovest (SV in Fig. 15) al sistema di Idrija (ad est) che interessa l'area a cavallo del confine italo-sloveno; a nord essa viene separata dal sistema di falde dell'Austroalpino ad opera del Lineamento Periadriatico (LP in Fig. 15). Nel suo insieme la CSO rappresenta un sistema a pieghe e sovrascorrimenti retrovergente rispetto alla catena Alpina (cfr. SCHMID *et alii*, 2004 e bibl. cit.). Nella parte interna della CSO sono presenti anche scaglie di basamento (MERLINI *et alii*, 2002; POLI *et alii*, 2002); nell'area prealpina la catena è invece formata solo da sovrascorrimenti pellicolari di copertura (*thin-skinned thrust*) che si appilano mediamente verso meridione sull'avampaese e ne incorporano porzioni successive mediante l'attivazione di nuovi sovrascorrimenti (cfr. PERUZZA *et alii*, 2002; GALADINI *et alii*, 2005; ZANFERRARI *et alii*, 2008a; 2008b; 2008c). L'avampaese sudalpino, in cui rientra l'area del Foglio e quella immediatamente circostante, ha registrato una lunga successione di eventi sedimentari, magmatici e tettonici, messi in luce dai sondaggi per la ricerca di idrocarburi e dalle indagini geofisiche effettuate dall'AGIP nella seconda metà del '900.

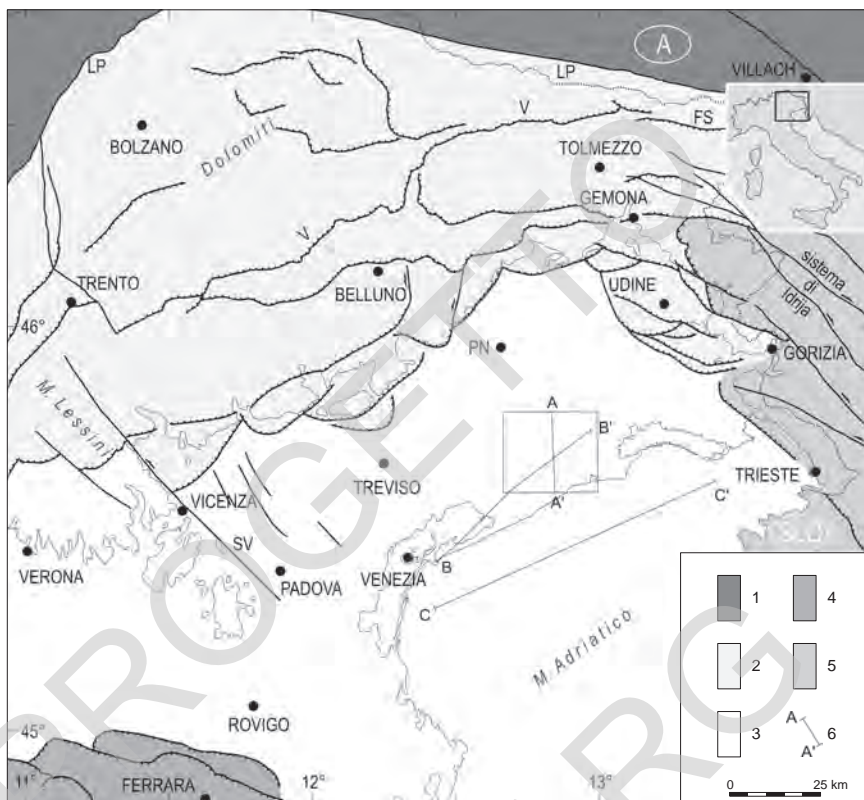


Fig. 15 - L'area del Foglio 107 "Portogruaro" nel quadro del sistema Alpi - Appennino. Legenda: 1 - Austroalpino; 2 - catena Sudalpina orientale; 3 - avampaese sudalpino orientale, condiviso dal Pliocene con la catena Appenninica settentrionale; 4 - catena Appenninica settentrionale; 5 - regione a prevalente o esclusiva strutturazione dinarica paleogenica; 6 - tracce del profilo geologico (Fig. 18) e delle sezioni sismiche (Figg. 19 e 20). LP: Lineamento Periadriatico; V e FS: sistema della faglia Valsugana-Fella-Sava; SV: faglia Schio-Vicenza. PN: Pordenone.

In particolare, il rilievo aeromagnetico (Cati *et alii*, 1989a) ha definito profondità e andamento del tetto del basamento magnetico, al quale viene fatto corrispondere il basamento pre-alpino (varisico), e ha evidenziato inoltre alcuni grandi corpi vulcanico - vulcanoclastici paleozoici e triassici (Fig. 16).

Il *top* del basamento magnetico risulta in approfondimento da sud verso nord, testimoniando il sottoscorrimento dell'avampaese sotto il fronte sudalpino: la profondità passa da circa 8,1 km in corrispondenza della costa adriatica a 11 km sotto Gemona; si aggira sugli 8 km in corrispondenza dell'area del Foglio. Nel settore SE di questo è presente anche una porzione di un grande corpo di vulcaniti basiche paleozoiche, con il tetto sugli 8,3 km, che sono attribuite alla

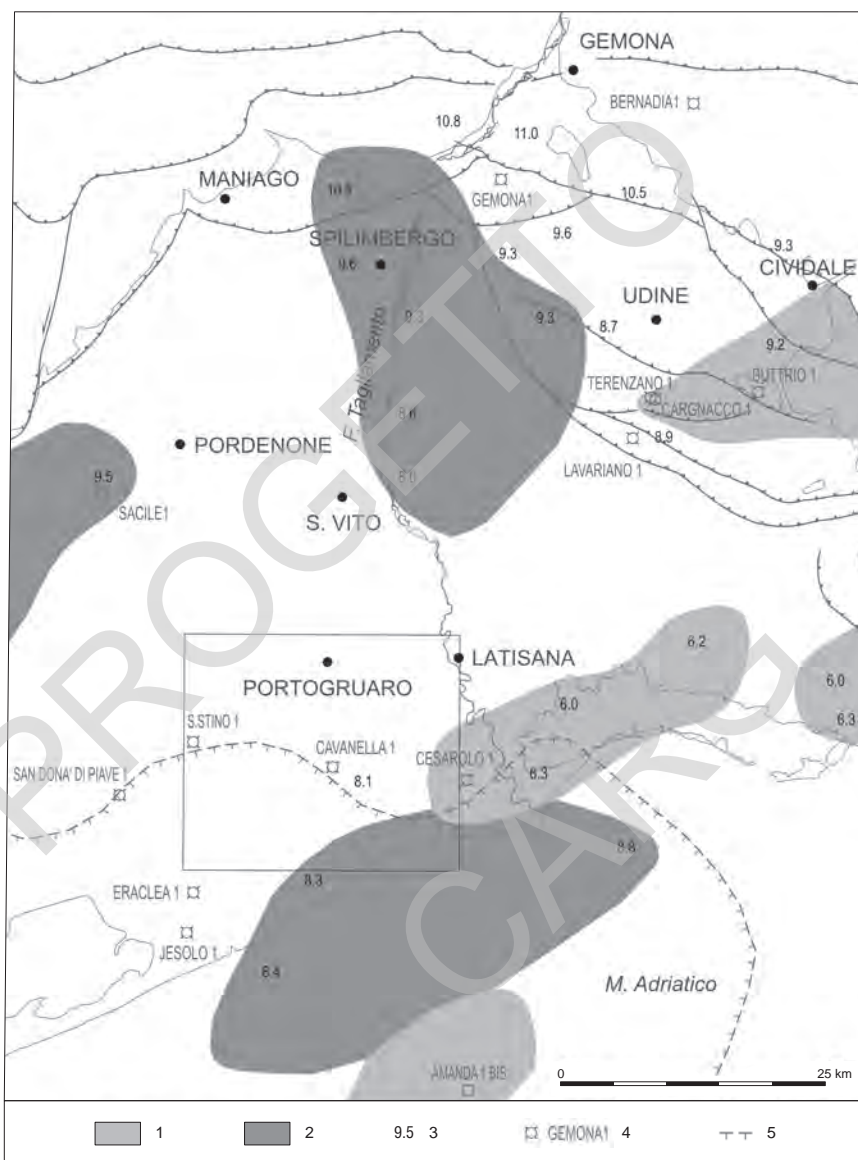


Fig. 16 - Carta strutturale del basamento magnetico, con la distribuzione dei maggiori corpi vulcanico-vulcanoclastici di età ladinica (1) e carbonifera (2) individuati dal rilievo aeromagnetico AGIP (da CATI et alii, 1989a, modificata); la profondità in km (3) si riferisce al tetto del basamento o dei corpi vulcanico-sedimentari. Sono riportati i pozzi esplorativi per ricerca di idrocarburi (4), un tratto del margine della Piattaforma Carbonatica Friulana verso il Bacino di Belluno (5) e i principali sovrascorimenti della catena Sudalpina orientale, che nell'area rappresentata sono tutti di copertura.

Formazione del Dimon (Tournasiano-Visciano inferiore (LAÜFER *et alii*, 1993) della Catena Paleocarnica).

Le vulcaniti paleozoiche sono sovrastate da una vasta unità vulcanica e vulcanoclastica acido-intermedia di età ladinica, con il *top* attorno ai 6-6,3 km di profondità. Il basamento si ritiene costituito dalle successioni paleozoiche non- o semi-metamorfiche (Caradociano - Bashkiriano), che affiorano a nord del sistema della faglia Valsugana-Fella-Sava (VFS in Fig. 17) nelle Alpi Carniche centrali e orientali (VENTURINI, 1990; VENTURINI *et alii*, 2002), dove formano la catena Paleocarnica varisica e la relativa copertura post-orogena (Moscoviano *p.p.* - Artinskiano). Corrispondenti successioni del Permiano inferiore sono state incontrate nel pozzo AGIP Amanda 1 bis (CATI *et alii*, 1989b), ubicato nell'*offshore* adriatico 25 km a sud della foce del Tagliamento (Fig. 16).

## 1. - EVOLUZIONE MESOZOICA: LA PIATTAFORMA CARBONATICA FRIULANA E IL BACINO DI BELLUNO

Per questo settore del sottosuolo della pianura veneto-friulana non esistono informazioni dirette o indirette sulla parte di successione alpina che va dal Permiano superiore al Carnico, che tuttavia non dovrebbe discostarsi, almeno nelle grandi linee, da quella classica della regione carnico-dolomitica e del sottosuolo della pianura friulana centro-orientale (cfr. ZANFERRARI *et alii*, 2008a; 2008b e bibliografia citata).

L'architettura deposizionale e gli andamenti strutturali della porzione crostale soprastante, dalla base dell'ubiquitaria Dolomia Principale alla base dei depositi quaternari, sono ben ricostruibili per mezzo della rete di linee sismiche a riflessione industriali che copre la pianura veneto-friulana e l'Alto Adriatico, tarate con i pozzi AGIP. La base della Dolomia Principale corrisponde a un importante orizzonte sismostratigrafico, che appare ben definito sulle sezioni sismiche, nell'interpretazione delle quali viene tradizionalmente chiamato "*unconformity carnica*".

Per tutto il Giurassico e il Cretacico l'aspetto paleogeografico fondamentale è rappresentato dal sistema Bacino di Belluno - Piattaforma Carbonatica Friulana (PCF), instauratosi durante il Giurassico inferiore in un contesto estensionale e transtensivo legato ai processi di apertura dei bacini della Tetide. L'area del Foglio è situata a cavallo del margine della PCF e sul suo *slope* verso il Bacino di Belluno (Fig. 17).

La proiezione in superficie del margine della piattaforma è indicata nelle figure 16 e 17: la posizione è "media" e sostanzialmente riferita al Cretacico superiore, in quanto il margine, ben definito stratigraficamente da una serie di pozzi esplorativi AGIP, è stato interessato da ripetute progradazioni e retrogradazioni (CATI *et alii*, 1989b). Il suo caratteristico andamento a gradini in pianta evidenzia l'impostazione del sistema Bacino di Belluno - PCF in un quadro tettonico dominato da faglie estensionali a direzione NW-SE segmentate da faglie trascorrenti o transtensive NE-SW (in coordinate attuali).

La PCF, nel settore occidentale, si impostò nel Giurassico inferiore sui blocchi meno subsidenti (tasso medio di subsidenza: 0,05 mm/a), con un annesso margine al passaggio Giurassico inferiore - medio che produsse sottoalimentazione del Bacino di Belluno, il quale raggiunse allora il primo massimo di profondità (PICOTTI *et alii*, 2003). Un secondo e fondamentale picco di subsidenza si ebbe tra l'Oxfordiano superiore e il Kimmeridgiano inferiore (0,25 mm/a), che determinò una rapida aggradazione di quasi 1 km della PCF e una corrispondente fortissima sottoalimentazione del Bacino di Belluno, il quale raggiunse una paleobatimetria di circa 1400 m (FANTONI *et alii*, 2002). Nel Giurassico sommitale - Cretacico inferiore la velocità di subsidenza scese nuovamente fino a 0,02 mm/a, con un tasso di sedimentazione dello stesso ordine di grandezza in bacino (0,01 mm/a).

Questa evoluzione, che continuò nel Cretacico superiore, produsse nella PCF uno spessore complessivo di circa 4 km di carbonati giurassico-cretacici; alla fine del Cretacico nel Bacino di Belluno si raggiunse una paleobatimetria di 1200-1500 m, che fu successivamente annullata da depositi emipelagici, torbidi-tici e, infine, deltizi paleogenici (Fig. 19).



Fig. 17 - Schema della paleogeografia del Sudalpino centro-orientale tra il Giurassico medio e la fine del Cretacico. L'andamento del margine della PCF è ben definito in avampaese sulla base dei dati delle indagini per la ricerca di idrocarburi; nel settore settentrionale, in corrispondenza del Bacino Carnico-Sloveno, lo schema non è palinspastico e quindi solo indicativo. LP: Lineamento Periadriatico; LG: linea delle Giudicarie-N; VFS: sistema della faglia Valsugana-Fella-Sava.

## 2. - EVOLUZIONE CENOZOICA: GLI EVENTI CONTRAZIONALI DINARICO, INSUBRICO E NEOALPINO

In rapporto all'evento tettonico Dinarico (Cretacico superiore - Eocene Medio-superiore), responsabile della strutturazione delle Dinaridi esterne nella regione sloveno-friulana e dolomitica (DOGLIONI & BOSELLINI, 1987; POLI, 1995; 1996; ZANFERRARI *et alii*, 2008a; 2008b e bibliografia citata), l'area del Foglio venne a trovarsi in gran parte in una situazione di rialzo periferico di avampaese rispetto al sistema di sovrascorrimenti WSW-vergenti di tale catena. Pertanto, nel sottosuolo della pianura friulana centro-occidentale e veneta orientale gli effetti dell'evento Dinarico sono registrati solo sotto forma di variazioni paleobatimetriche e deposizionali, particolarmente nette nei settori marginali della PCF, la quale si estinse in seguito a sollevamento. Ne derivarono processi carsici, documentati in affioramento nelle Prealpi carniche, e profonda erosione subaerea per tutto il Paleogene; quest'ultima continuerà qui anche nell'Aquitano durante l'evento Insubrico, quando tale settore diverrà rialzo periferico di avampaese, stavolta per flessurazione verso NNE (Fig. 18). L'erosione si è spinta talora fino ai carbonati del Cretacico inferiore, come evidenziato dai *log* dei pozzi S. Donà di Piave 1 e Cesarolo 1 (Fig. 16) e di quelli presso il margine prealpino: Nervesa 1, Arcade 1 e Merlengo 1.

Al contrario, nel Bacino di Belluno (Fig. 19) lo spazio ereditato dalla subsidenza mesozoica fu colmato durante il Paleogene da depositi progradanti da nord, dapprima emipelagici (*Scaglia rossa*: Maastrichtiano-Luteziano; *Scaglia cinerea*: Bartoniano) e quindi da torbiditici distali (prevalenti *mudstone*) fino a deltizi (rispettivamente *flysch di Jesolo* e *marna di Possagno*: Priaboniano), derivanti dallo smantellamento di rilievi alpini più settentrionali.

Tra la fine dell'Oligocene e il Langhiano anche l'area del Foglio, come l'intero sottosuolo della pianura veneta orientale e friulana, fu interessata dall'evento Insubrico (MASSARI, 1990), venendosi a trovare in un ambito di avampaese distale. Una debolissima flessurazione crostale verso nord inferiore a un grado (FANTONI *et alii*, 2002) fu la risposta al carico topografico indotto da lontani sollevamenti in atto nella zona alpina, come testimonia anche la composizione delle areniti (STEFANI, 1987), che evidenzia l'abbondanza di metamorfiti in facies anfibolitica nell'area-sorgente.

Il bacino di avampaese si estese lentamente verso SSW, di modo che l'ubiquitario sistema di sottili piattaforme terrigeno-carbonatiche del "gruppo di Cavanella" (*sensu* AGIP) raggiunse solo nel Burdigaliano l'attuale area costiera (Figg. 18 e 19), sigillando l'antica topografia oligocenica con spessori dell'ordine delle decine di metri contro qualche centinaio nell'area collinare veneto-friulana.

Dal Serravalliano al Messiniano, il veloce avanzare verso SE del fronte della catena Sudalpina orientale in forte sollevamento (fase Nealpina principale) determinò la formazione di una avanfossa con depocentro nell'area prealpina veneta orientale e friulana. Il relativo cuneo clastico, potente oltre tre chilometri nelle Prealpi, si assottiglia rapidamente verso la costa adriatica (Fig. 19: 225



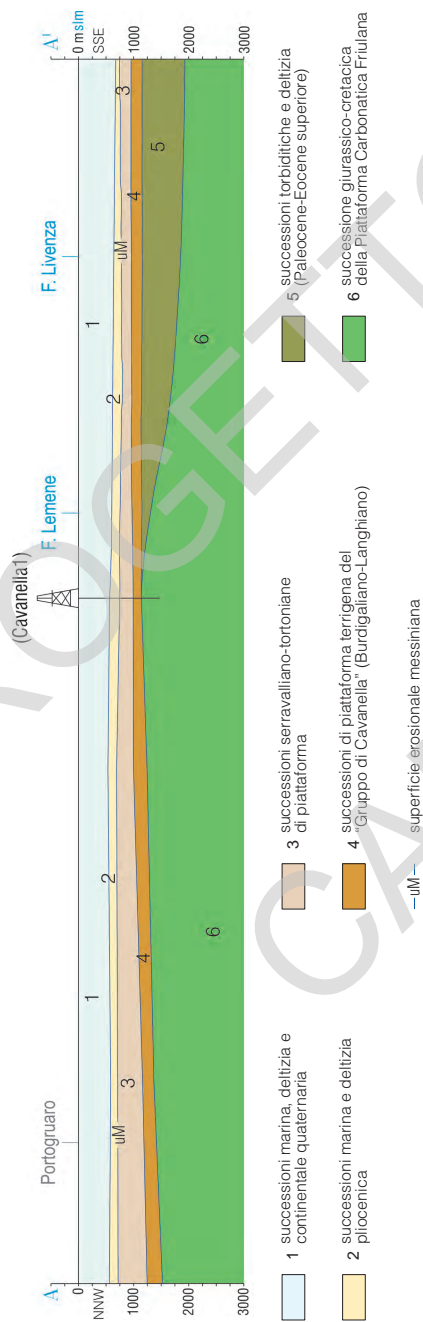


Fig. 18 - Sezione geologica schematica NNW-SSE (dall'interpretazione di linee sismiche a riflessione industriali). Sono evidenti: la flessurazione verso settentrione della Piattaforma Carbonatica Friulana, con il rialzo periferico di avampose durante il Miocene (culmine nell'area del pozzo AGIP Cavanella 1) e l'onlap delle successioni mioceniche (3 e 4) legate agli eventi insubrico e neadipino; i depositi pliocenici che sigillano la paleotopografia prodottasi durante la crisi di salinità del Messiniano; il regolare andamento della potente successione quaternaria, il cui spessore cresce verso SW a causa della flessurazione causata dal carico tettonico della catena Appenninica settentrionale.

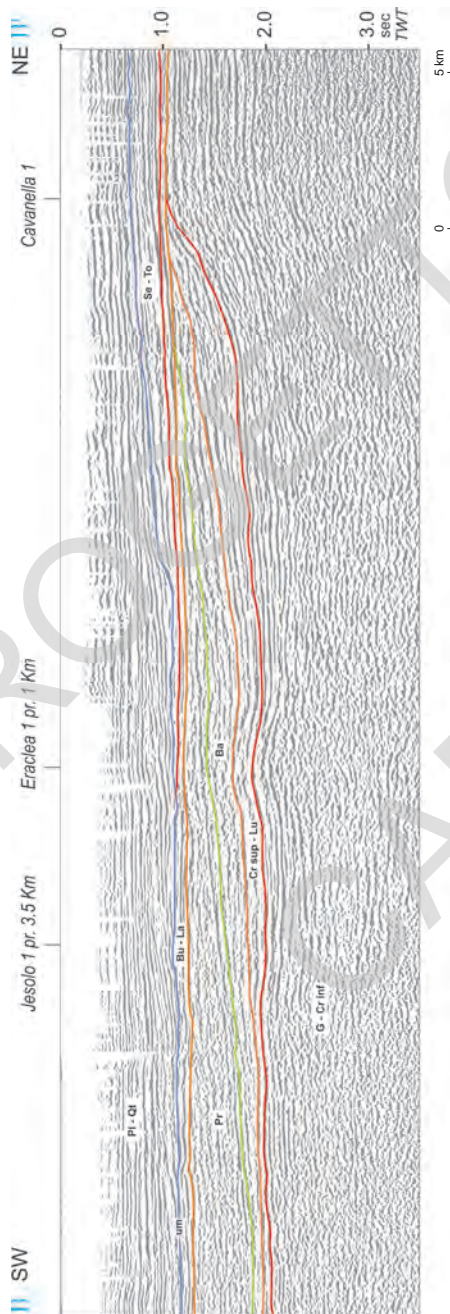


Fig. 19 - Sezione sismica a riflessione (B-B' in Fig. 15, da FANTONI et alii, 2002, modificata) che evidenzia i rapporti fra il margine della PCF e il Bacino di Belluno, le geometrie deposizionali sullo slope e il riempimento del bacino prima da parte di successioni emipelagiche del Cretaceo sup.-Lutetiano (Cr sup-Lu: Scaglia cinerea), poi turbiditiche (flysch di Jesolo) e infine deliziose distali (marna di Possagno) del Priaboniano (Pr). Le piattaforme del "gruppo di Cavanelle", qui solo burdigaliano-langhiane (Bu-La), progradarono sia sulle successioni eoceniche che sul top variamente eroso della PCF. L'andamento della superficie erosionale messiniana evidenzia le profonde incisioni fluviali legate all'abbassamento del livello del Mediterraneo nel Messiniano, poi colmate dai depositi terrigeni del Pliocene e del Pleistocene (Pl-Qu).

m nel pozzo Cavanella 1). La composizione dei clasti con forte prevalenza di carbonati evidenzia la provenienza da aree sudalpine (STEFANI, 1987).

Un evento di enorme rilevanza anche per il sottosuolo dell'area del Foglio si verificò nel Messiniano, in risposta all'abbassamento del livello del Mediterraneo. Tutta l'area acquisì condizioni continentali con generalizzati processi erosivi e l'impostazione di un reticolo fluviale che proprio nel settore a cavallo del confine occidentale del Foglio aveva uno dei più vasti e profondi assi di drenaggio - la valle messiniana del paleo-Piave (BARBIERI *et alii*, 2004; DI GIULIO *et alii*, in stampa), che si approfondì fino ad asportare parte del "gruppo di Cavanella" (Fig. 19).

Durante il Pliocene inferiore il reticolo fluviale messiniano guidò l'ingressione marina, con depositi marino prossimali e poi deltizi siltosi e sabbiosi (pozzi Jesolo 1 ed Eraclea 1 in Fig. 19). L'ingressione fu facilitata dall'instaurarsi della flessurazione verso SW dell'avampaese sudalpino causata dalla sua subduzione e dal carico tettonico del fronte nord-appenninico in migrazione verso NE.

Da allora e fino all'Attuale l'avampaese sudalpino viene ad essere condiviso tra la catena Sudalpina orientale e quella nord-Appenninica (FANTONI *et alii*, 2002; DI GIULIO *et alii*, in stampa). In realtà, gli effetti della subduzione e del carico tettonico della seconda catena nella pianura veneta orientale e di gran parte di quella friulana - e quindi sull'area del Foglio "Portogruaro" - sono prevalenti: il carico tettonico del fronte sudalpino pliocenico-quadernario non arriva a interessare l'area del Foglio, come suggerisce l'andamento delle isobate della base dei depositi quadernari (Fig. 21), che scendono con relativa regolarità verso SW, passando da 460 m di profondità dal l.m. nel settore NE fino a 900 m in quello SW.

In particolare, la flessurazione della crosta veneta e friulana verso SW ha prodotto nel Pliocene inferiore un rialzo periferico in corrispondenza dell'area lagunare veneziana e successivamente il suo rapido annegamento e l'instaurarsi di condizioni epibatiali. Le sezioni sismiche a riflessione e la linea CROP M-18 (Fig. 20) mostrano nel sottosuolo e nell'*offshore* veneto-friulano la flessurazione del substrato pre-pliocenico, sul quale le successioni plioceniche migrarono in *onlap* verso NE con chiusura a *pinchout*. Analoghe geometrie, anche se meno evidenti, sono presentate dalle successioni marine e continentali pleistoceniche.

Sempre relativamente al Pleistocene, si calcola che il carico tettonico dell'Appennino settentrionale abbia prodotto oltre metà (almeno 500 m) della subsidenza totale registrata nell'area veneziana durante tale intervallo temporale (CARMINATI *et alii*, 2003; BARBIERI & GARCIA-CASTELLANOS, 2004).

Un quadro quantitativo sintetico dell'evoluzione geologica giurassico-cretacea e cenozoica di questo settore di avampaese - prima dinarico, poi sudalpino e ora appenninico - si ricava dai *log* dei pozzi AGIP posti nella bassa pianura veneta orientale, *log* che sono stati anche utilizzati per la taratura delle sezioni sismiche. Oltre al Cavanella 1 (1486 m di profondità) e al San Stino 1 (1801 m), che ricadono nell'area del Foglio, sono significativi, in particolare, i pozzi Cesarolo 1 (4332 m) e San Donà di Piave 1 (3081 m), tutti ubicati in prossimità del margine della PCF verso il Bacino di Belluno (Fig. 16).

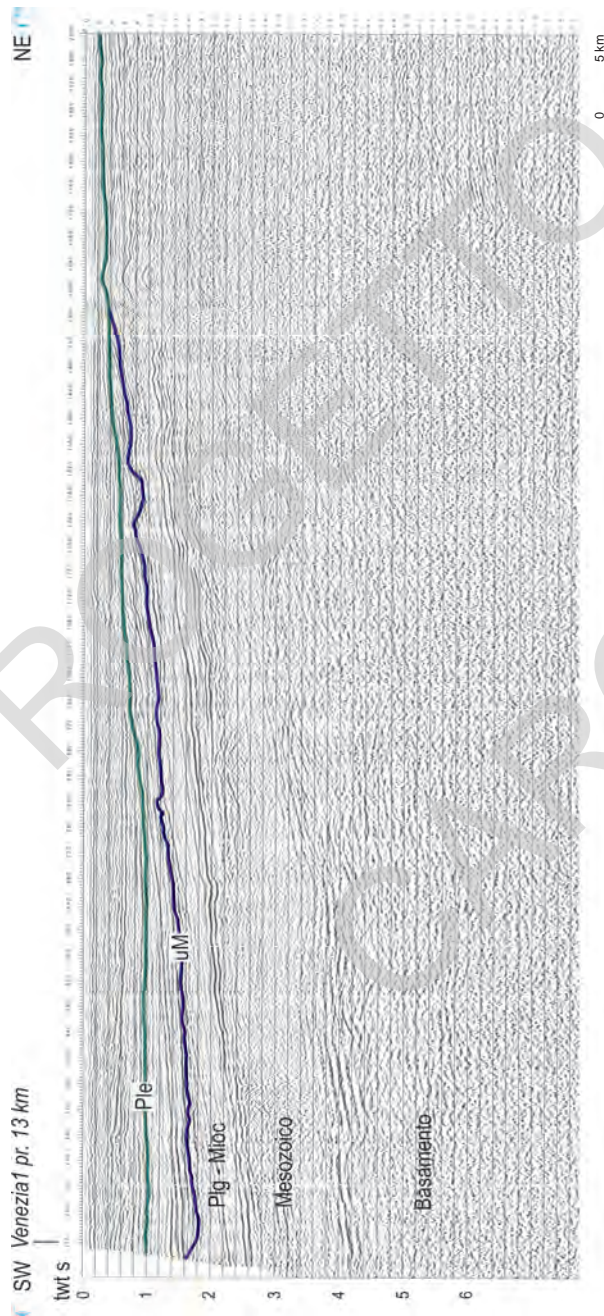


Fig. 20 - Sezione sismica a riflessione CROP M-18, situata a una decina di km dalla costa adriatica e parallela ad essa, fra Venezia e Trieste (traccia in Fig. 15). È molto netta la flessurazione del substrato pre-pleistocenico nell'offshore veneto-fruilano, sul quale progredano in onlap verso NE con chiusura a pinchout le successioni pleistoceniche. Sono anche evidenti l'onlap delle successioni pleistoceniche e la progradazione del sistema delizio del sistema delizio situato all'estremità SW (Po-Adige). Ple: base Pleistocene; uM: unconformity messiniana; Pliq-Mioc: Paleogene-Miocene.

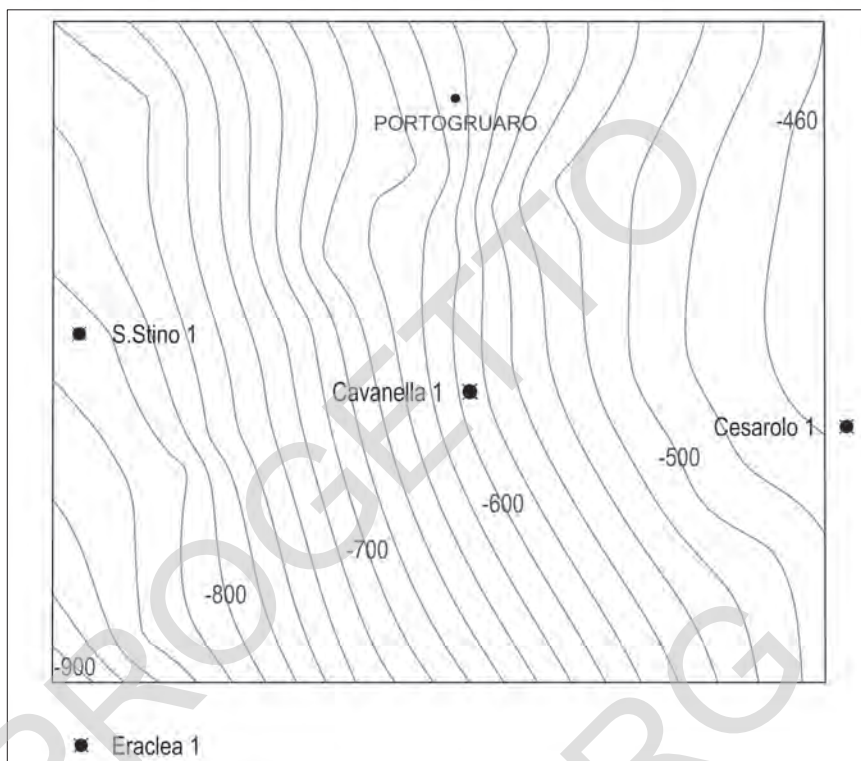


Fig. 21 - Andamento della base dei depositi quaternari nell'area del Foglio 107 "Portogruaro".

Il log del Cesarolo 1 inizia con 112 m di calcari di piattaforma del Trias superiore (Calcare del Dachstein), seguiti da un eccezionale spessore di Calcari grigi (970 m; Giurassico inferiore). Su di essi si depositarono tra il Giurassico medio e l'Oxfordiano inferiore facies oolitiche (550 m della "formazione di Cesarolo" *sensu* AGIP), che attestano una situazione di margine di piattaforma in possibile passaggio a rampa. Quest'ultima è documentata nell'Oxfordiano superiore - Kimmeridgiano inferiore dai *calcari a Ellipsactinie* sia nel Cesarolo (ben 965 m) che negli ultimi 800 m del S. Donà di Piave.

L'aggradazione fortissima sulla rampa compensò la retrogradazione del margine in tale intervallo e fece sì che nel Kimmeridgiano superiore - Hauteriviano si poterono ripristinare condizioni di margine di piattaforma, stavolta in progradazione verso il Bacino di Belluno (calcari bioclastici del "calcare di S. Donà" *sensu* AGIP, per 495 m nel Cesarolo e 450 m nel S. Donà di Piave 1).

La progradazione del margine verso il bacino continuò nel Barremiano-Albiano e quindi le facies di margine furono sostituite da quelle di piattaforma

protetta, più interna, del Calcare del Cellina (513 m nel Cesarolo 1 e solo 293 m nel S. Donà di Piave 1, dove però la formazione è troncata dall'*unconformity* burdigaliana). Al di sotto di tale discontinuità, nel Cesarolo si sono conservati 73 m di *calcare del M. Cavallo* di età cenomaniana inferiore, unità bioclastica di piattaforma aperta che testimonia una nuova retrogradazione del margine.

L'età del *top* del substrato carbonatico, su cui poggia la successione burdigaliana del "gruppo di Cavanella", e la quota di questa dal l.m., rilevate nei 4 pozzi considerati (Fig. 16), illustrano efficacemente per tale area il succedersi nel Cenozoico dei tre rialzi periferici e la diversa entità del relativo sollevamento.

Da un lato l'area del pozzo più occidentale (S. Donà di Piave 1) è quella che ha subito l'erosione più spinta (fin quasi all'Aptiano) a causa del sollevamento paleogenico e, viceversa, è quella che, con la base "gruppo di Cavanella" a ben 1531 m di profondità, registra la flessurazione nealpina più forte.

Dall'altro, il pozzo più orientale e meridionale - il Cesarolo 1 - con l'*unconformity* su calcari del Cenomaniano ad appena 721 m di profondità dal l.m., indica allo stesso tempo l'innalzamento e l'erosione dinarici più deboli e il maggiore innalzamento del *peripheral bulge* sudalpino nel Miocene superiore.

Al di sopra delle successioni di piattaforma terrigena del Burdigaliano - Langhiano, solo nell'area meno lontana dall'avanfossa nealpina si registra l'arrivo di peliti di piattaforma esterna serravalliane (appena 16 m - contro alcune centinaia nelle Prealpi - e solo nel S. Donà di Piave 1). In tutti e quattro sono invece rappresentati i depositi tortoniani (*arenaria di Vittorio Veneto*, cui equivalgono le "marne di Gallare" *sensu* AGIP); si tratta di 100-300 m di sedimenti terrigeni, prima pelitici di piattaforma esterna e poi di prodelta, di fronte e di piana deltizie, che testimoniano la migrazione dell'avanfossa sudalpina verso SE.

Per quanto riguarda l'intervallo Tortoniano superiore - Messiniano, che corrisponde alla deposizione di almeno 1400 m di ghiaie e sabbie nell'avanfossa (uguale nel settore prealpino veneto-friulano al margine della pianura), è significativo notare che si rinvencono appena 36 m di depositi terrigeni di tale età solo nel pozzo S. Stino 1, il meno lontano dall'asse del depocentro. L'assenza, o il ridottissimo spessore, delle litofacies ascrivibili al *conglomerato del Montello* in questi pozzi e nel sottosuolo della bassa pianura veneta orientale e friulana è evidentemente imputabile alla rapida chiusura del cuneo clastico a causa della flessurazione verso NW, massima proprio in tale intervallo.

È da notare il variare degli spessori e delle età dei depositi pliocenici sia in rapporto al paleodrenaggio messiniano (283 m di Pliocene da inferiore a superiore nel S. Donà di Piave 1, situato nella valle messiniana del paleo-Piave, contro un centinaio o alcune decine di m negli altri) sia con la flessurazione appenninica: appena 23 m di Pliocene ?inf. nel Cesarolo 1, il più orientale.

Infine, gli effetti del carico tettonico appenninico sono ancora più evidenti a livello del Pleistocene, con una variazione in senso est-ovest degli spessori relativi da 455 m nel Cesarolo 1 a 875 m nel S. Donà di Piave 1, quasi identica a quella prima ricordata (da 460 a 900 m) per l'area del Foglio "Portogruaro".

## V - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED EVOLUZIONE GEOLOGICA TARDO-QUATERNARIA

(A. Fontana)

### 1. - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il Foglio “Portogruaro” comprende un’area di contatto fra la pianura friulana e quella veneta e al suo interno presenta ambienti diversificati che spaziano dalla bassa pianura alluvionale, alla laguna e al mare. Si tratta quindi di una zona ricca di informazioni geologiche e geomorfologiche, importanti per la comprensione delle fasi deposizionali e dell’evoluzione quaternaria dell’Italia nord-orientale. L’area considerata è essenzialmente costituita dai sistemi alluvionali di Piave e Tagliamento, distinti in superficie dall’attuale corso del Livenza, che segna anche il limite tra la pianura veneta e quella friulana. Si tratta di un settore in cui la relativa vicinanza tra margine alpino e costa ha fornito alla pianura una pendenza relativamente elevata, che ha permesso lo sviluppo di morfologie, come le incisioni fluviali, più evidenti rispetto alle altre zone costiere nord-adriatiche. Inoltre questa inclinazione ha consentito il trasporto di ghiaie fino all’attuale margine costiero, anche durante alcuni periodi olocenici. Attualmente le ghiaie si fermano lungo l’alveo del Tagliamento poco a monte di Latisana, presso il vertice NE della carta, dove il fiume passa definitivamente da una tipologia *wandering* a una mendriforme (SURIAN, 2002; 2006). Nel Foglio, è presente anche l’asta terminale del fiume Livenza, mentre il Piave scorre 1,5 km a sud del vertice SW. Oltre a questi importanti corsi d’acqua vi è poi una fitta rete di fiumi alimentati dalle acque di risorgiva tra cui i più importanti sono la roggia Lugugnana, il Lemene, il Reghena, il Lison e il Loncon.

I sistemi fluviali alpini, come quello del Piave e del Tagliamento, con la loro evoluzione hanno creato dei sistemi deposizionali che in pianta hanno una forma

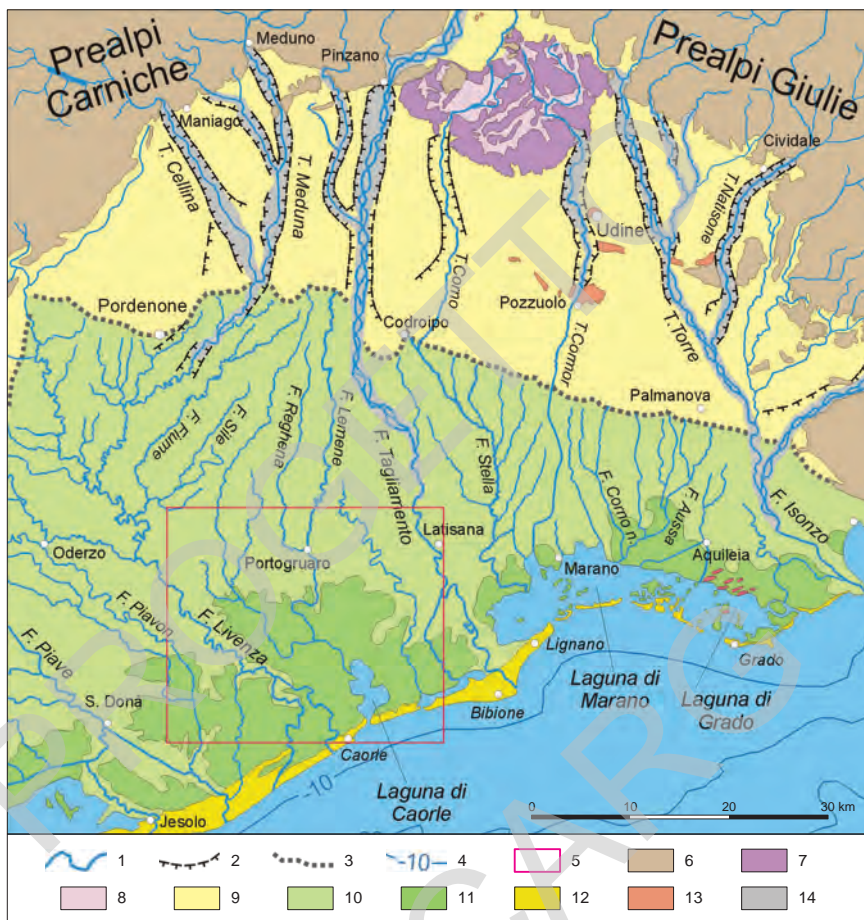


Fig. 22 - Schema delle unità fisiografiche della pianura friulana (modificato da FONTANA *et alii*, 2004).  
 Legenda: 1) idrografia; 2) orlo delle principali scarpate fluviali; 3) limite superiore delle risorgive; 4) isobate; 5) area del Foglio 107 "Portogruaro"; 6) Alpi; 7) anfiteatro morenico; 8) depressioni intermoreniche; 9) alta pianura; 10) bassa pianura; 11) zone inferiori a 0 m s.l.m.; 12) zone costiere; 13) terrazzi tettonici; 14) greti fluviali.

a ventaglio e vengono descritti come *megafan* alluvionali per le loro notevoli dimensioni areali, per la differenziazione longitudinale di facies deposizionali che li caratterizza da monte a valle e per la continuità morfologica riconoscibile dall'apice fino ai settori più distali (FONTANA *et alii*, 2004; 2008; FONTANA, 2006).

Tali corpi deposizionali in precedenza erano descritti più genericamente come conoidi, ma tale termine non è adatto per le zone distali, caratterizzate da sedimenti fini e da una bassa pendenza che è inferiore a 1%.





Fig. 23 - Schema dei sistemi deposizionali della pianura veneto-friulana (modificato da FONTANA et alii, 2004). Legenda: 1) megafan del Tagliamento; 2) conoide del Meduna; 3) conoide del Cellina; 4) conoide del Corno; 5) anfiteatro morenico del Tagliamento; 6) megafan del Cormor; 7) megafan del Piave di Nervesa; 8) depositi del Livenza.

Il Livenza, pur essendo un fiume con una portata media di circa  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ , ha avuto un'importanza molto limitata nella costruzione della pianura in quanto si tratta di un corso alimentato da risorgenze carsiche e risorgive e che, quindi, trasporta pochissimo sedimento; tuttavia, in vari casi ha ricevuto i contributi del Cellina-Meduna e del Piave.

Nel Foglio le quote variano da valori massimi di quasi 7 m s.l.m. al limite settentrionale, presso Fossalta di Portogruaro, fino ad un minimo di -3 m s.l.m. nelle aree bonificate a SW del paese di Sindacale. Nel settore marino le quote batimetriche raggiungono i -12 m presso il vertice SE del Foglio.

Nella metà meridionale del Foglio, un tempo caratterizzata quasi interamente dall'ambiente lagunare, le bonifiche moderne iniziate alla fine del XIX

secolo hanno lasciato pochissime zone ancora occupate da acque salmastre e corrispondenti alla laguna di Caorle e al settore di Baseleghe (FONTANA, 2004b; ZANETTI, 2004). Nel complesso i terreni attualmente posti sotto il livello marino e bonificati artificialmente tra Tagliamento e Livenza corrispondono a circa 230 km<sup>2</sup> e altri 70, ricadenti nel Foglio, si trovano oltre il corso del Livenza.

Attualmente per laguna di Caorle s'intende una superficie di circa 15 km<sup>2</sup> formata da alcune aree sommerse in gran parte utilizzate come valli da pesca, in cui il livello dell'acqua e la sua circolazione sono controllati artificialmente. Sono specchi d'acqua salmastra con profondità generalmente inferiori a 1 m fra cui i più importanti sono la Valle Grande di Caorle, Val Perera, Valle Zignago, Valle Nuova, Palude della Rocca; solo lungo i canali lagunari le profondità superano 1,5 m e possono addirittura raggiungere quasi 20 m in alcune anse del canale dei Lovi e del Nicessolo. Quest'ultimo è l'asse portante del sistema lagunare e lo pone in comunicazione con il Mare Adriatico attraverso il Porto di Falconera (detto anche di Caorle). Altre zone lagunari sono conservate nella zona di Porto Baseleghe lungo il canale dei Lovi e la golena del Cavrato; si devono poi anche considerare la Valle Grande e la Vallesina di Bibione, situate poco a est della carta.

Oltre alle zone sommerse dalle acque salmastre, prima delle bonifiche esistevano numerosi settori caratterizzati da terreni paludosi, sia salmastri che dolci, la cui origine era strettamente collegata allo scarso deflusso delle acque superficiali, ostacolato dalla presenza della laguna. Molte di queste aree palustri erano ancora ben rappresentate alla metà del XIX secolo e, procedendo da est a ovest, si possono ricordare: la Palude di Gramigna, la Palude Mariussi, la Palude di Sindacale, la Palude Grande di Concordia, la Valle Dolce, la Palude del Lago, la Palude Loncon, la Palude Bando Querelle, la Valle Rossetti, la Palude delle Sette Sorelle, la Palude di Ottava Presa e di Nona Presa, la Palude Riello, la Valle Porri, la Palude Ribaga, la Valle Sette Casoni (cfr. Carta del Regno Lombardo Veneto del 1833; FONTANA, 2004b; ZANETTI, 2004).

A partire dal XV secolo sono state realizzate deviazioni artificiali di vari corsi d'acqua che oggi presentano percorsi fortemente artificializzati; anche il Livenza ha subito una deviazione nel 1654 che ha condotto alla disattivazione del suo antico corso naturale, ora chiamato Livenza Morta (MARSON, 1997). Di conseguenza, la foce del fiume è stata spostata dal Porto di Santa Croce a quello più orientale di Santa Margherita e ha condotto all'interramento di buona parte dell'antica laguna di Caorle, un tempo estesa a nord dell'omonima città, originariamente sorta su di un'isola litorale (MARSON, 1997; FONTANA, 2004a).

In tempi più recenti, lo sfruttamento balneare delle zone di Caorle e Bibione ha portato all'artificializzazione dei litorali, comportando lo spianamento di molti dei cordoni dunali esistenti e l'urbanizzazione di estesi settori. Attualmente l'unico tratto di costa allo stato semi-naturale di tutto l'Adriatico settentrionale è rappresentato dai lidi di Valle Vecchia, in cui le bonifiche terminate nel 1969 non hanno spianato le dune ed è attualmente in corso un progetto di rinaturalizzazione degli ambienti un tempo lagunari (ZANETTI, 2004). Il sistema di dune

più complesso e più elevato si trova lungo il litorale di Bibione, corrispondente all'ala destra del delta del Tagliamento, che con la sua estremità occidentale rientra marginalmente nel Foglio. Poco a est dell'area compresa nella carta vi sono infatti oltre 10 cordoni di dune fra cui quelli più interni, situati in località Motteron dei Frati, di età pre-romana che raggiungono anche i 10 m s.l.m. (BONDESAN *et alii*, 2004a; FONTANA, 2004a).

La carta del microrilievo (Fig. 4, Capitolo III) pone in evidenza il fatto che le zone di bonifica si trovano spesso a quote inferiori rispetto a quelle ancora sommerse, probabilmente a causa del costipamento differenziale verificatosi dopo il prosciugamento, che risulta maggiore nelle zone drenate sia per la perdita dell'acqua interstiziale, sia per la conseguente ossidazione dei depositi torboso-organici ivi presenti. Nel complesso si può così notare come la laguna sia circondata da depressioni che si estendono verso monte fino all'isoipsa +0,5 m, con un limite che da ovest a est procede grossomodo da S. Stino di Livenza per Cavanella di Concordia e Lugugnana fino a Cesarolo. La medesima isoipsa separa le aree più meridionali, quasi pianeggianti, da quelle settentrionali, topograficamente articolate per la presenza di forme di origine fluviale. Infatti, oltre alle morfologie costiere e lagunari, il Foglio è caratterizzato soprattutto da tracce di alvei abbandonati, incisioni e dossi. Delle varie incisioni che erano presenti nella zona quasi tutte sono state colmate dalla sedimentazione e non sono quindi più visibili in superficie; solo lungo i corsi dei fiumi Lemene e Reghena si riconoscono due bassure marginate ai lati da scarpate che poco a monte dell'autostrada A4 raggiungono i 6 m di altezza e separano la pianura indifferenziata dal fondo delle incisioni.

Fra i dossi il più ampio ed elevato è quello al cui centro scorre l'attuale alveo del Tagliamento, che rientra marginalmente nel Foglio, e la serie di dossi che coincidono con il percorso del Livenza, della Livenza Morta e dei vari rami minori che si staccano da questa direttrice. Vi è poi il dosso che sottolinea il percorso del Lemene e su cui sorge Portogruaro, il dosso al cui centro scorre la roggia Lugugnana, coincidente con il percorso del *Tiliaventum Maius* d'epoca e vari altri dossi minori, visibili solo con il microrilievo e che sono stati formati soprattutto da alvei pleistocenici.

## 2. - EVOLUZIONE TARDO-QUATERNARIA

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 *et alii*, 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.

## 2.1. - PRE-LGM (> 24.000 BP)

La morfologia dell'area compresa nel Foglio è dovuta essenzialmente a processi operanti dall'Ultimo Massimo Glaciale (*LGM*: Last Glacial Maximum) in poi e i depositi superficiali sono formati da sedimenti che hanno meno di 20.000 anni. Tuttavia, grazie ai nuovi carotaggi, si sono raccolti dati che consentono di analizzare i primi 100 m di sottosuolo corrispondenti all'evoluzione degli ultimi 170.000 anni circa, a partire quindi dal MIS6.

Durante il MIS 6 (166.000-132.000 anni fa) furono raggiunte condizioni climatiche pleniglaciali e i ghiacciai uscirono dalle valli alpine. La pianura subì una notevole fase di sedimentazione che, per valori di aggradazione e architettura deposizionale, è confrontabile con quella verificatasi nel *LGM*. Nella bassa pianura friulana e veneta orientale i sedimenti di quel periodo sono caratterizzati da depositi limosi e limosi-argillosi con sottili canali sabbiosi a geometria lenticolare. All'interno del Foglio questi sedimenti hanno uno spessore superiore a 25 m e il loro top stratigrafico si trova a 60-70 m di profondità (unità di Torre di Mosto). Al di sopra di essi, i sondaggi geognostici hanno individuato depositi di ambiente costiero e lagunare appartenenti al MIS 5 e più precisamente al sub-stage 5e o Tirreniano. In tale periodo, datato tra 125.000-116.000 anni BP, il livello marino raggiunse un'altezza massima di circa  $+7 \pm 3$  m s.l.m. attuale (cfr. FERRANTI *et alii*, 2006; ANTONIOLI *et alii*, 2009) e, nell'area del Foglio, 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; esso si trovava grossomodo quasi in corrispondenza del limite settentrionale del Foglio e anche la linea di costa era relativamente più interna e nel settore meridionale del Foglio; i depositi di questa epoca sono caratterizzati da facies di *shoreface* e prodelta passanti alla piattaforma interna (cfr. unità di Correzzola).

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 alii*, 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. (ANTONIOLI *et alii*, 2004) e potrebbe aver consentito la deposizione di sedimenti lagunari e/o marini nelle aree del Foglio. Tuttavia, le informazioni disponibili non consentono di attribuire con facilità i sedimenti ai

vari *sub-stage* del MIS 5; gli ultimi depositi marino-lagunari sono presenti a profondità di circa 40-45 m e sono più antichi di 80.000 anni (unità di Correzzola).

In quel periodo si verificò la transizione da condizioni climatiche interglaciali (MIS 5) all'inizio dell'ultimo ciclo glaciale (MIS 4 - 2); su gran parte della bassa pianura friulana e veneta orientale la deposizione rimase molto scarsa o quasi assente per un tempo piuttosto prolungato che nell'area del Foglio è durato fino a circa 35-30.000 anni BP e comprende quindi sia il MIS 4 che il MIS 3. Tale intervallo cronologico è rappresentato nell'area da pochi metri di depositi alluvionali (unità di Concordia) tra cui, nel settore meridionale del Foglio, è presente uno strato di torbe palustri che può raggiungere 1,5-3 m di potenza. Quest'ultimo si assottiglia verso monte e non è presente nel sondaggio Azzano del Foglio "San Vito al Tagliamento" (ZANFERRARI *et alii*, 2008c).

Nei carotaggi, al di sopra delle torbe sono stati incontrati pochi metri di depositi sabbiosi e limosi al cui tetto in vari casi è stato individuato un suolo con caratteri ben evoluti che rappresenta un'altra stasi della sedimentazione per 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 corrisponde a 26.000-22.000 anni BP non calibrati, cioè alla base dei depositi del *LGM*.

Precedentemente al *LGM*, probabilmente fino al Pleistocene medio, era attivo il *megafan* di Montebelluna (Fig. 23) e quindi il Piave giungeva in pianura a occidente del Montello; successivamente, forse per una forte influenza tettonica dovuta al sollevamento di quest'ultimo, il fiume ha attivato il *megafan* con apice presso Nervesa, tuttora attivo (MOZZI, 2005). 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).

## 2.2. - LGM (fase pleniglaciale: 28.000-18.000 a.C.)

Nonostante che a livello globale e alpino l'ultima glaciazione sia iniziata con il MIS 4 (OROMBELLI *et alii*, 2005), nella pianura veneta e friulana, specie nella bassa, gli effetti di tale avanzata dei ghiacciai sono stati quasi assenti. L'evento più importante per l'intera pianura e che più ha caratterizzato l'attuale aspetto superficiale è stato il *LGM*, convenzionalmente durato tra 30.000 e 17.000 anni fa circa (24.000-14.500 anni <sup>14</sup>C BP, in cronologia non calibrata) e che ha complessivamente prodotto il deposito di circa 20-35 m di sedimenti su tutta la pianura. Il *LGM* comprende sia la fase di massima avanzata dei ghiacciai che quella in cui essi iniziarono a ritirarsi, ma sempre in un periodo climatico più freddo dell'attuale; queste due fasi vengono rispettivamente definite informalmente come pleniglaciale e cataglaciale.

Durante il *LGM* i bacini montani del Tagliamento e del Piave furono occupati da masse glaciali che con le loro fronti giunsero fino in pianura, originando

l'anfiteatro morenico tilaventino e quelli di Vittorio Veneto, Quero e le morene frontali presenti nella valle del fiume Soligo (VENZO, 1978; PELLEGRINI *et alii*, 2005; ZANFERRARI *et alii*, 2005). Conseguentemente all'avanzata glaciale si verificò la caduta del livello marino fino ad un livello di circa -120 m s.l.m. e il suo stazionamento basso (CORREGGIARI *et alii*, 1996; LAMBECK *et alii*, 2004). La pianura era quindi più lunga di oltre 400 km ed era caratterizzata da una pendenza molto bassa, inferiore a 1‰; nonostante il basso livello di base, la quantità di sedimenti forniti dal ghiacciaio e trasportati dai suoi scaricatori consentì comunque una fortissima aggradazione verticale di tutta la pianura; fu in quell'epoca che i *megafan* e i conoidi alluvionali raggiunsero il loro massimo sviluppo areale e acquisirono la forma che tuttora li caratterizza (Fig. 23). Durante il pleniglaciale si generò anche la differenziazione tra alta e bassa pianura, in quanto le correnti fluvio-glaciali non erano confinate lateralmente in solchi d'incisione e così entro i primi 15-25 km dalla fronte glaciale perdevano la capacità di trascinare le ghiaie (Fig. 22). Queste venivano quindi trasportate al massimo fino al limite superiore delle risorgive, mentre procedevano verso valle solo le granulometrie più fini, dominate dai limi. In tutta la bassa pianura veneto-friulana le ghiaie sono infatti assenti nei depositi pleniglaciali, caratterizzati invece da alternanze di limi e limi argillosi, con canali sabbiosi a geometria lentiforme, potenti fino a 1-2 m (subsistema di Canodusso). Sono inoltre presenti livelli torbosi e limoso-organici di spessore pluricentimetrico, con una continuità laterale che può essere anche di vari chilometri e che sono segnalati tra l'Isonzo e l'Adige (MIOLA *et alii*, 2006; FONTANA, 2006). Questi orizzonti corrispondono a torbiere di ambiente steppico e rappresentano l'assenza di sedimentazione a scala localizzata per spostamento della sedimentazione in altri settori del *megafan*.

### 2.3. - LGM (fase cataglaciale: 18.000-15.000 anni a.C.)

Nella fase cataglaciale del *LGM*, tra 18.000 e circa 15.000 anni a.C. (18.000-15.000 anni <sup>14</sup>C BP), si verificò il progressivo ritiro dei ghiacciai, con una conseguente riduzione in pianura della portata solida delle correnti fluvio-glaciali provenienti dagli scaricatori rimasti ancora attivi; ciò produsse la disattivazione di estesi settori di conoidi e *megafan* per incisione delle loro parti apicali. L'attività fluviale, confinata in aree più ristrette, aumentò la capacità di trasporto delle acque e comportò lo spostamento dell'area deposizionale diversi chilometri più a valle, con la creazione di corpi telescopici (subsistema di Remanzacco), che nella bassa pianura sono sovrapposti ai depositi più antichi (Fig. 24). I *megafan* alimentati dal ghiacciaio del Tagliamento subirono nell'alta pianura un'intensa erosione con formazione di importanti scarpate, mentre a valle si verificò sedimentazione sopra la superficie pleniglaciale, dando così origine a sistemi telescopici.

Al margine meridionale dell'alta pianura le incisioni ridussero progressivamente la loro profondità fino a scomparire: i sedimenti fluviali dei sistemi

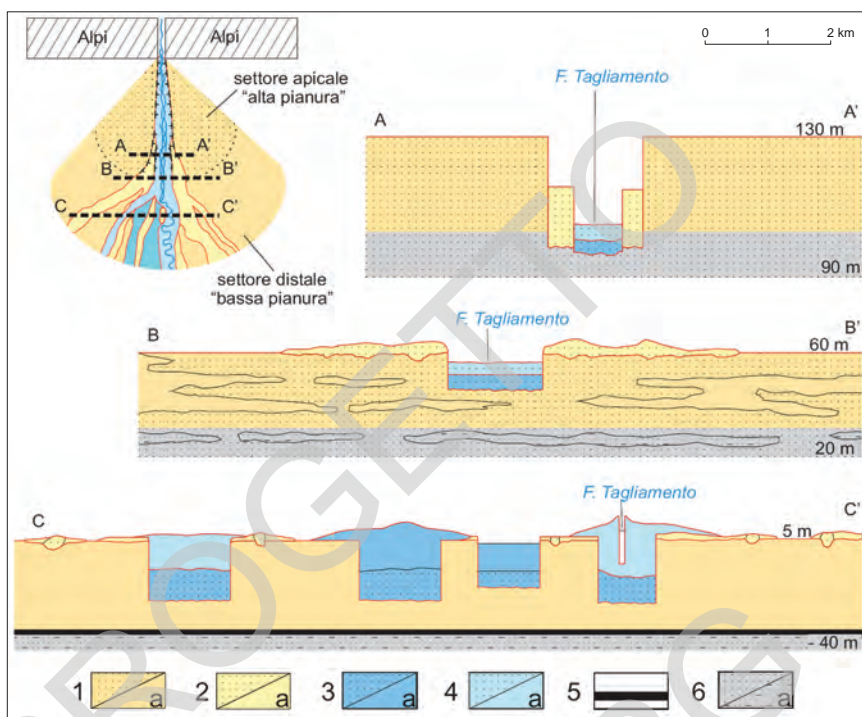


Fig. 24 - Schema semplificato del megafan telescopico del Tagliamento (modificato da FONTANA, 2006).  
 Legenda: 1) ghiaie e sabbie del subsistema di Canodusso SPB<sub>3</sub>; a) limi e argille; 2) ghiaie e sabbie del subsistema di Remanzacco SPB<sub>4</sub>; a) limi e argille; 3) ghiaie e sabbie dell'unità di Malamocco POI<sub>9</sub>; a) limi e argille; 4) ghiaie e sabbie dell'unità di Torcello POI<sub>10</sub>; a) limi e argille; 5) torbe pre-LGM; 6) depositi costieri e lagunari.

deposizionali telescopici si depositarono sulla pianura pleniglaciale, formando lunghe diramazioni caratterizzate da alvei ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi. Queste direttrici cataglaciali avevano alvei di tipo *braided* quasi fino al limite inferiore delle risorgive, mentre più a valle si svilupparono dei dossi fluviali che poggiavano sui sedimenti pleniglaciali. I dossi sono generalmente ben riconoscibili rispetto alla pianura circostante sulla base della loro tessitura più grossolana, ma non hanno un marcato rilievo morfologico a causa della rielaborazione operata dal reticolo idrografico locale e dai fiumi di risorgiva, nonché dagli spianamenti agrari.

L'aumentata capacità di trasporto della corrente fluviale, legata al terrazzamento delle parti apicali dei *megafan*, giustifica la presenza di sabbie ghiaiose nei dossi fluviali riconosciuti in bassa pianura, diversamente da quel che accadeva nel pleniglaciale quando la deposizione delle ghiaie era limitata all'alta pianura.

Nel *megafan* del Piave di Nervesa, nel settore di alta pianura, non si hanno evidenti terrazzamenti della superficie pleistocenica ma, nella zona di Quartier del Piave, settore già quasi in pianura posto alle spalle del Montello e chiuso dalla soglia di Nervesa, il corso del fiume è inciso rispetto alla superficie pleni-glaciale di circa 20-30 m. Si può quindi ipotizzare che la presenza di questa zona particolare potrebbe aver reso meno evidente il fenomeno di incisione apicale del *megafan* a valle del Montello (FONTANA *et alii*, 2008; CARTON *et alii*, 2009).

Per il Tagliamento gli ultimi eventi deposizionali riferibili al *LGM* sono databili tra 16.700 e 15.600 anni  $^{14}\text{C}$  BP non calibrati. (FONTANA, 2006; MONEGATO *et alii*, 2007); nell'anfiteatro morenico di Vittorio Veneto la cerchia più esterna è stata datata a  $17.670 \pm 320$  BP (BONDESAN, 1999) mentre già nel  $14.370 \pm 115$  BP il ghiacciaio si era ritirato più a monte della zona di Revine (TV) (CASADORO *et alii*, 1976), stazionando tra Feltre e Belluno attorno a 13.500 BP (PELLEGRINI *et alii*, 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 alla aggradazione *LGM*, a 2,5 m di profondità, risale a  $16.190 \pm 50$  anni  $^{14}\text{C}$  BP (BONDESAN *et alii*, 2004b).

I depositi cataglaciali del Tagliamento affioranti nel Foglio corrispondenti ai dossi sabbioso-ghiaiosi sono visibili solo nelle aree non sepolte dalla sedimentazione successiva; in particolare sono ben riconoscibili quelli che si sviluppano tra Fossalta di Portogruaro e Sindacale, quelli a sud di Cinto Caomaggiore e a ovest di Summaga fino ad Annone.

#### 2.4. - POST-LGM (ultimi 17.000 anni)

Con il passaggio dal *LGM* al Tardoglaciale, i ghiacciai si ritirarono nelle alte valli alpine (PELLEGRINI *et alii*, 2005; ZANFERRARI *et alii*, 2008a) e, contemporaneamente, ebbe inizio una nuova fase nella dinamica fluviale della pianura. I recenti studi e le numerose datazioni assolute disponibili consentono una buona comprensione della dinamica fluviale degli ultimi 17.000 anni, portando all'identificazione dei vari tracciati fluviali e alle varie fasi sedimentarie e morfogenetiche (BONDESAN, 2004; FONTANA, 2004a; 2006). Sul lobo postglaciale sono stati identificati numerosi percorsi fluviali, generalmente costituiti non da un singolo paleoalveo ma da un *meander belt*, ossia una fascia di territorio entro cui sono compresi più canali abbandonati che sono stati attivi durante la medesima fase deposizionale e che, proprio per questo, presentano gli stessi caratteri sedimentologici e morfometrici. Quasi sempre si individuano solo tratti limitati di tali fasce poiché i percorsi più recenti hanno eroso, riattivato o sepolto quelli precedenti. Pur trattandosi di una situazione complessa, i caratteri e la disposizione delle varie direttrici porta a ritenere che l'evoluzione postglaciale del Tagliamento non sia stata guidata da una progressiva migrazione laterale dell'alveo, ma sia stata il prodotto di numerose avulsioni. Per questo motivo, tra le fasce di meandro



postglaciali esistono talvolta delle aree in cui affiora la pianura pleniglaciale o quella cataglaciale. Di conseguenza esistono settori del *megafan* che hanno età molto diverse, ma possono essere anche adiacenti fra loro.

Il principale nodo di avulsione del Tagliamento è riconoscibile poco a valle dell'apice del lobo postglaciale, quasi in corrispondenza del Ponte della Delizia. La presenza in tale zona del limite superiore delle risorgive può aver favorito i frequenti cambi di direzione del fiume a causa della notevole diminuzione del gradiente topografico, che passa dal 5‰ circa delle ultime propaggini dell'alta pianura al 3‰ dell'inizio della bassa. Un altro nodo avulsivo è posto tra Madrisio e Ronchis, dove anche attualmente l'alveo cambia tipologia passando da un alveo a canali intrecciati a uno monocursale e meandriforme. In questo settore la pendenza cala da 2,5‰ a 1‰.

#### 2.4.1. - *Stasi deposizionale e incisioni fluviali* (circa 15.000 - 5000 a.C.)

A partire da 15.000 anni <sup>14</sup>C BP circa, nella bassa pianura friulana terminò la limitata aggradazione verificatasi durante il cataglaciale (subsistema di Remanzacco) e in tutto il *megafan* del Tagliamento iniziò un'importante fase erosiva. Essa approfondì ulteriormente la vallata attraversata dal fiume nell'alta pianura, terrazzando anche il lobo cataglaciale e, anche nella bassa pianura, si formarono ampie e profonde bassure lungo le direzioni seguite dal fiume tra il Tardiglaciale e l'Olocene medio. Queste incisioni causarono un notevole confinamento del flusso idrico e sedimentario del Tagliamento, che consentì quindi il trasporto di ghiaie verso la bassa pianura e, almeno in alcune fasi del postglaciale, anche fino all'attuale zona costiera (FONTANA, 2006).

Per effetto dell'incisione dei fiumi alpini, sulla superficie della pianura la sedimentazione rimase assente o molto limitata dall'inizio del post-LGM fino all'Olocene medio, attorno al 5000-4000 a.C., quando si è instaurata una nuova importante fase di aggradazione nel settore più distale della bassa pianura per effetto della trasgressione marina. Infatti, il livello marino cominciò a influenzare in modo apprezzabile la dinamica fluviale delle zone comprese nel Foglio solo quando raggiunse un'altezza relativa di circa -10 m s.l.m.

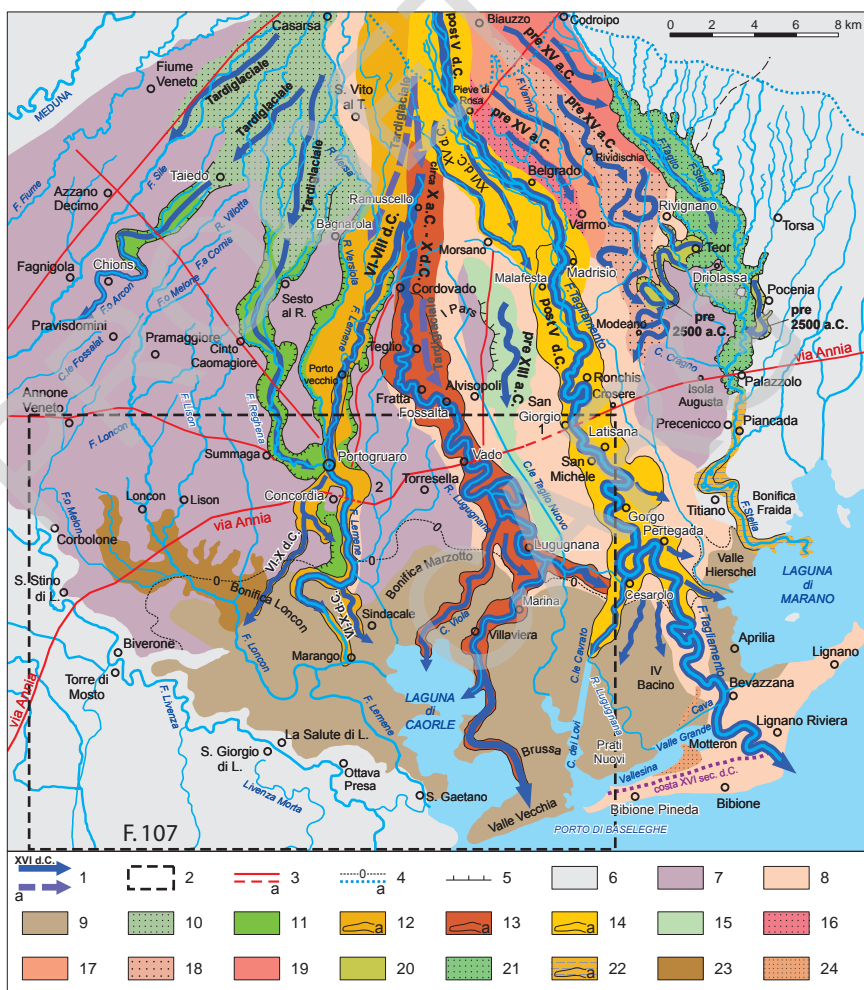
Sulla superficie pleistocenica esposta, non interessata dalla sedimentazione, la pedogenesi ha potuto agire per vari millenni e ha formato suoli con caratteri ben evoluti, caratterizzati in bassa pianura da orizzonti di riprecipitazione di carbonato di calcio caratterizzati da concrezioni e banchi concrezionati particolarmente consolidati corrispondenti al cosiddetto "caranto" presente nel sottosuolo della laguna di Venezia (MOZZI *et alii*, 2003; FONTANA *et alii*, 2004).

In vasti settori la superficie databile al LGM non interessata dalla sedimentazione successiva è stata parzialmente rimodellata dallo sviluppo del reticolo fluviale locale e dei corsi di risorgiva. Soprattutto nel settore posto a ovest del fiume Reghena si sono formate delle strette incisioni che contornano i corsi minori e che hanno generato un reticolo dendriforme. L'attività di questi fiumi

secondari si è talvolta realizzata anche sui depositi post-LGM, dove hanno spesso sfruttato alvei abbandonati del Tagliamento per creare i loro percorsi. È questo il caso del Lemene, Lugugnana, Reghena, Ramon Chiaro.

#### 2.4.2. - La trasgressione marina dinamica fluviale (5000 a.C. - Attuale)

A partire da 15.000 anni <sup>14</sup>C BP, la fusione dei ghiacci causò l'innalzamento del livello marino che, dalla quota minima di circa -120 m s.l.m., raggiunta



all'acme del *LGM*, risalì rapidamente fino a 7000-5000 anni fa, quando raggiunse un livello relativo di circa -10 m, confrontabile con l'attuale (CORREGGIARI *et alii*, 1996; CATTANEO & TRINCARDI, 1999; LAMBECK *et alii*, 2004; AMOROSI *et alii*, 2008). Il successivo sollevamento del mare è da attribuirsi in buona parte alla subsidenza locale, alle deformazioni tettoniche, alle fluttuazioni climatiche oloceniche e alla quantità di apporti sedimentari fluviali (ANTONIOLI *et alii*, 2009).

La trasgressione marina non fu un evento sincrono in tutto l'Adriatico, ma raggiunse dapprima il settore più meridionale e quello orientale. La morfologia delle coste giocò un ruolo fondamentale, consentendo il generarsi di situazioni diverse anche tra zone adiacenti. A differenza di quanto si è verificato a sud della laguna di Venezia, dove alla massima trasgressione marina è seguita poi una regressione marcata (STEFANI & VINCENZI, 2005; AMOROSI *et alii*, 2008), all'interno del Foglio, e più genericamente in tutta la pianura veneta orientale e friulana, l'attuale posizione del mare è la più interna raggiunta durante l'Olocene (AMOROSI *et alii*, 2008). Nelle zone con depositi costiero lagunari, a monte dell'attuale linea di costa vi sono quasi sempre depositi lagunari fino al contatto in *onlap* sui depositi alluvionali del *LGM*. Solo nella zona di Torre di Fine e poco a nord dell'attuale delta del Tagliamento vi sono depositi di spiaggia e dune più antiche che testimoniano la successiva progradazione dei sistemi fluviali.

Nella pianura veneto-friulana, le aree in cui le superfici relitte pleistoceniche affiorano fino al margine lagunare hanno subito la trasgressione in modo passivo, tanto che in queste aree l'odierna posizione del mare è 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 prodotto, isolando specchi di mare, hanno creato le lagune in cui il moto ondoso ha un debole effetto, mentre diviene fondamentale il regime tidale.

---

Fig. 25 - *Direttrici del Tagliamento nel post-LGM (modificato da FONTANA, 2006). Legenda: 1) direttrice fluviale, con eventuale indicazione dell'età di attivazione; 1a) direttrice fluviale sepolta; 2) traccia di sezione stratigrafica; 3) traccia di strada romana; 3a) traccia sepolta; 4) isopisa 0 m s.l.m.; 4a) limite superiore delle risorgive; 5) orlo di scarpata fluviale; 6) depositi di altri bacini idrografici; 7) depositi LGM; 8) depositi post-LGM; 9) depositi lagunari olocenici; 10) rami tardiglaciali tra Fiume Veneto e San Vito al Tagliamento; 11) incisioni tardiglaciali attualmente occupate dai fiumi Lemene e Reghena; 12) Tagliamento di Concordia, VI-VIII secolo d.C.; 12a) dosso; 13) percorso attivo in epoca romana (Tiliaventum Maius), I millennio a.C. - X secolo d.C.; 13a) dosso; 14) Tagliamento attuale, post V secolo d.C.; 14a) dosso; 15) depressione dei paleoalvei di Alvisopoli, pre XIII secolo a.C.; 16) paleoalvei di Glaunicco-Varmo, pre XV sec. a.C.; 17) paleoalvei di San Vidotto, pre XV sec. a.C.; 18) paleoalvei di Rividischia, pre XV sec. a.C.; 19) paleoalvei di Iutizzo, pre XV sec. a.C.; 20) incisioni dei paleoalvei di Campomolle e di Pocenia, rispettivamente a ovest e a est del fiume Stella, pre 2500 a.C.; 21) incisione dello Stella, probabilmente rimodellata dal Tagliamento tra il 2500 e l'800 a.C.; 22) depositi dello Stella con influenze del Tagliamento, post 2500 a.C.; 22a) dosso; 23) area palustre del fiume Loncon; 24) dune preromane.*

A sud della laguna di Venezia è ben riconoscibile un ciclo trasgressivo-regressivo (TOSI *et alii*, 2007b), 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 (AMOROSI *et alii*, 2008).

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 s.l.m.) (TOSI *et alii*, 2007a; 2007b) e, 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  $6520 \pm 50$  anni  $^{14}\text{C}$  BP (BONDESAN *et alii*, 2003), mentre i primi cordoni dunali del sistema costiero del fiume Piave sono datati a  $5460 \pm 60$  anni  $^{14}\text{C}$  BP (BONDESAN *et alii*, 2002). In tutto il settore compreso tra Piave e Tagliamento si riconoscono sedimenti lagunari soprastanti i depositi alluvionali del *LGM*, recentemente incontrati da numerosi sondaggi a circa -7 -9 m s.l.m. e datati attorno al 5000 a.C. Nella laguna di Marano, le più antiche tracce di presenza marina postglaciale sono state riconosciute presso l'Isola di S. Andrea a -8 m s.l.m. e datano a  $5540 \pm 140$  anni  $^{14}\text{C}$  BP (MAROCCO, 1989).

Lungo la costa veneto-friulana la risalita del livello marino 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 depressioni corrispondenti ad alcuni profondi paleoalvei 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, 2006).

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, che fornisce una stima affidabile della disattivazione del canale (cfr. BERENDSEN & STOUTHAMER, 2000).

Fino a circa 6000-5000 anni fa, mentre lo stazionamento alto 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. 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 fa (BONDESAN *et alii*, 2004a). 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 all'altezza dell'attuale abitato fino agli ultimi secoli del I millennio a.C. (ARNAUD-FASSETTA *et alii*, 2003).

#### 2.4.3. - La formazione dei dossi fluviali e l'evoluzione recente del Tagliamento

Tra il II e il I millennio a.C. la dinamica fluviale nella bassa pianura mutò decisamente, passando da una fase prevalentemente erosiva a una di sedimentazione. Le cause di questa tendenza, che si riconosce nell'intera pianura veneto-friulana, non sono ancora del tutto note, ma sono probabilmente correlabili all'innalzamento marino olocenico, alla conseguente diminuzione della pendenza del tratto finale dei fiumi e all'aumento del carico sedimentario per effetto delle attività antropiche (FONTANA *et alii*, 2008; CARTON *et alii*, 2009). Tutti i dossi postglaciali presenti nel Foglio "Portogruaro", sia del Tagliamento che del Piave e Livenza, hanno avuto origine negli ultimi 3.500 anni e si differenziano da quelli pleistocenici sia per la notevole ampiezza sia per l'elevazione rispetto alla piana circostante. Dossi sono presenti lungo il corso del Livenza attuale e lungo la sua direttrice naturale, la cosiddetta Livenza Morta; vi è poi il dosso presente lungo il corso del Piavon, che si collega a quello del Livenza presso S. Anastasio e Torre di Mosto, lungo la direttrice Prà di Levada. Nel Foglio rientrano anche marginalmente i dossi del Piave di Ponte Crepaldo e del Piveran. Più a est sono riconoscibili dossi lungo il corso attuale del Tagliamento a valle di Canussio, lungo l'antico ramo coincidente con il Lemene a valle di Boldara e lungo il percorso dell'attuale roggia Lugugnana a valle di Cordovado, corrispondente al cosiddetto *Tiliaventum Maius* attivo in epoca romana. Probabilmente per effetto del diminuito gradiente longitudinale, negli alvei abbandonati relativi a questa fase la profondità dei canali meandrici non supera generalmente i 10-12 m e il limite di deposizione delle ghiaie è arretrato verso monte di alcuni chilometri rispetto alla fase precedente, quando giungeva fino all'area lagunare. Lungo l'attuale Tagliamento le ghiaie terminano poco a monte di Latisana; tale corso è stato assunto dal fiume durante l'alto Medioevo e successivamente ha subito limitate variazioni, per lo più legate a spostamenti e avulsioni locali nel settore con alveo *braided* e all'evoluzione dei meandri nel tratto più meridionale.

La direttrice del *Tiliaventum Maius* è il più antico percorso lungo cui si sia formato un dosso fluviale e sembra essere rimasto il principale tracciato seguito dal Tagliamento fino alla fine dell'epoca romana. Tale periodo coincide con una fase di generale stabilità morfologica della pianura, probabilmente indotta anche dalla notevole antropizzazione subita dal territorio attraverso la colonizzazione romana e la creazione degli agri centuriati delle città di Concordia Sagittaria e di Aquileia.

La disattivazione del *Tiliaventum Maius* avvenne tra il V e il X secolo coincide con un'importante fase avulsiva, durante la quale il fiume utilizzò quasi simultaneamente sia il percorso oggi occupato dal Lemene sia quello del Tagliamento attuale, per poi mantenere attivo solo quest'ultimo. Utilizzando l'attuale

direzione del Lemene il Tagliamento rioccupò l'ampia valle che aveva formata nel Tardoglaciale e alluvionò con depositi sabbioso-limosi la zona di Concordia tra il VI e il VIII secolo d.C., colmando totalmente le antiche incisioni fluviali. Lungo questo percorso il fiume ha creato un dosso riconoscibile da Portovecchio fino alla laguna che presenta alcune diramazioni secondarie. L'attuale percorso fluviale si separò da quello del *Tiliventum Maius* presso Pieve di Rosa e in alcuni tratti sembra aver riutilizzato una direttrice preesistente, incisa nella pianura pleniglaciale e disattivatasi tra il II e il I millennio a.C., forse utilizzata dai paleoalvei di Rividischia e/o da quelli di Teor-Modeano. Lungo il corso attuale del fiume i depositi sabbiosi formano un dosso particolarmente evidente nel tratto compreso tra San Giorgio al Tagliamento e Bevazzana, che ebbe la sua maggior fase di costruzione tra il V e l'XI secolo.

L'evoluzione del percorso del Tagliamento nella fase che può essere definita Attuale è ben conosciuta grazie alle numerose cartografie storiche e ai documenti conservati in vari archivi antichi che coprono gli ultimi 500 anni. Dopo l'attivazione del suo attuale percorso, in concomitanza con una serie di alluvioni verificatesi tra il XV e XIX secolo, l'alveo attivo del Tagliamento subì una progressiva migrazione verso est tra i paesi di Belgrado e Madrisio (CASTELLARIN, 1990; FONTANA, 2006).

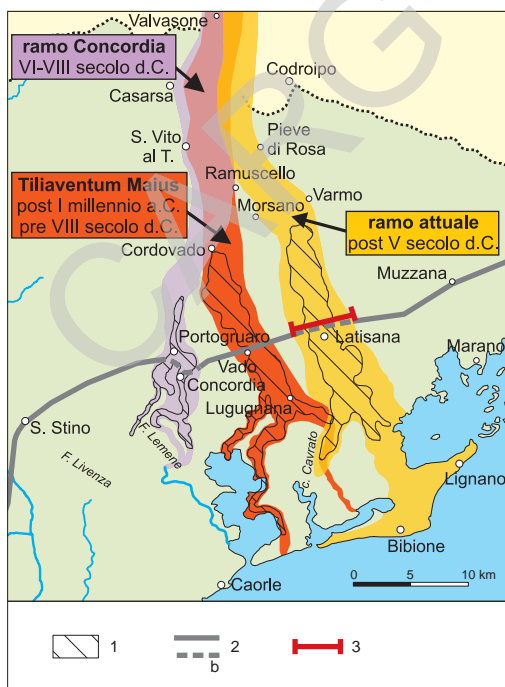


Fig. 26 - Schema delle direttrici fluviali seguite dal Tagliamento negli ultimi 3000 anni e lungo cui sono presenti dossi. 1) dosso fluviale; 2) tracciato della via Annia d'epoca romana in superficie; 2b) tracciato sepolto; 3) traccia della sezione stratigrafica riportata in Fig. 51 nel Capitolo VII - Stratigrafia.

A partire dal Rinascimento, e con importanti interventi concentrati negli ultimi decenni del secolo scorso, lungo il corso terminale del Tagliamento furono realizzati tagli di meandro artificiali per allontanare l'alveo da alcuni abitati e rendere il flusso più veloce (CASTELLARIN, 1990). La costruzione delle arginature, completata agli inizi del XIX secolo, è stato uno degli interventi decisivi per il raggiungimento dell'attuale assetto territoriale e ha confinato l'evoluzione del Tagliamento all'interno della gola, disattivando virtualmente tutta la pianura. Durante i numerosi eventi alluvionali verificatisi negli ultimi secoli, il fiume ha comunque inondato ampi settori causando notevoli devastazioni, come nel caso delle due ultime piene verificatesi nel 1965 e 1966 (CASTELLARIN, 1990).

#### 2.4.4. - Evoluzione moderna e recente della Laguna di Caorle

Oltre all'interazione con i fiumi, le lagune hanno subito soprattutto l'influsso del mare, in un rapporto variabile di erosione e deposizione caratterizzato da una dinamica molto rapida che denota notevoli variazioni anche solo negli ultimi secoli. In particolare la situazione dei litorali riportata nelle varie carte storiche, che rappresentano la costa tra Tagliamento e Livenza già a partire dalla prima metà del XVI secolo, consente di apprezzare la scomparsa o lo spostamento di alcune bocche lagunari come nel caso di quelle di Caorle, S. Croce, S. Margherita e del Mezzo Lido di Baseleghe. In particolare quest'ultima si trovava al centro dell'attuale litorale di Valle Vecchia e forse era ricollegabile all'antico corso del *Tiliaventum Maius*; la bocca di Mezzo Lido del Baseleghe era rappresentata nelle mappe fino al 1562 ma già in quelle del XVII secolo non è più riportata.

Nel periodo post-romano fino al XVI secolo la laguna è stata scarsamente interessata da interventi antropici; nella cartografia storica sono segnalati pochi centri abitati che, esclusa la città di Caorle all'epoca posta su di un'isola, consistevano in singole abitazioni o in piccoli gruppi di case. Le bocche di porto lagunari riportate sulla cartografia storica sono quelle attuali, anche se il confronto delle numerose mappe consente di apprezzare le variazioni della loro posizione nel corso degli ultimi 500 anni. Il Mezzo Lido di Baseleghe, situato al centro del litorale di Valle Vecchia, invece è riportato nelle mappe per tutto il XVI secolo mentre in quelle dell'inizio del XVII secolo non è più presente. La sua posizione rende ipotizzabile un legame con il percorso terminale del *Tiliaventum Maius* e il periodo in cui la bocca lagunare si chiuse coincide con una fase di notevole espansione del delta del Tagliamento attuale. È ipotizzabile che l'abbondante sedimento trasportato dal fiume al mare e poi ridistribuito dal *drift* costiero abbia insabbiato definitivamente il porto.

Nel XVIII secolo il progetto della Serenissima mirato a prevenire l'interamento della laguna di Venezia prevede anche la deviazione del Livenza nelle ultime 10 miglia e lo spostamento della sua foce 5 miglia più a est. Nel 1642 venne deciso di separare in tre rami il basso corso del Livenza al fine di dare spazio al Piave, indirizzare il deflusso verso il Porto di S. Margherita e assicu-

rare i collegamenti con il Friuli. Il maggior cambiamento fu la costruzione dell' "intestadura" di S. Giorgio di Livenza che portò al taglio del Livenza dando origine così alla Livenza Morta e decretando il declino del Porto di S. Croce; le acque del fiume si scaricarono nel canale La Cona, defluendo per il Porto di S. Margherita già nel 1654. In base al confronto con la cartografia storica, quest'ultimo è migrato poi verso ovest-sud-ovest a causa dell'erosione che ha interessato tutto il litorale di Caorle; tale processo ha risparmiato la chiesa della Madonnina dell'Angelo, all'epoca forse già protetta da opere contro l'erosione (cfr. FOZZATI & TONIOLO, 2001). Vennero inoltre scavati il canale del Traghetto e del Traghetino per congiungere il Livenza al Lemene. La traccia del Traghetino è ben evidente nella cartografia storica e dalla sua morfologia si può ipotizzare che sia stato in parte sfruttato l'alveo di un canale lagunare, come per il canale delle Zoppe. Esistono documenti del 1645 che attestano un importante cambiamento nel corso del Traghetino, con necessità di rivedere la distribuzione delle terre per gli abitanti di Caorle (MARSON, 1997).

Nel 1683 vennero scavati anche il canale delle Cimane (poi detto delle Navi) e il Riello; mentre l'ultimo è ancora attivo il secondo si è chiuso agli inizi del XX secolo e, nonostante un periodo di attività limitato, ha formato un evidente dosso sabbioso-limoso, la cui morfologia oggi è evidenziata dalla subsidenza differenziale che le bonifiche hanno indotto sui terreni circostanti.

In particolare, recentemente è stato evidenziato che il tasso di "affondamento" di alcune porzioni della pianura compresa nel Foglio è molto elevato e viene raggiunto il valore massimo di 5 mm/a (TOSI *et alii*, 2009). Questa velocità di affondamento è molto più alta di quella calcolata sulla media degli ultimi 125.000 anni, che fornisce valori compresi tra 0,4-0,6 mm/a (ANTONIOLI *et alii*, 2009). Questa diversità tra la subsidenza a breve e lungo termine denota una recente accelerazione, in massima parte imputabile all'attività antropica.



## VI - GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO

(a cura di A. Fontana)

### 1. - INTRODUZIONE

Per la realizzazione del Foglio “Portogruaro” lo studio del sottosuolo profondo è stato condotto analizzando le stratigrafie presenti nella Banca Dati e, inoltre, sono stati effettuati 5 sondaggi profondi a carotaggio continuo. Questi ultimi sono stati condotti in zone chiave e hanno permesso di descrivere dettagliatamente le prime decine di metri del sottosuolo, caratterizzando alcuni *marker* stratigrafici riconoscibili anche in numerose altre stratigrafie presenti nella Banca Dati.

Il sondaggio più profondo è stato il Torre di Mosto, che ha raggiunto la profondità di 94 m, gli altri sono il Valle Vecchia (51,5 m), il Concordia (51 m), il Pramaggiore (60 m) e il Lugugnana (46,5 m). Oltre a questi fori sono state visionate direttamente molte altre carote di lunghezza variabile tra 10 e 50 m, realizzate per scopi geotecnici e messe a disposizione da enti, progettisti e privati.

Nel complesso i dati raccolti consentono una buona ricostruzione dei primi 40 m di profondità, mentre permettono solo di avere alcune informazioni riguardo l'architettura deposizionale del sottosuolo tra 50 e 100 m. I dati hanno comunque dato la possibilità di individuare le unità geologiche di sottosuolo descritte nel Capitolo VII - Stratigrafia.

In questo Capitolo sono presentati i metodi utilizzati nell'analisi delle carote e poi vengono descritti i risultati per ogni sondaggio e la loro interpretazione.

Le analisi sulla petrografia delle sabbie è descritta separatamente nel Paragrafo 4 in quanto i campioni analizzati riguardano soprattutto il sottosuolo, ma ha implicazioni anche sulla stratigrafia più superficiale.

I risultati delle analisi sui macroresti vegetali, sui foraminiferi e sulle malacofaune sono inoltre presentati analiticamente nelle Appendici 4, 5 e 6.

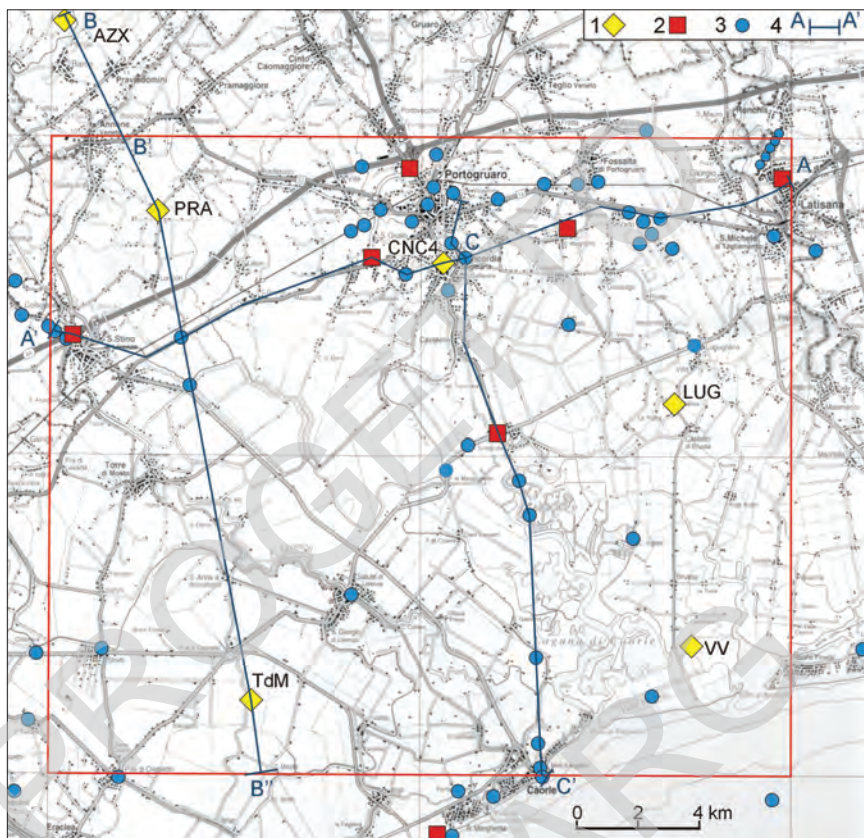


Fig. 27 - Principali carotaggi utilizzati per la ricostruzione del sottosuolo del Foglio 107. 1) nuovi sondaggi CARG; 2) sondaggi 40-100 m; 3) sondaggi 0-30 m; 4) traccia di sezione stratigrafica. Base topografica elaborata da cartografia della Casa editrice Tabacco.

## 2. - METODOLOGIE DI STUDIO DEI CAROTAGGI STRATIGRAFICI

### 2.1. - ANALISI DI FACIES

(A. Fontana, R. Avigliano, F. Massari)

La successione sedimentaria dei sondaggi eseguiti è stata studiata attraverso un'approfondita osservazione delle caratteristiche sedimentologiche della carota (granulometria, strutture sedimentarie, contenuto fossilifero, bioturbazioni, contenuto organico, paleosuoli, caratteristiche delle superfici-limite, tendenze deposizionali) che ha permesso di riconoscere un certo numero di facies e di

associazioni di facies. Sulla base anche delle indicazioni fornite dall'analisi del contenuto micropaleontologico, le facies e le loro associazioni sono state interpretate come indicatrici di ambienti sedimentari inquadrabili genericamente in quelli di piana alluvionale, di delta, di sistemi litorali e di piattaforma. Dove possibile si è cercato di raffinare l'interpretazione ambientale, tuttavia la mancanza di dati sulla geometria dei diversi corpi sedimentari, la limitata finestra di lettura e il disturbo dei campioni, inevitabile durante le operazioni di carotaggio, rappresentano dei limiti per un'interpretazione paleoambientale più raffinata.

Malgrado generalmente si convenga che le singole facies diano indicazioni limitatamente ai processi deposizionali, in questo caso ad esse è stato attribuito anche un significato paleoambientale, tenendo conto dell'associazione entro cui ognuna di esse è inserita.

La descrizione delle facies e l'interpretazione degli ambienti deposizionali è riportata in tabella nell'Appendice 3.

## 2.2. - ANALISI POLLINICHE E PALEOBOTANICHE (A. Miola)

### 2.2.1. - *Campionamento e analisi palinologiche*

Sono state condotte analisi paleobotaniche nei sedimenti estratti dai sondaggi eseguiti a Torre di Mosto (TdM, 40 campioni), Concordia Sagittaria (CNC4-Teatro, 19 campioni) e Pramaggiore (PRA, 8 campioni) al fine di effettuare la ricostruzione paleoambientale dell'area e dell'inquadramento crono-stratigrafico delle sequenze.

La preparazione dei sedimenti (5-10 g/campione) per l'analisi pollinica è stata eseguita secondo la procedura classica (FAEGRI & IVERSEN, 1989), che prevede l'utilizzo di HCl 20%, HF 50% a freddo, KOH 10%, l'acetolisi ed infine il montaggio in glicerina. La stima della concentrazione pollinica totale è stata eseguita seguendo il metodo di Stockmarr (1971). Si è inoltre proceduto al lavaggio iniziale del sedimento con sodio pirofosfato 0,1M e al filtraggio dei residui ( $\varnothing$  200  $\mu$ m) per l'analisi dei microresti vegetali più grossolani. Campioni di 50 cm<sup>3</sup> dei sedimenti organici più ricchi di resti vegetali sono stati lavati in soda 10% e analizzati allo stereomicroscopio per l'identificazione dei macroresti.

I palinomorfi sono stati identificati al microscopio ottico (400x e 1000x) sulla base di chiavi dicotomiche (MOORE *et alii*, 1991; PUNT, 1976; PUNT & CLARK, 1980; 1981; 1984; PUNT *et alii*, 1988), di atlanti (REILLE, 1992; 1998) e tramite confronto con polline attuale della palinoteca di laboratorio. Per i palinomorfi non pollinici è stata utilizzata letteratura specifica e le relative norme di nomenclatura (VAN GEEL, 2001). I macroresti sono stati riconosciuti utilizzando letteratura specifica (BERGREEN, 1981; ANDERBERG, 1994; CAPPERS *et alii*, 2006).

È stato contato un minimo di 400 granuli ben conservati di piante terrestri nell'80% dei campioni esaminati. Per la costruzione dei diagrammi pollinici i conteggi sono stati trasformati in percentuali calcolate sulla base della somma dei granuli di piante arboree, arbustive ed erbacee terrestri. Le piante acquatiche e di palude, le cisti di alghe, le spore fungine e i granuli pollinici non determinabili per il cattivo stato di conservazione sono rappresentati come percentuali della somma pollinica sopra detta più la somma dei granuli di ogni gruppo.

Per realizzare i diagrammi pollinici sono stati utilizzati i programmi Tilia 2.0.b.4 (GRIMM, 1990) e TGView 2.02 (GRIMM, 2004). Si è scelto di presentare i risultati dell'analisi attraverso istogrammi, data la distanza tra i livelli esaminati. Al fine di rendere i diagrammi compatti ed evidenziare i cambiamenti fondamentali nelle associazioni di palinomorfi, sono rappresentati singolarmente solo i taxa più abbondanti, gli altri sono stati raccolti nelle seguenti categorie:

- *Abies + Fagus*;
- *Quercus* e altre latifoglie termofile: *Quercus robur* group, *Carpinus* type, *Ostrya* type, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Acer campestre* type, *Tilia* oltre a *Corylus*, *Cornus sanguinea* type, *C. suecica* type, *Crataegus*, *Frangula alnus*, *Ligustrum vulgare*, *Rosaceae*, *Sambucus nigra*;
- Arbusti igrofilo: *Alnus*, *Salix*, *Populus*;
- Xerofite, cioè piante arbustive ed erbacee eliofile, spesso con funzione pioniera in suoli aridi: *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Helianthemum*, *Thalictrum*, *Ephedra fragilis* type, *E. distachya* type, *Hippophae rhamnoides*, *Juniperus*;
- Erbacee terrestri di suoli drenati: *Asteraceae* (tipi diversi), *Caryophyllaceae*, *Plantago* (tipi diversi) e numerosi altri taxa più rari; le *Poaceae* sono indicate separatamente;
- Erbacee acquatiche e palustri: *Cyperaceae*, *Myriophyllum verticillatum*, *M. spicatum*, *Nuphar*, *Nymphaea alba*, *Potamogeton*, *Stratiotes aloides*, *Hottonia palustris*, *Alisma plantago aquatica*, *Sparganium* e *Typha*;
- Alghe: 17 tipi di cisti algali prevalentemente di acqua dolce;
- Funghi: 35 tipi di spore fungine;
- Polline indeterminabile: prevalentemente frammenti di granuli saccati di incerta determinazione.

La suddivisione utilizzata nella descrizione dei diagrammi è stata determinata da rilevanti cambiamenti nella proporzione tra polline di piante arboree e arbustive (AP) e polline di piante erbacee terrestri di ambiente asciutto (NAP) o dal cambiamento dei taxa arborei prevalenti.

### 2.2.2. - Campionamento e analisi dei macroresti vegetali

Lo studio dei macrofossili ha compreso sia l'identificazione di resti vegetali di tessuti, presenti nei preparati pollinici che l'identificazione di resti più gros-

solani. I primi sono stati analizzati negli stessi campioni pollinici. Nelle torbe più ricche di resti vegetali sono stati estratti resti di maggiori dimensioni, con trattamento in soda 10% di un volume di sedimento pari a circa 50 cm<sup>3</sup>. I resti estratti sono quindi stati analizzati allo stereomicroscopio (I. Sostizzo). I risultati sono elencati in tabella nell'Appendice 4.

### 2.3. - ANALISI MICROPALAEANTOLOGICHE DEI FORAMINIFERI (A. Asioli)

#### 2.3.1. - Generalità

I foraminiferi bentonici sono presenti in tutti gli ambienti marini, da quello supratidale a quello abissale, e possono vivere sia all'interfaccia acqua-sedimento (epifauna), o all'interno del sedimento fino ad alcuni centimetri di profondità (infauna superficiale, intermedia e profonda), in cui i valori di parametri quali contenuto in ossigeno, quantità e qualità di cibo possono essere notevolmente differenti rispetto a quelli all'interfaccia acqua-sedimento. La distribuzione verticale nel sedimento di una particolare specie non è necessariamente la stessa sempre e ovunque, ma può variare in risposta a variazioni dell'ambiente in un determinato sito. Studi recenti hanno indicato, tra i fattori più determinanti per la distribuzione dei foraminiferi bentonici nel sedimento, il contenuto in ossigeno e l'ammontare di sostanza organica nelle acque di fondo e nel sedimento (per esempio il modello TROX di JORISSEN *et alii*, 1995 che combina il microhabitat dei foraminiferi - infaunale profondo, infaunale intermedio, infaunale superficiale, epifaunale - con questi principali parametri).

Negli ambienti attuali di piattaforma siliciclastica sono presenti diversi tipi di associazioni a foraminiferi bentonici: da quelle caratteristiche di palude alta (*marsh*), importanti come indicatrici delle variazioni del livello marino (SCOTT & MEDIOLI, 1978; 1980) e dominate da specie agglutinanti e ialine, a quelle di laguna, di piattaforma interna e piattaforma esterna-scarpata alta. In quest'ultima area i foraminiferi planctonici sono presenti, mentre in piattaforma interna, nonché in laguna e palude, sono assenti o estremamente rari.

Per l'interpretazione dei risultati ottenuti nello studio micropaleontologico delle associazioni a foraminiferi e tecamebe è stato fatto riferimento alle informazioni sull'ecologia di foraminiferi in letteratura (si veda per una sintesi MURRAY, 2006 e SEN GUPTA, 1999) e ad alcuni modelli, in particolare a quello di JORISSEN (1987; 1988) per la distribuzione dei foraminiferi bentonici attuali in Adriatico ottenuta attraverso lo studio dei sedimenti superficiali di carote e *box-cores*. Delle quattro biofacies distinte da JORISSEN (1987; 1988) è importante qui riportare le biofacies II, III e IV:

biofacies II: occupa la parte più costiera adriatica (indicativamente fino a 25 m) con sedimenti più grossolani e con generalmente un basso contenuto in sostanza organica. Le forme dominanti, caratterizzate comunque da una notevole variabilità specifica, sono *Ammonia beccarii*, *Ammonia perlucida*, *Ammonia beccarii tepida*, *Elphidium crispum*, *Elphidium gr. granosum*;

biofacies III: è generalmente dominata da forme probabilmente epifitiche (*Asterigerinata mamilla*, *Cibicides lobatulus*, *Neoconorbina terquemi*, *Rosalina bradyi*, *Buccella granulata*, *Gavelinopsis praegeri*, *Hanzawaia boueana*, *Reussella spinulosa*) ed occupa la parte al largo della piattaforma (20-100 m nel nord Adriatico, in particolare) caratterizzata da sedimenti sabbiosi. Quest'area comunque, rappresenta le cosiddette "sabbie relitte" di età pleistocenica e pertanto quest'associazione non dovrebbe essere considerata "attuale";

biofacies IV: occupa l'area sostanzialmente corrispondente alla moderna fascia dei limi (indicativamente tra i 20 fino ad anche 80-100 m di profondità in dipendenza dalla direzione della corrente, dalla topografia del fondo e dall'apporto sedimentario), con forte accumulo di sedimenti fini disposti più o meno parallelamente alla costa e conseguente accumulo di sostanza organica con scarso contenuto in ossigeno. È importante notare che l'apporto fluviale può indurre a condizioni disossiche o anossiche anche a distanze notevoli dalla sorgente di acqua dolce. Le forme dominanti sono: *Nonionella turgida*, *Valvulineria complanata*, *Bulimina gr. marginata*, *Melonis barleeianum*. Successivamente alla definizione di questa biofacies da parte di JORISSEN (1987; 1988), VAN DER ZWAAN & JORISSEN (1991) svilupparono un modello di distribuzione dei foraminiferi bentonici in questo particolare ambiente che promuove specie opportuniste. Tale modello, adottato per l'interpretazione dei risultati ottenuti, spiega le variazioni stagionali osservate nel microhabitat dei foraminiferi bentonici sulla base dei due seguenti assunti: 1) la profondità nel sedimento del livello critico di ossigeno controlla sia la presenza sia il tipo di associazione e 2) alcune specie bentoniche sono esclusivamente epifaunali, mentre altre conducono vita infaunale durante i periodi con buona ossigenazione dell'acqua di fondo (per esempio in inverno) e si spostano in posizione epifaunale durante i periodi di bassa ossigenazione nelle acque di fondo (in particolare fine estate ed autunno). In dettaglio la successione verticale dei foraminiferi, illustrata in figura 28, comprende l'epifauna (*N. turgida* e *V. complanata*, che occupa le acque più profonde) e l'infauna (*Textularia*, *B. marginata* forma *aculeata* e *B. marginata* forma *denudata*) (finestra C). Quando durante l'estate il livello critico di ossigeno inizia a salire verso l'interfaccia acqua-sedimento, l'infauna è costretta a migrare verso il microhabitat epifaunale (finestra D), mentre durante la tarda estate/autunno, quando la concentrazione di ossigeno raggiunge il minimo, la parte centrale della fascia dei limi può essere priva di vita bentonica (finestra E). In questo caso la successione dei microhabitat è più compressa verso le zone più esterne. *C. laevigata* domina la zona più distale, meno direttamente influenzata dallo scarico fluviale. Comunque, il

### Associazioni a foraminiferi bentonici in piattaforma infenzata da scarico fluviale

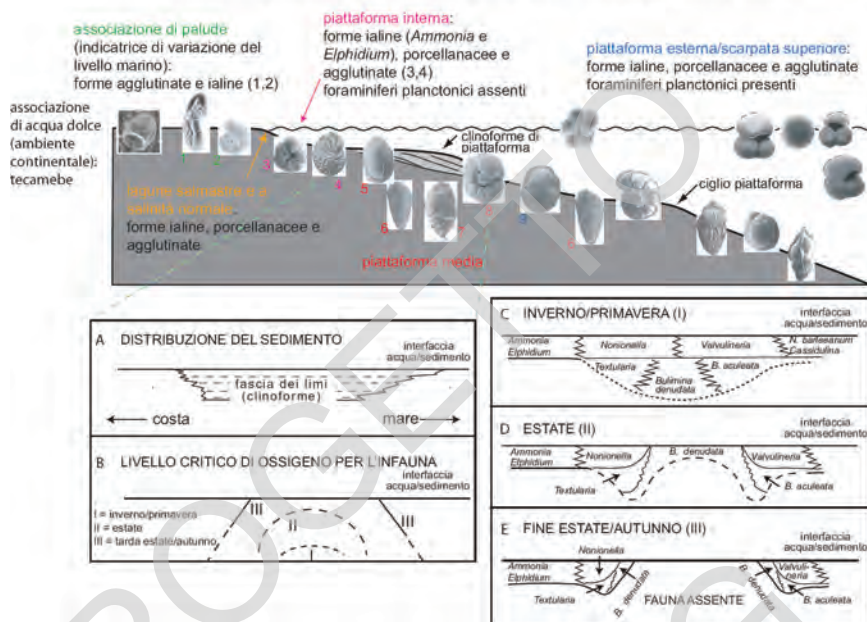


Fig. 28 - Distribuzione delle forme principali delle biofacies descritte nel testo lungo un profilo batimetrico attraverso la piattaforma adriatica, dalla sabbia costiera (delta-front e prodelta "meno profondo") ai corpi clinoformi fangosi di piattaforma (prodelta). Sotto: modello di microhabitat durante i vari stadi di carenza di ossigeno (modificato da VAN DER ZWAAN & JORISSEN, 1991 e CATTANEO et alii, 2004). Foraminiferi bentonici: 1. *Trochammina macrescens*, 2. *Trochammina inflata*, 3. *Ammonia beccarii*, 4. *Elphidium gunteri*, 5. *Nonionella turgida*, 6. *Brizalina spathulata*, 7. *Bulimina gr. marginata*, 8. *Valvulineria complanata*, 9. *Cassidulina laevigata carinata*.

passaggio da un'associazione all'altra non è netto, ma graduale, pertanto i limiti batimetrici finora citati sono da considerarsi puramente indicativi.

Inoltre è necessario ricordare, ai fini dell'interpretazione dei dati ottenuti nelle carote, l'associazione a foraminiferi caratteristica di ambienti transazionali (ambiente di tipo salmastro, laguna). Le forme tipiche di questo ambiente sono specie opportuniste e ben adattate a frequenti variazioni di parametri fisico-chimici, tra cui temperatura, salinità, pH, contenuto in carbonato di calcio. In prima approssimazione possiamo distinguere le associazioni con forme di ambiente subtidale (*A. beccarii*, *A. beccarii tepida*, *Haynesina germanica*, *Elphidium gunteri*) e quelli di ambiente intertidale e supratidale (*Jadammina macrescens*, *Trochammina inflata*, *Miliammina fusca*, *A. beccarii tepida*). Per ulteriori informazioni sulle associazioni di ambiente marginale si rimanda anche a lavori di sintesi tra cui SCOTT et alii (2001), e per l'area mediterranea anche ad ALBANI & SERANDREI BARBERO (1982), PETRUCCI et alii (1983), SERANDREI et alii (2004), mentre

per la distribuzione attuale dei foraminiferi nell'Adriatico settentrionale anche a D'ONOFRIO (1969), JORISSEN *et alii* (1992), BARMAWIDJAJA *et alii* (1992), DONNICI & SERANDREI BARBERO (2002).

In figura 28 è sintetizzata la distribuzione delle principali forme delle biofacies sopra descritte lungo un profilo batimetrico. Il profilo inizia a sinistra da associazioni di acqua dolce, costituite da tecamebe, e termina, a destra, con l'associazione di piattaforma esterna, passando attraverso associazioni di palude, laguna, piattaforma interna e media.

### 2.3.2. - *Materiali e metodi*

Il materiale esaminato per lo studio delle faune a foraminiferi proviene da livelli opportunamente scelti in base a cambiamenti litologici e osservazioni di ordine sedimentologico e petrografico. Per quanto concerne i foraminiferi, sono stati analizzati in tutto 135 campioni di sedimento provenienti dai seguenti sondaggi: Concordia S4, Pra Maggiore, Valle Vecchia e Torre di Mosto. I campioni, previa misurazione del loro volume, sono stati lavati attraverso un setaccio di maglia 0,045 mm e conservati in una soluzione 50% di etanolo e 50% di acqua. Sono stati quindi studiati ad umido con un microscopio stereoscopico. Lo studio è consistito nella determinazione a livello specifico delle forme di foraminiferi e tecamebe incontrate e la loro abbondanza è stata espressa in forma semiquantitativa.

Sebbene i foraminiferi trovati nei vari residui si presentassero in generale in buono o ottimo stato di conservazione, durante l'esame dei residui è stata comunque prestata attenzione alla presenza di "organic linings" di foraminiferi (ossia la parte organica più interna dei gusci dei foraminiferi), quali possibili indicatori di acque carbonato-aggressive (per esempio in ambiente intertidale di palude).

## 2.4. - ANALISI MICROPALAEANTOLOGICHE DEGLI OSTRACODI (N. Pugliese, M.E. Montenegro)

### 2.4.1. - *Materiali e metodi*

La gran parte delle specie di ostracodi è bentonica e vive in una vasta gamma di ambienti che vanno dal dominio continentale a quello marino profondo.

Sono stati analizzati dal punto di vista micropaleontologico 25 campioni di sedimento del sondaggio Torre di Mosto (TdM). I campioni sono stati trattati con acqua ossigenata 10 vol. e, successivamente, lavati attraverso un setaccio da 63 µm, eliminando così la frazione pelitica. La frazione sabbiosa è stata sottoposta



ad analisi microscopica per l'identificazione degli ostracodi. Inoltre, sono stati segnalati altri taxa (frammenti vegetali, foraminiferi, molluschi ecc.).

Gli ostracodi sono stati distinti in autoctoni (presenza contemporanea nel campione di individui adulti e giovani e/o di entrambi i sessi) e alloctoni (valve adulte isolate, valve di individui giovani, individui mal conservati).

L'identificazione dei pochi ostracodi trovati è stata eseguita basandosi sui lavori di KLIE (1938) e BONADUCE *et alii* (1975).

## 2.5. - ANALISI MACROPALEOANTOLOGICHE DELLE MALACOFAUNE (A. Lubiani)

### 2.5.1. - *Materiali e metodi*

I molluschi, comparsi come forme bentoniche marine già nell'Archeozoico, per la loro adattabilità e capacità evolutiva hanno progressivamente occupato tutti gli ambienti marini e continentali. I loro gusci di natura prevalentemente calcarea si prestano alla fossilizzazione e, se non hanno subito rimaneggiamento dopo la loro deposizione e si trovano nell'ambiente che frequentavano durante la vita, consentono di ottenere utili informazioni per le ricostruzioni paleo-ambientali. Le analisi sono state svolte su campioni prelevati dalle carote da A. Fontana, selezionando soprattutto livelli ove, macroscopicamente, le presenze organogeno-conchifere fossero percepibili visivamente.

Complessivamente sono stati studiati: 46 campioni provenienti da carotaggio Torre di Mosto (TdM), tra 5,35 e 84,5 m; 17 campioni dal sondaggio Concordia Teatro (CNC4) tra 19,55 e 50,7 m; 9 campioni dal carotaggio Valle Vecchia (VV) tra 3,50 m e 49,70m.

I risultati analitici sono presentati nelle tabelle in Appendice 6.

Circa altri 30 campioni sono stati raccolti da altre carote meno profonde e in scavi di cantieri descritti durante i rilevamenti di terreno, ma non sono riportati nel testo.

Se isolati, i resti di molluschi sono stati raccolti senza matrice; in vari livelli, invece, si è proceduto anche al campionamento di sedimenti che sono stati poi lavati e setacciati al fine di trovare anche esemplari di piccole dimensioni. La separazione dei reperti malacologici in depositi poco coesivi come sabbie, limi grossolani e torbe non ha richiesto particolari procedure. Invece, per i campioni argillosi e limosi, dopo un primo ammollo si è proceduto al lavaggio in vasca ad ultrasuoni, alternando questa azione con il lavaggio con pennello a setola lunga.

Dopo lavaggio e setacciatura con maglia da 400  $\mu\text{m}$ , sono state descritte le popolazioni malacologiche. Sono stati segnalati anche eventuali frammenti vegetali o presenza di granuli minerali. In base alle associazioni malacologiche e alle caratteristiche dei sedimenti che le inglobavano si è quindi indicato il possibile ambiente di sedimentazione in cui si deposero i resti dei molluschi.

### 3. - CAROTAGGI STRATIGRAFICI DEL PROGETTO CARG

#### 3.1. - CAROTAGGIO TORRE DI MOSTO (TdM)

Il carotaggio è stato effettuato presso Casa Ciani-Bassetti, in località Senzielli di Torre di Mosto (VE), a partire da una quota campagna di -1,4 m s.l.m. (coordinate WGS84: N45°37'18" - E12°45'20"). Il sondaggio è stato perforato tra il 29/09 e il 17/10 del 2003 da parte della sonda dei Servizi Forestali della Regione del Veneto e ha raggiunto 94,0 m di profondità dal piano campagna. È stato utilizzato un carotiere semplice con diametro interno di 88 mm e rivestimento metallico esterno di 127 mm. Purtroppo, l'abbondanza di strati sabbiosi lungo la carota ha limitato il numero di campioni significativi da un punto di vista micropaleontologico e palinologico.

##### 3.1.1. - *Analisi palinologiche* (A. Miola)

Sono stati analizzati 40 campioni che, secondo le profondità, possono essere raggruppati nei seguenti intervalli:

**94,0-71,0 m:** la concentrazione pollinica è bassa (<220.000 granuli/cm<sup>3</sup> di sedimento). Gli spettri sono caratterizzati da basse percentuali di AP (<30%) per la maggior parte *Pinus sylvestris/mugo*. Gli altri taxa sono *Betula*, *Picea*, *Abies*, *Alnus* e *Salix*. Rarissimi sono *Corylus*, *Ostrya*, *Fraxinus*, *Sambucus nigra*, *Ephedra fragilis*. Le erbacee sono rappresentate prevalentemente da poacee, *Artemisia*, chenopodiacee e asteracee. Questo quadro suggerisce un contesto climatico freddo e asciutto. La flora locale suggerita da macroresti (Appendice 4) e polline è tipicamente di ambienti umidi continentali con carici (semi e resti radicali di *Carex fusca*, *C. nigra*, *C. rostrata*) e piante igrofile di acqua dolce (semi e polline di *Menyanthes trifoliata*, *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea*). Tra i palinomorfi non pollinici sono molto abbondanti due taxa, il type 303 e il type 128, molto frequenti nelle torbe della pianura veneto-friulana dell'ultimo massimo glaciale (LGM) in contesti sedimentari periodicamente allagati (MIOLA *et alii*, 2006a).

**69,0-68,0 m:** la percentuale di AP presenta il più elevato valore di tutta la sequenza (90%) ed anche se è associata ad una concentrazione pollinica bassa (<100.000 granuli/cm<sup>3</sup>), si ritiene sia indicativa di una fase forestale. Infatti la qualità del sedimento, prevalentemente inorganico, non esclude un tasso di sedimentazione elevato e di conseguenza una "diluizione" della pioggia pollinica. Gli spettri sono caratterizzati dalla dominanza di *Picea*, *Fagus* e *Abies*. La presenza di conifere è documentata da frammenti di tessuto vascolare con punteggiature areolate. Le latifoglie termofile (*Quercus*, *Carpinus*, *Tilia* e *Corylus*) sono rare. Questo contesto suggerisce un clima di tipo temperato fresco e piovoso.

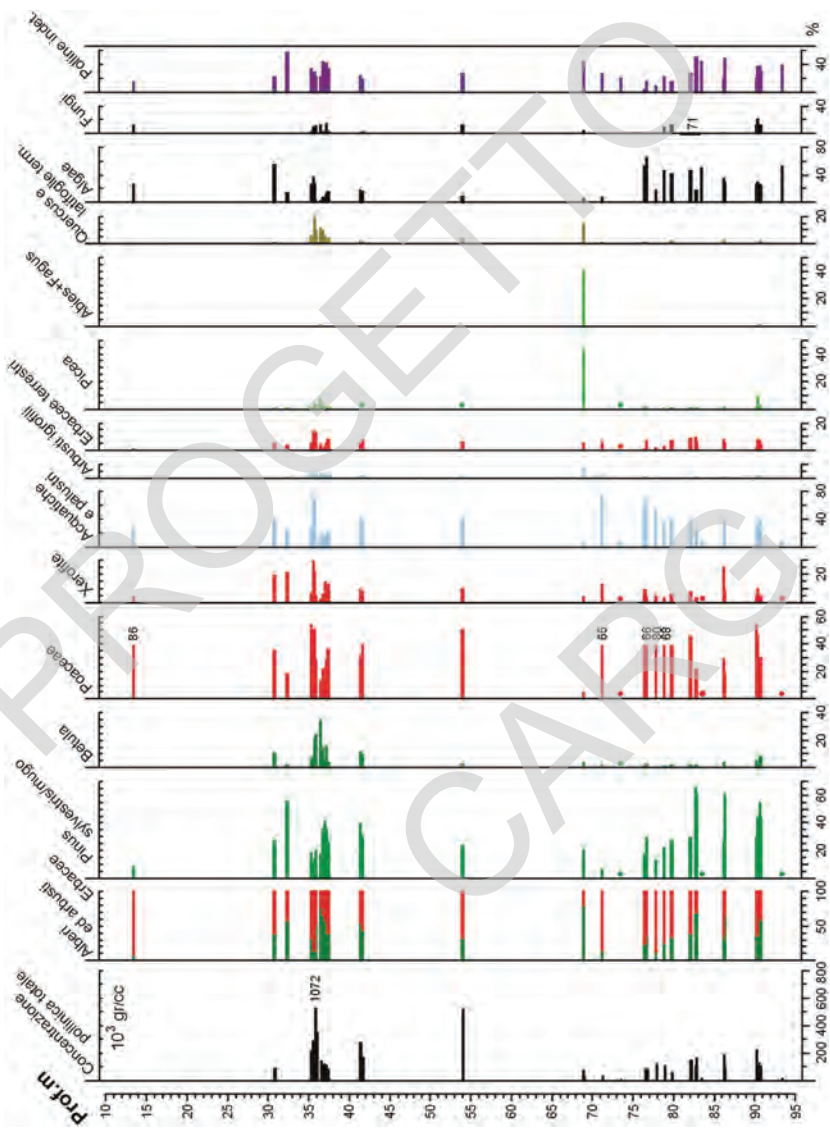


Fig. 29 - Diagramma pollinico del carotaggio Torre di Mosto.

**54,0-41,0 m:** la percentuale di AP si abbassa notevolmente (35%) e ritorna il pino dominante tra gli alberi. Tra le arboree è però presente sia quercia che carpino e tiglio (51 m). Poacee ed erbacee xerofite sono dominanti. La situazione climatica è peggiorata rispetto ai livelli sottostanti, pur persistendo alcuni elementi di clima temperato. Le erbacee acquatiche e palustri sono rappresentate da generi di piante che vivono preferibilmente in ambienti di acqua dolce (*Typha angustifolia*, *Sparganium erectum* ed alcune specie di *Potamogeton*). Non è stato individuato alcun *taxon* di piante e di NPP che vivano esclusivamente in ambienti salmastri.

**37,0-35,0 m:** in questo strato si registrano le più alte concentrazioni polliniche. La percentuale di AP presenta delle variazioni. Si osservano in successione l'aumento del pino e della betulla poi delle latifoglie (soprattutto quercia) e all'abete. Nell'ultimo livello sembra ricominciare il ciclo con la prevalenza di NAP e con pino e betulla come unici elementi arborei. In questi livelli si osserva la maggior varietà di tipi pollinici dell'intera sequenza sia tra le arboree che tra le erbacee. Le piante acquatiche (*Nymphaea*, *Potamogeton*, *Stratiotes*) e di palude (Cyperaceae, *Typha angustifolia* type) sono decisamente dulciacquicole.

**32,0-13,0 m:** la concentrazione pollinica totale torna a livelli più bassi. La percentuale di AP tende a diminuire, prevalgono pino e betulla. Le latifoglie termofile sono molto rare nei primi due livelli e scompaiono nel più superficiale. Piante erbacee ed arbustive eliofile e di ambiente arido caratterizzano la componente erbacea della flora pollinica. La situazione climatica diventa più fredda ed asciutta. La vegetazione erbacea locale è tipicamente continentale.

### 3.1.2. - *Analisi dei foraminiferi* (A. Asioli)

Per questo pozzo sono stati esaminati 63 campioni su tutta la lunghezza. I seguenti cinque intervalli sono stati riconosciuti (Fig. 30):

**70,5-94,0 m:** residui costituiti principalmente da frustoli vegetali tra 70,5 e 86,5 m e da terrigeno micaceo con rari frustoli vegetali tra 86,5 a 94,0 m. Pirite talora diffusa in sferule e clasti ossidati. Sono presenti ostracodi e resti di gasteropodi tra 83,5 e 84,5 m, mentre i foraminiferi sono assenti. Questo intervallo è riconducibile ad ambiente continentale.

**70,5-61,0 m:** residui costituiti da abbondanti frustoli vegetali o da sabbia fine, presenza di ostracodi, gasteropodi e valve di lamellibranchi. I foraminiferi sono comuni con *A. beccarii*, *A. beccarii tepida*, *E. granosum-decipiens*, *Nonionella turgida*, *A. perlucida*, *N. terquemi*, *Buccella granulata frigida*, *Q. seminulum* mentre sono presenti, generalmente rari o rarissimi *N. depressulum*, *A. mamilla*,

Fig. 30 - Schema di sintesi per i sondaggi Torre di Mosto e Valle Vecchia. È riportata a fianco una curva indicativa della paleobatimetria desunta dalle associazioni a foraminiferi bentonici.



*E. crispum*, *E. advenum*, *E. poyeanum*, *Ammonia papillosa*, *Cibicides lobatulus*, *Guttulina communis*, *Textularia agglutinans*, *T. trigonula*, *C. involvens*, *Q. oblonga*, *A. longirostra*, *Miliolinella subrotunda*, *Triloculina tricarinata*, *Wiesnerella auriculata*, *Spiroloculina grata*, *Quinquoluculina agglutinans*. Questa associazione è riferibile alla biofacies II e III nella metà inferiore dell'intervallo, con passaggio alla zona più interna della fascia dei limi nella metà superiore dell'intervallo. Inoltre, nei due campioni più bassi (69,80-69,82 m e 70,37-70,39 m) si registra la presenza di microfauna talora non in buono stato di conservazione (gusci rotti/ossidati), in quanto rielaborati dalla *ravinement surface*.

**61,0-54,5 m:** residui costituiti da abbondanti frustoli vegetali o da sabbia fine apparentemente ben cernita, pirite sparsa in sferule. Foraminiferi rari, dispersi nel residuo e talora rotti con *A. beccarii*, *E. advenum*, *A. veneta*, *A. perlucida*, *Q. seminulum*, *E. crispum*, *Neoconorbina terquemi*, *E. decipiens-granosum*, *N. depressulum*, *A. mamilla*, *Cornuspira involvens*, individui giovani di *Adelosina*, *Spiroloculina* e *Miliolinella*. Questa associazione potrebbe essere correlabile con la biofacies III (piattaforma interna con presenza di vegetazione), tuttavia la forte scarsità di individui ed il loro stato di conservazione non esclude che i foraminiferi rinvenuti non siano in situ.

**54,5-7,7 m:** residui con abbondante sabbia fine, talora ben cernita, frustoli vegetali (abbondanti tra 7,5 e 13,5 m), foraminiferi assenti, presenza di ostracodi e resti di gasteropodi. I campioni analizzati tra 41-46 m non sono risolutivi e sono caratterizzati da sabbia fine bianca, ben cernita, senza frustoli e sterile. È stato riconosciuto qualche cristallo di gesso a 41,5 m, ma potrebbe essersi formato anche dopo la realizzazione del carotaggio.

**7,7-2,5 m:** residui con abbondanti frustoli vegetali, foraminiferi comuni con *A. beccarii tepida*, *A. beccarii*, *H. germanica*, *Pseudoeponides falsobeccarii*, *Ammoscalaria pseudospiralis*, mentre *T. inflata* e *J. macrescens* e *organic linings* probabilmente riferibili ad *A. beccarii* costituiscono l'associazione nel livello più alto (2,5-2,52 m). Questa associazione, di età tardo olocenica (Fig. 31), è riferibile ad ambiente paralico (laguna iposalina) mentre l'associazione a foraminiferi agglutinanti *T. inflata* e *J. macrescens* nel livello più alto indica un ambiente intertidale (palude media) con pH basso (presenza degli *organic linings*).

### 3.1.3. - *Analisi degli ostracodi* (M.E. Montenegro, N. Pugliese)

Nello studio della carota TdM le analisi degli ostracodi sono state poche e sono servite essenzialmente per investigare depositi che, sulla base delle caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche, erano presumibilmente di ambiente continentale e quindi sterili per i foraminiferi; si tratta spesso anche di livelli torboso organici. Per questi motivi si è potuto analizzare un numero limitato di campioni e in vari casi questi sono risultati sterili o poco significativi.

Di seguito vengono descritti i singoli campioni e, quando possibile, ne viene fornita l'interpretazione paleoambientale.

**93,99-94,00 m:** sedimento fine, con abbondanti frammenti di molluschi continentali.

**86,22-93,43 m:** campioni scarsamente fossiliferi ma che potrebbero testimoniare ambienti umidi continentali. In particolare si tratta di torbe sterili a 86,22-86,24 m, 90,23-90,25 m, 90,83-90,85 m e 93,41-93,43 m.

**84,12-84,14 m:** sabbia fine scura, con abbondanti frammenti di gasteropodi continentali e rari opercoli piritizzati, ostracodi (2 individui autoctoni di *Ilyocypris mostrifica*, di cui una piritizzata ed un individuo piritizzato di *Candona candida*).

**83,54-83,56 m:** sabbia fine con rari opercoli e frammenti di gasteropodi continentali.

**77,05-77,06 m:** torba, con rarissimi frammenti di gasteropodi e rarissime forme giovanili di ostracodi (*Candona ? fragilis*).

**73,53-73,55 m:** sabbia fine scura con resti vegetali, frammenti di molluschi e rari ostracodi (2 individui autoctoni di *Ilyocypris brady* e abbondanti forme giovani di *Candona* sp.).

**71,25-71,27 m:** sabbia fine, con abbondanti frammenti vegetali e di gasteropodi continentali, rari ostracodi (1 individuo autoctono di *Cyclocypris* cf. *C. serena*, frammenti di Candonidae e di *Ilyocypris*).

A partire da 71,25 m fino a 84,14 m, i campioni sono tipici di ambienti continentali d'acqua dolce, come lo testimoniano gli ostracodi quando presenti e i frammenti di altri taxa (molluschi).

**62,95-62,97 m:** sabbia fine, con frammenti vegetali, abbondanti foraminiferi, rari ostracodi (3 individui autoctoni di *Palmoconcha turbida*, 1 individuo autoctono di *Cytherois fisheri*, mute giovani di *Semicytherura incongruens*, *Semicytherura sulcata*, *Paradoxostoma ? simile*), rari radioli di echinide e molluschi (gasteropodi e bivalvi) interi e in frammenti. Questo campione è marino costiero. La fauna ad ostracodi, anche se poco abbondante, potrebbe indicare la vicinanza di apporti dulcicoli.

**54,04-54,05 m:** sabbia grossolana con rarissimi frustoli vegetali. Nessuna interpretazione paleoambientale.

**68,87-68,89 m:** livello torboso, con rarissimi foraminiferi. La scarsità dei resti fossili non consente interpretazioni certe; potrebbe trattarsi di un ambiente umido costiero in vicinanza del mare (rinvenimento di Miliolidae).

**38,95-38,96 m:** sabbia fine chiara, con resti vegetali.

**38,58-38,60 m:** sabbia fine con frustoli vegetali.

**38,10-38,12 m:** sabbia medio-fine, con qualche resto vegetale.

Sono risultati sterili i campioni di torbe a 36,75-36,78 m; 37,07-37,09 m; 37,23-37,25 m, 38,08-38,10 m.

**37,70-37,72 m:** torba con girogoniti di Charophyta.

**37,52-37,53 m:** sterile, eccettuati rari frammenti di molluschi.

**36,40-36,42 m:** sabbia fine con frustoli vegetali.

**30,79-30,80 m:** torba con rarissimi opercoli di gasteropodi.

**26,92-26,94 m:** torba con frammenti d'insetti.

Tra da 26,92 m fino 38,95 m, l'evoluzione paleoambientale è di tipo continentale (ambienti di piana alluvionale), anche se le prove paleontologiche sono scarse.

### 3.1.4. - *Analisi macropaleontologiche*

(A. Lubiani)

I campioni del sondaggio TdM corrispondono in vari casi a singoli esemplari, mentre in un minor numero di situazioni si sono potute riconoscere delle associazioni di molluschi.

**84,5-76,0 m:** molluschi tipici di acque dolci che vivono sopra vegetazione sommersa.

**70,5-55,0 m:** associazioni tipiche di ambiente marino; in alcuni casi, specie verso la parte sommitale dell'intervallo, sono presenti anche faune che vivono anche in acque salmastre e che potrebbero indicare la vicinanza di apporti d'acqua dolce o talvolta condizioni salmastre.

**54,2-47,2 m:** molluschi di ambiente salmastro, più frequenti fino a 48,5 m, che indicano il passaggio ad acque ancora meno salate rispetto agli strati sottostanti.

**36,5-8,4 m:** indicatori di ambiente continentale con presenza di specie tipiche dei prati e delle rive dei corsi d'acqua, ma anche di faune che vivono sulla vegetazione sommersa.

**7,7-5,35 m:** faune tipiche di ambiente salmastro.

### 3.1.5. - *Descrizione sedimentologica e correlazioni stratigrafiche*

(A. Fontana, R. Avigliano, F. Massari, A. Miola)

Data la sua relativa lunghezza, questo carotaggio rappresenta il sondaggio stratigrafico di riferimento all'interno del Foglio. La sequenza litologico-stratigrafica di dettaglio, a partire dal fondo, può essere suddivisa nei seguenti intervalli:

**94,0-70,5 m:** alternanze centimetriche e decimetriche di limi, limi argillosi e, secondariamente, di sabbie limose e sabbie fini che raggiungono lo spessore massimo di 1,4 m tra 87,8-86,4 m. Presenza di orizzonti torbosi e organici, a 73,5 m, 76,5 m, 77,2 m, 82,1 m, 83,0 m, 86,2 m, tra 90,0 e 91,0 m, 93,4 m. Suoli poco sviluppati a 83,5 m, 90,8 m e 93,4 m. Tra 83,5 e 86,0 m argille organiche fortemente bioturbate, ricche di gasteropodi di acqua dolce, interpretabili come depositi di palude di bassa profondità. Indizi di esposizione subaerea anche al



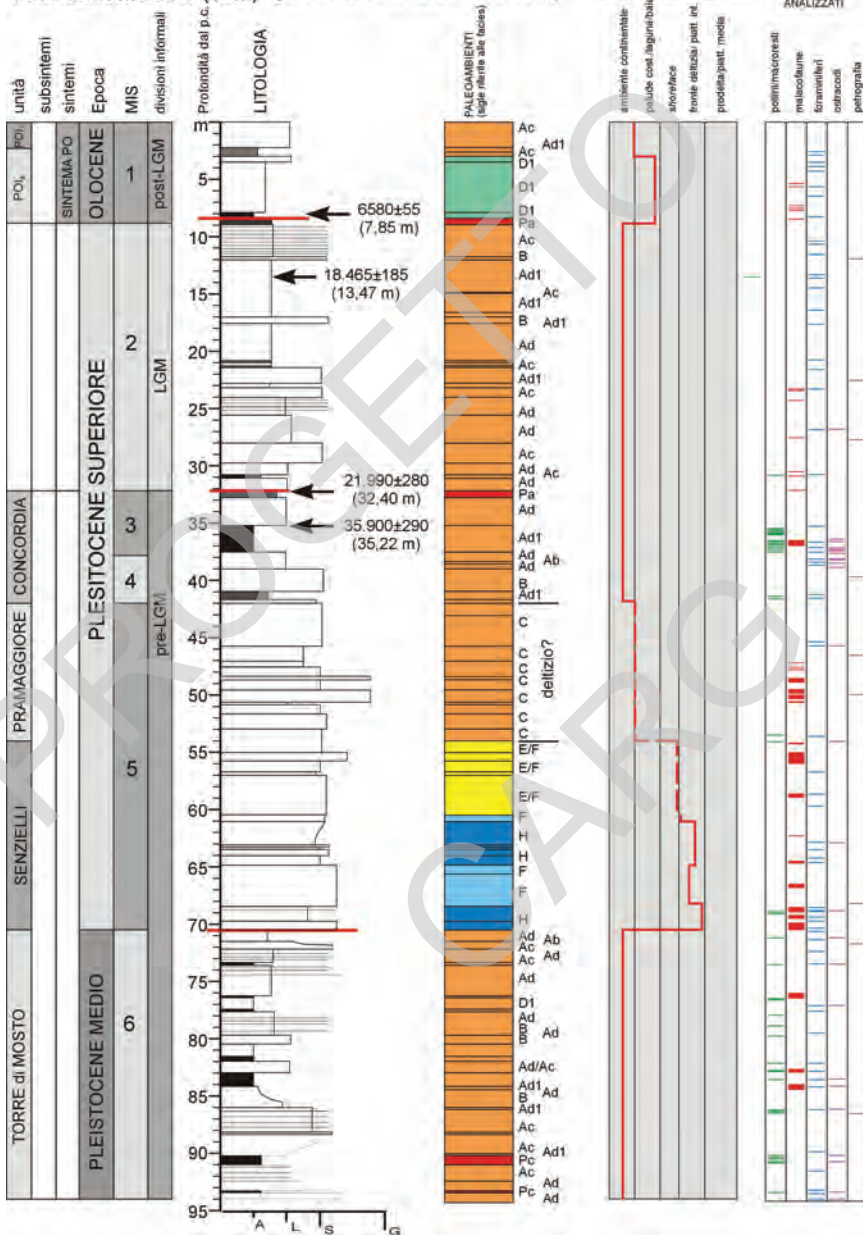
**TORRE DI MOSTO (TdM) [N45°37'18" - E12°45'20"; -1,4 m s.l.m.]**


Fig. 31 - Log stratigrafico del carotaggio Torre di Mosto

tetto dell'intervallo (abbondanti tracce di radici), che però è stato fortemente eroso dall'instaurarsi dell'ambiente marino soprastante.

L'intervallo è interpretato come una serie di depositi alluvionali di piana d'esonazione, *crevasse splay* e argine naturale correlati a fiumi con andamento *braided* di tipo sabbioso; le facies sono confrontabili con quelle formatesi durante il *LGM* nella bassa pianura veneto-friulana.

I dati micropaleontologici e malacologici indicano un ambiente continentale, talvolta con presenza di torbiere caratterizzate da vegetazione di clima freddo e asciutto. Secondo gli studi pollinici questo tratto di sequenza presenta caratteri simili a quelli della zona 13 nelle sequenze VE I e VE I bis (MULLENDERS *et alii*, 1996), che si presentano in facies continentale e precedono la zona 14 attribuita all'interglaciale Eemiano. Come negli spettri di TdM, anche nelle sequenze veneziane la presenza dominante nel AP è quella del pino, che comunque è sopravanzato dalle erbacee (Poaceae e *Artemisia*) in almeno tre fasi a TdM e in quattro fasi a Venezia. Nella revisione di MASSARI *et alii* (2004), la stessa zona viene attribuita allo stadio isotopico marino (MIS 6).

Le associazioni riconosciute in TdM sono del tutto simili a quelle della zona pollinica S10 individuata nel carotaggio Azzano Decimo, correlata al MIS 6 (PINI *et alii*, 2008a; 2009); si correlano anche ai sedimenti continentali presenti alla base di sequenze marine individuate nella pianura padana e romagnola (carote 223-S17, 240-S8, 240-S13; AMOROSI *et alii*, 2004).

Nel caso del TdM si tratta delle alluvioni deposte durante il penultimo ciclo glaciale (Riss *Auctorum*), quando le fronti dei ghiacciai alpini stazionavano.

**70,5-68,45 m:** intervallo di sabbie limose passanti a limi argillosi da 69,85 m, marcato alla base da una evidente *ravinement surface*, caratterizzata da icnofacies tipo *Glossifungites*, che rappresenta l'arrivo della trasgressione tirreniana. Anche sulla base dell'associazione di foraminiferi e della presenza di *Turritella* e *Scafopoda* sono interpretati come depositi di piattaforma interna.

I campioni pollinici posti a 68,87 m e 68,96 m denotano una relativa abbondanza della specie *Fagus* come segnalato in altri carotaggi dell'area padano-veneta. Infatti, lo sviluppo di una vegetazione forestale con elementi boreali è segnalata nei pozzi veneziani (MULLENDERS *et alii*, 1996) e in quelli romagnoli (AMOROSI *et alii*, 2004) ed attribuita all'interglaciale Eemiano. In particolare, la zona 14 delle sequenze veneziane (VE I 78-62 m; VE Ibis 74-61 m; VE II 76-63 m) è caratterizzata dalle percentuali di faggio più alte di tutta la sequenza. Nelle tre sequenze romagnole la fase eemiana basale (es. 223-S17, 128-120 m), segnalata dall'espansione della foresta a latifoglie termofile, è seguita da una fase caratterizzata dallo sviluppo della foresta boreale, indicatrice di condizioni climatiche temperato-fresche e oceaniche con precipitazioni anche estive (es. 223-S17, 120-112 m; AMOROSI *et alii*, 2004).

**68,45-64,9 m:** sabbie fini da debolmente limose a limose, disposte in strati da centimetrici a decimetrici con rari banchi pluridecimetrici. Presenza di rari bioclasti corrispondenti a frammenti di molluschi d'ambiente salato. Alla base è riconoscibile una superficie erosiva che potrebbe essere legata ad una caduta del

livello eustatico (RMSE: *Regressive Marine Surface of Erosion*) o all'attivazione di lobi deltizi in prossimità della zona del carotaggio. I sedimenti sono interpretati come depositi di *deltafront*.

**64,9-61,0 m:** limi debolmente sabbiosi, sabbie fini limose tra 63,6-64,0 m e poi limi argillosi passanti a limi debolmente sabbiosi. Alla base abbondante presenza di gasteropodi e bivalvi marini che divengono rari sopra 64,0 m; le associazioni micropaleontologiche indicano un ambiente di piattaforma interna della fascia dei limi.

**61,0-54,1 m:** alternanze centimetriche o decimetriche di sabbie fini, limi sabbiosi e secondariamente limi, marcato alla base da una superficie erosiva che potrebbe essere legata ad una caduta del livello eustatico (RMSE) o all'attivazione di lobi deltizi in prossimità della zona del carotaggio. Tra 55,0-55,75 m sabbie fini limose con abbondanti frammenti di bivalvi e gasteropodi marini e rari ciottoli calcarei dispersi nella matrice (diametro massimo 1,5 cm), questi ultimi arrotondati e caratterizzati da fori millimetrici di litodomi.

L'associazione micropaleontologica e le facies deposizionali sono compatibili con un ambiente di fronte deltizia.

**54,1-50,4 m:** livelli di sabbie fini centimetrici e decimetrici alternati con limi sabbiosi talvolta debolmente organici. L'analisi petrografica delle sabbie indica una composizione percentualmente ricca in rocce vulcaniche e metamorfite (si veda il Paragrafo VI.4). Tra 50,5-51,4 m sabbie fini con presenza di rari clasti arrotondati pluricentimetrici di sabbie cementate. Alcuni clasti torbosi centimetrici si trovano tra 53,5-54,0 m e a 54,1-54,3 m è presente un orizzonte torboso molto compatto con all'interno gasteropodi continentali. Lo spettro pollinico di questo orizzonte è caratterizzato da una forte diminuzione di AP, con prevalenza di pino, indicando clima in condizioni più fredde e aride, sottolineato anche dall'aumento di xerofite e poacee. È possibile che tale strato si sia formato durante un periodo caratterizzato da condizioni temperate fredde coincidente con uno stadiale (MIS 5d o 5b) ma, data la sua posizione all'interno della sequenza e l'aspetto della carota, è ipotizzabile che si tratti di un clasto di torbe eroso da intervalli più bassi della serie stratigrafica (es. sedimenti alluvionali del MIS 6) e risedimentato in depositi alluvionali.

Per assenza di malacofaune marine e di microfossili, pur essendo caratterizzato da facies sedimentologiche confrontabili con depositi tipo *deltafront*, si ipotizza che questo intervallo corrisponda a depositi continentali.

**50,4-41,7 m:** intervallo marcato alla base da una superficie erosiva sopra cui, fino a 48,4 m, vi sono ghiaie molto fini (2-3 mm) e sabbie da grosse a medie con limitato arrotondamento, caratterizzate da una composizione percentualmente ricca in rocce vulcaniche e metamorfite; le sabbie hanno una notevole componente micacea, soprattutto muscovitica (vedi Paragrafo VI.4); presenza in questi orizzonti grossolani di frammenti di molluschi di ambiente salmastro e di gusci interi di gasteropodi dulciacquicoli; abbondanza di resti vegetali e frammenti di legno. Sopra 48,4 m si riconosce un'alternanza ripetuta tra strati di sabbie medio-fini massive e laminazioni centimetriche di sabbie fini e limi sabbiosi.

Individuati rarissimi frammenti millimetrici di molluschi marini fino a 46,2 m. Come per quello sottostante, data l'assenza di microfossili marini, si ipotizza che questo intervallo sia costituito da depositi fluviali, che forse hanno rielaborato sedimenti lagunari posti più a monte.

Nel complesso, tra 54,0-42,0 m, da un punto di visto micropaleontologico non vi sono indicazioni di ambiente marino. La presenza di intervalli grossolani con abbondanza di macroresti vegetali testimonia probabilmente di un ambiente alluvionale, forse in prossimità di area deltizia.

Secondo i dati biostratigrafici e stratigrafici è ipotizzabile un inquadramento dei sedimenti superiori a 54,0 m nei substage del MIS 5 successivi al 5e. In questo caso sarebbero correlabili geometricamente e stratigraficamente con gli strati individuati a profondità comparabili nei pozzi veneziani e attribuiti ai substadi del MIS 5. Ad esempio i sedimenti a 59,0-57,0 in VE I bis m e a 60,0-51,0 m in VE II attribuiti al MIS 5c (MÜLLENDERS *et alii*, 1996) e quelli a 52,0-46,0 m nel carotaggio BH2 attribuiti al MIS 5a (CANALI *et alii*, 2007).

**41,7-37,5 m:** depositi argilloso-limoso organici con frammenti vegetali e resti di gasteropodi di palude alluvionale, anche abbondanti, fino a 41,0 m; vi sono poi alternanze centimetriche di sabbie fini e limi sabbiosi fino a 39,0 m e poi da limi con tracce di radici che corrispondono probabilmente a depositi di piana d'esonazione e *crevasse splay*. Al tetto si riconoscono concrezioni carbonatiche e presenza di tracce di radici; le concrezioni sono correlabili alla dissoluzione, migrazione e precipitazione di carbonati per azione degli acidi umici liberati dal potente intervallo organico soprastante.

Le analisi polliniche rilevano presenza di piante acquatiche, xerofite e altre flore indicative di clima temperato freddo, già da 41,0 m. Questi dati indicano l'appartenenza della base dell'intervallo al MIS 4.

**37,5-35,20 m:** torbe e limi fortemente organici notevolmente consolidati e con laminazione millimetrica molto evidente. Il top (35,22 m) è stato datato col metodo del radiocarbonio a  $35.900 \pm 290$  anni  $^{14}\text{C}$  BP. Al tetto dell'intervallo sottostante si riconoscono concrezioni carbonatiche e presenza di tracce di radici; anche in questo caso le concrezioni sembrano correlabili alla presenza delle torbe. L'intervallo trova un'ottima corrispondenza stratigrafica e palinologica nell'intervallo 36,0-39,2 di CNC; correlazioni possono essere effettuate anche con l'intervallo 36,5-39,0 m di VV e con parte dell'intervallo 29,5-34,8 in LUG. Corrisponde ad una stasi sedimentaria perdurata verosimilmente per alcune migliaia di anni, durante la quale l'area è stata occupata da estese aree paludose.

Gli spettri pollinici presentano andamenti simili sia a quelli delle sequenze veneziane (zone 16a, 16b e 16c di MÜLLENDERS *et alii*, 1996) che a quelli delle sequenze romagnole (223-S17 70-35 m di AMOROSI *et alii*, 2004) nei tratti successivi agli strati correlati al MIS 5. Il numero di campioni di questo intervallo consente di riconoscere l'esistenza di variazioni climatiche, ma non di apprezzarne a pieno l'evoluzione.

**35,2-32,3 m:** alternanze di limi e limi-argillosi, interpretati come depositi di piana d'esonazione, caratterizzati al tetto da un paleosuolo ben sviluppato, con concrezioni carbonatiche centimetriche e conservazione di parte degli orizzonti superficiali, datati a  $21.990 \pm 280$  anni  $^{14}\text{C}$  BP. Il profilo pedologico da inceptisuolo (B-Bwg-Bk-Ck) indica una prolungata esposizione subaerea che corrisponde ad una stasi sedimentaria che è durata nella zona fino all'arrivo dei sedimenti del *LGM*.

**32,3-8,4 m:** alternanze centimetriche e decimetriche di limi, limi argillosi e, secondariamente, sabbie limose e sabbie fini. Orizzonti torbosi e limosi organici da centimetrici a decimetrici a 30,8 m, 26,8 m, 27,2 m, 24,2 m, 21,5 m, 20,7 m, 17,6 m, 16,85 m, 15,55 m, 14,5 m, 14,1 m, 13,4 m, 13,15 m; spesso al loro interno si trovano frammenti vegetali, fra cui resti di briofite e resti di gasteropodi d'acqua dolce, fra cui opercoli. I pollini indicano una vegetazione di ambiente freddo e secco, come frequentemente individuati nella pianura veneto-friulana a profondità comparabili e riferiti al *LGM* (MIOLA *et alii*, 2006a; 2006b). La datazione di un intervallo torboso a 13,47 m ha fornito una datazione di  $18.465 \pm 185$  anni  $^{14}\text{C}$  BP.

Al tetto dell'intervallo si riconosce un suolo calcico ben evoluto (profilo A/B-Bg-Cg-Ck), che con l'orizzonte Ck giunge a 11,5 m, ed è correlabile con il cosiddetto "caranto". Tale suolo è il prodotto dell'esposizione subaerea tra la fine del *LGM* (circa 18.000-15.000 a.C.) e la formazione della laguna olocenica attorno al 5000 a.C. l'intervallo è costituito da depositi alluvionali di piana d'esonazione, *crevasse splay* e argine naturale correlati a corsi *braided/wandering* di tipo sabbioso attivi durante il *LGM*.

**8,4-7,8 m:** argille organiche con abbondanti macroresti vegetali, frammenti di gasteropodi continentali e tracce di radici. Sono interpretati come depositi di palude d'acqua dolce legata alla stagnazione delle acque superficiali per effetto della trasgressione marina. Questo strato si è formato inglobando l'orizzonte A del suolo sviluppato sui depositi alluvionali sottostanti ed è stato poi sommerso dalla laguna. La datazione della testa ha fornito un'età di  $6580 \pm 55$  anni  $^{14}\text{C}$  BP che corrisponde al momento di impostazione dell'ambiente lagunare.

**7,8-3,5 m:** argille e argille limose di ambiente lagunare separate dalla sequenza di piana alluvionale sottostante da una superficie erosiva su cui si trovano anche macroresti legnosi. Comune presenza di frammenti vegetali, di molluschi e associazioni micropaleontologiche di ambiente salmastro (*Cerastoderma glaucum*, *Loripes lacteus*, *Bittium*).

**3,5-2,9 m:** alternanze centimetriche di limi sabbiosi e sabbie fini corrispondenti a depositi di dosso fluviale del fiume Livenza di età post-romana e prerinascimentale.

**2,9-0,0 m:** torbe e argille organiche passanti verso il tetto a limi e limi argillosi; abbondanti frammenti vegetali e tracce di radici. Depositati di palude salmastra soggetta a regime intertidale e probabilmente influenzata da input di acqua dolce; la superficie è stata bonificata artificialmente alla fine del XIX secolo.

### 3.2. - CAROTAGGIO CONCORDIA TEATRO (CNC4-Teatro)

Questo carotaggio è stato effettuato nel parco pubblico di Via dei Pozzi romani di Concordia, a partire da una quota campagna di 2,0 m s.l.m. (coordinate WGS84: N45°45'34" - E12°50'28"). Il sondaggio è stato perforato nei giorni 18-21/08/2003 e ha raggiunto 51,5 m di profondità dal piano campagna. È stato utilizzato un carotiere semplice con diametro interno di 88 mm e rivestimento metallico esterno di 127 mm.

L'area è situata a pochissima distanza dal margine dello scavo archeologico che ha indagato il teatro d'epoca romana, presso cui sono state documentate anche fasi di insediamento riferibili alla prima età del Bronzo (CROCE DA VILLA & BALESTRAZZI, 2001).

#### 3.2.1. - *Dati palinologici e paleobotanici* (A. Miola)

Sono stati analizzati 19 campioni che, secondo la profondità, possono essere raggruppati nei seguenti intervalli:

**44,0-36,0 m:** la percentuale di AP è variabile (AP 40-80%). Gli spettri presentano componenti e variazioni simili a quelle dello strato 37,0-35,0 m di TdM. I due spettri inferiori documentano una tendenza al miglioramento climatico e la vicinanza della linea di costa (presenza di resti organici dei foraminiferi) mentre il gruppo di spettri superiore documenta un ciclo pressoché completo di una variazione climatica.

**29,0-4,0 m:** gli spettri pollinici dei livelli esaminati sono caratterizzati da percentuali variabili di AP (20-60%), ma *Pinus* è sempre prevalente e le latifoglie termofile sono assenti, o molto rare nel livello superiore. Le poacee e le xerofite sono le erbacee più frequenti. La situazione climatica che gli spettri suggeriscono è temperato fredda e arida. Polline e macroresti di ciperacee e macroresti di funghi bruni (*Scorpidium scorpioides*) suggeriscono un ambiente di sedimentazione continentale, periodicamente allagato.

**4,0-0,0 m:** *Quercus* e le altre latifoglie (*Carpinus*, *Ulmus* e *Ostrya*) oltre ad alcuni elementi del bosco igrofilo come *Alnus glutinosa* prevalgono nella componente arborea. Le erbacee terrestri sono rappresentate soprattutto da poacee e asteracee e da molti altri taxa anche se singolarmente poco numerosi. Il polline indeterminabile (granuli rotti, ripiegati, degradati e frammenti di polline di Pinaceae), le spore fungine di *Glomus* cf. *fasciculatum* e i frammenti di foraminiferi sono molto abbondanti. È stato inoltre registrato un notevole numero di spore fungine del type 351, indicatore di presenza umana sul territorio (VAN GEEL *et alii*, 1980-81). Questo spettro sembra essere legato ad un miglioramento climatico (aumento delle latifoglie), un avvicinamento della linea di costa (foraminiferi) e la diffusione nel territorio della presenza umana.

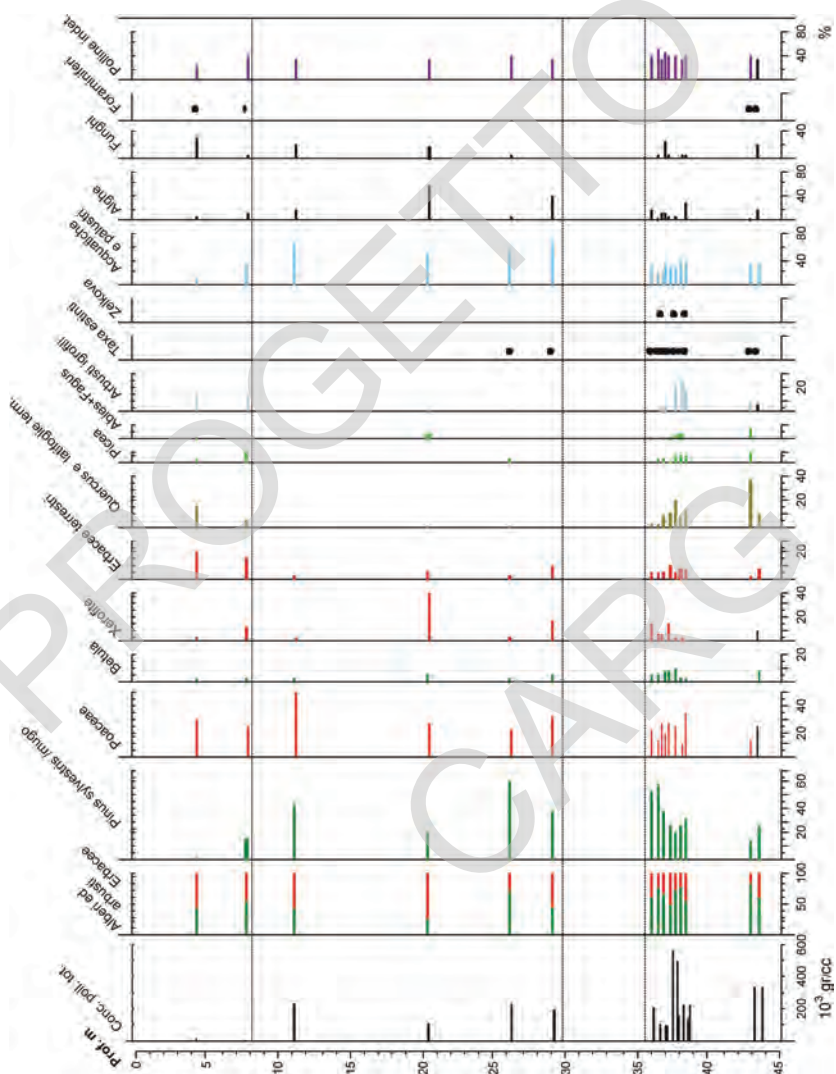


Fig. 32 - Diagramma pollinico del carotaggio Concordia (CNC4).

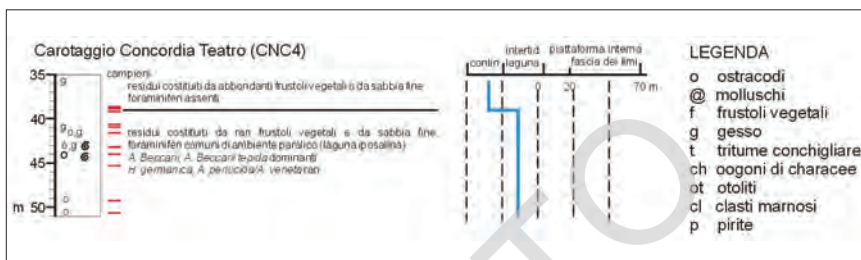


Fig. 33 - Schema di sintesi per il carotaggio Concordia (CNC4). Sono riportate le età  $^{14}\text{C}$  non calibrate (vedi Appendice 5) e a fianco di ciascun pozzo una curva indicativa della paleobatimetria desunta dalle associazioni a foraminiferi bentonici.

### 3.2.2. -Dati micropaleontologici (A. Asioli)

Per questo pozzo sono stati esaminati 11 campioni provenienti dalla parte bassa (da 38,0 a 51,0 m). La parte esaminata è sostanzialmente divisibile in due intervalli (Fig. 28):

**39,0-50,0 m:** residui costituiti da rari frustoli vegetali e da sabbia fine talora ben cernita. I foraminiferi sono generalmente comuni *A. beccarii* e *A. beccarii tepida* dominanti, *H. germanica* rara, *A. perlucida* e *A. veneta* rare.

L'intervallo più basso è senz'altro riconducibile ad un ambiente paralico (laguna iposalina) o di prodelta di acque molto basse, a differenza di quello superiore che, privo di foraminiferi e tecamebe, potrebbe rappresentare ancora un ambiente paralico, ma anche continentale. Per una discussione sull'attribuzione di questi depositi si veda il Paragrafo relativo alle correlazioni.

**38,0-39,0 m:** residui costituiti da abbondanti frustoli vegetali e da sabbia fine, foraminiferi assenti.

### 3.2.3. -Dati macropaleontologici (A. Lubiani)

Dal fondo del carotaggio fino a 38,75 m sono presenti faune tipicamente lagunari (*Cerastoderma*, *Loripes*, *Nassarius*, *Rissoa*, *Abra* sp., *Ventrosia ventrosa*, *Hydrobia acuta*) cui si alternano due intervalli a 44,0-41,0 m in cui sono presenti specie di acque dolci. Si tratta di specie che potevano vivere anche sulle barene oppure al limite della frangia lagunare come *Fluviatilis textudinarius*, *Planorbis* e *Assiminea*.

Da 38,75 m fino alla superficie le specie di molluschi testimoniate sono tutte tipiche di ambienti continentali dulciacquicoli.



3.2.4. -*Descrizione sedimentologica, sintesi stratigrafica e correlazioni*  
(A. Fontana, R. Avigliano, A. Miola, F. Massari)

**51,0-45,2 m:** alternanze di limi sabbiosi e sabbie fini limose in strati da pluricentimetrici a decimetrici. Dal fondo a 49,1 m sabbie con presenza di laminazioni incrociate dovute a strutture trattive tipo *ripple* e poi fino a 48,4 m limi sabbiosi debolmente organici fortemente bioturbati.

In tutto l'intervallo vi sono esemplari di molluschi tipicamente lagunari, più abbondanti sopra 48,0 m. Probabile sequenza di canale lagunare o canale delizios distributore in ambiente lagunare. Al tetto, tra 45,2-45,35 m limi argillosi organici con abbondanti tracce di bioturbazioni e, in profondità fino a 46,4 m, concrezioni carbonatiche e tracce di radici; corrisponde a un suolo debolmente sviluppato che indica un periodo di parziale emersione della zona.

**45,2-43,6 m:** dalla base a 44,0 m limi argillosi in strati centimetrici con presenza di concrezioni carbonatiche millimetriche e tracce di radici; da 44,0 a 43,6 m limi torbosi con abbondanti macroresti vegetali millimetrici e rari frammenti di gasteropodi di acque dolci; corrisponde all'orizzonte superficiale di un probabile histosuolo correlato ad un ambiente di barena.

**43,6-39,0 m:** limi debolmente sabbiosi con alcuni livelli sabbiosi che da 42,25 m divengono limi argillosi di piana lagunare con abbondanti frammenti vegetali millimetrici e rari resti di molluschi lagunari. Da 40,3 m fino al tetto limi sabbiosi che passano a limi debolmente sabbiosi con abbondanti bioclasti di faune lagunari, talvolta con valve ancora in connessione.

Nel complesso, dal fondo del carotaggio fino a 39,0 m si tratta di depositi lagunari, più sabbiosi alla base, con presenza di un suolo poco sviluppato a 45,2 m e un histosuolo relativamente evoluto con orizzonte organico a 43,6-44,0 m. Sulla base dei dati micropaleontologici e malacologici non si può escludere che questi episodi di emersione e successivo annegamento siano legati a variazioni dell'altezza eustatica relativa o a cambiamenti della paleogeografia della zona. L'intervallo potrebbe essere ascrivibile alla parte finale della trasgressione tirreniana, quindi al substage MIS 5e, ma potrebbe anche corrispondere alle trasgressioni verificatesi nei substage del MIS 5 successivi al 5e, ossia il 5c o il 5a.

**39,0-36,2 m:** limi torboso-organici e torbe con rari livelli meno organici centimetrici e pluricentimetrici. Presenza di macroresti vegetali. Si tratta di un intervallo caratterizzato dalla quasi totale assenza di sedimentazione minerogena; le analisi paleontologiche e palinologiche indicano un ambiente alluvionale di tipo palustre che perdurò per un considerevole periodo di tempo. Le datazioni al carbonio effettuate su campioni a 36,18 m, 37,58 m e 38,38 m hanno dato un risultato rispettivamente di 30.885±825, 36.330±1615, 34.255±150 anni <sup>14</sup>C BP. La calibrazione della datazione più recente fornisce un'età di circa 36.000 anni, mentre per quelle più vecchie la calibrazione è poco affidabile. Nel complesso questi depositi ricadono nel MIS 3 e, apparentemente, nella carota non vi sono sedimenti che possano risalire al MIS 4, stage comunque quasi assente anche nel

sondaggio Azzano (ZANFERRARI *et alii*, 2008c; PINI *et alii*, 2009) e anche nell'area veneziana (MASSARI *et alii*, 2004). Le analisi polliniche condotte su questo intervallo consentono una correlazione con i depositi situati tra 35,2-37,5 m nel carotaggio TdM; tuttavia i due spettri presentano alcune differenze che denotano un probabile sfasamento cronologico tra l'intervallo analizzato in TdM e quello in CNC4.

**36,2-30,05 m:** alternanze centimetriche di limi e limi argillosi che da 35,5 m passano a limi sabbiosi e limi con sabbie fini. Assenza di malacofaune macroscopiche e presenza di concrezioni carbonatiche dure e soffici sopra 33,5 m. Al tetto suolo sepolto ben sviluppato con presenza di orizzonti A/B, Bk, Bwk e Ck. Depositi di natura alluvionale in facies di piana d'erosione e *crevasse splay* sedimentatisi durante la fase finale del MIS 3.

**30,05-6,8 m:** alternanze centimetriche di limi argillosi, limi e intervalli secondari con limi sabbiosi e sabbie. Presenza di probabile suolo sepolto con accumulo di limi torbosi al tetto e concrezioni carbonatiche nella porzione inferiore. Orizzonti organici di una certa importanza a 29,4 m, 26,2-26,8 m, 11,05 m interpretabili come torbiere di ambiente steppico legate alla stagnazione in superficie della falda freatica. Corpi sabbiosi di potenza più significativa a 25,7-24,0 m e 13,7-14,8 m con presenza in quest'ultimo di intraclasti limosi consolidati. Le datazioni al radiocarbonio effettuate su campioni a 29,31 m e a 11,07 m hanno rispettivamente fornito il risultato di  $24.275 \pm 375$  e  $18.055 \pm 175$  anni  $^{14}\text{C}$  BP.

Le caratteristiche sedimentologiche e le analisi paleontologiche, polliniche e geocronologiche denotano i sedimenti di questo intervallo come depositi alluvionali in facies di piana d'erosione e secondariamente di *crevasse splay* e canale, legati a fiumi di tipo *braided* sabbiosi, attivi durante il *LGM*.

**6,8-4,4 m:** sabbie e sabbie ghiaiose molto fini con diametro massimo dei clasti di 4 mm che divengono limi argillosi sopra 5,0 m. Sedimenti di canale fluviale ricchi di frammenti legnosi millimetrici; una datazione radiocarbonica condotta su di un resto di legno ha fornito un'età  $>43.750$  anni BP, ossia oltre il limite misurabile con questo metodo, evidenziando la probabile risedimentazione del frammento. I sedimenti corrispondono a un paleoalveo attivo nelle ultime fasi del *LGM* (subsistema di Remanzacco) e alla sua disattivazione. Tra 5,5 m e il tetto vi sono abbondanti concrezioni carbonatiche anche centimetriche che rappresentano gli orizzonti Bk e Ck del suolo sepolto che marcava il top dei sedimenti *LGM*: il cosiddetto "caranto".

**4,4-0,0 m:** intervallo con alla base una evidente superficie erosiva sopra cui fino a 4,2 m si trovano rielaborati, assieme a reperti archeologici centimetrici, limi argillosi debolmente organici che formavano gli orizzonti superficiali del suolo sviluppato sui sedimenti della pianura *LGM*. Sequenza archeologica con presenza di reperti di età protostorica fino a 3,8 m (cfr. base XI sec. a.C. circa) e poi di epoca romana (fino al V sec. d.C.; CROCE DA VILLA & BALESTRAZZI, 2001). Al tetto è probabile la presenza nei primi 2 m di riporti di macerie relativi allo scavo archeologico del teatro romano effettuati nel XIX-XX secolo.

**CAROTAGGIO CNC4-Teatro (CONCORDIA SAGITTARIA)**  
 [N45°45'34" - E12°50'28"; +2,0 m s.l.m.]

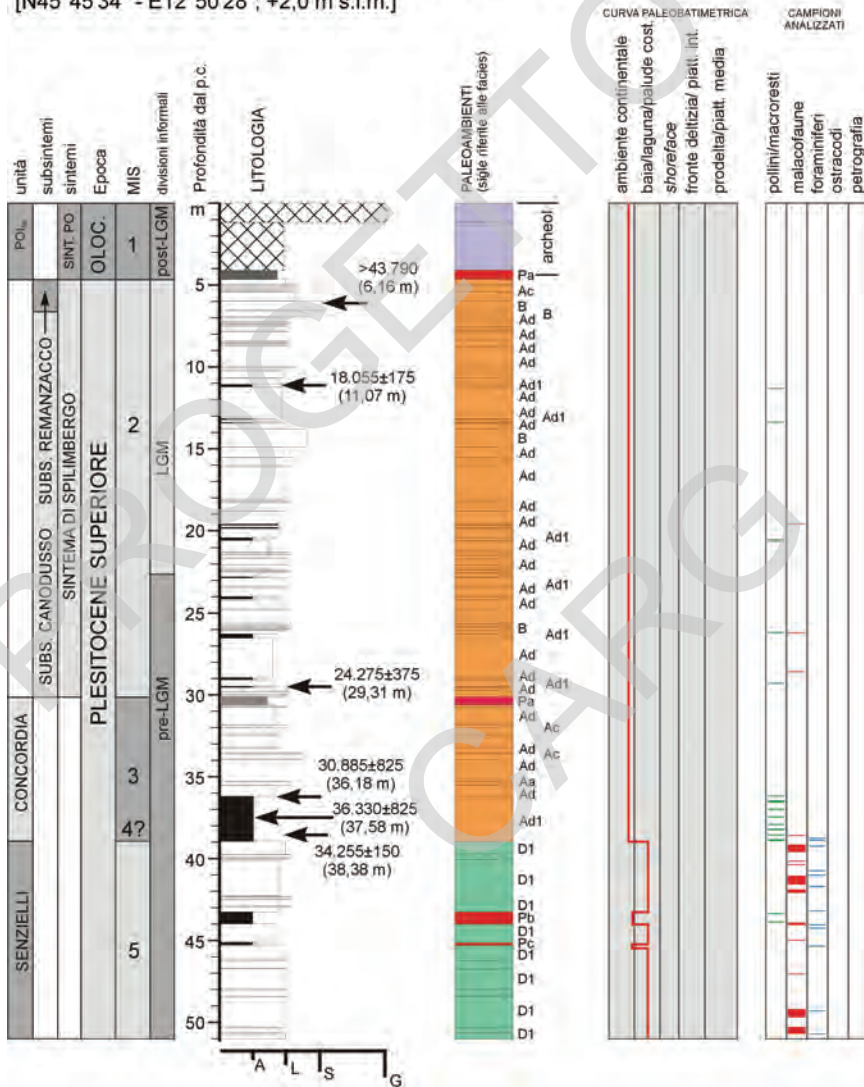


Fig. 34 - Log stratigrafico del carotaggio Concordia Sagittaria CNC4.

## 3.3. - CAROTAGGIO PRAMAGGIORE (PRA)

Il carotaggio è stato effettuato presso la stazione ferroviaria di Belfiore di Pramaggiore (VE) a partire da una quota campagna di 4,0 m s.l.m. (coordinate WGS84: N45°46'28" - E12°42'48"). Il sondaggio è stato effettuato nei giorni 23-26/05/2004, procedendo a distruzione di nucleo fino a 21,0 m e poi a carotaggio continuo fino a 60,5 m di profondità dal p.c., utilizzando un carotiere semplice con diametro interno di 88 mm e rivestimento metallico esterno di

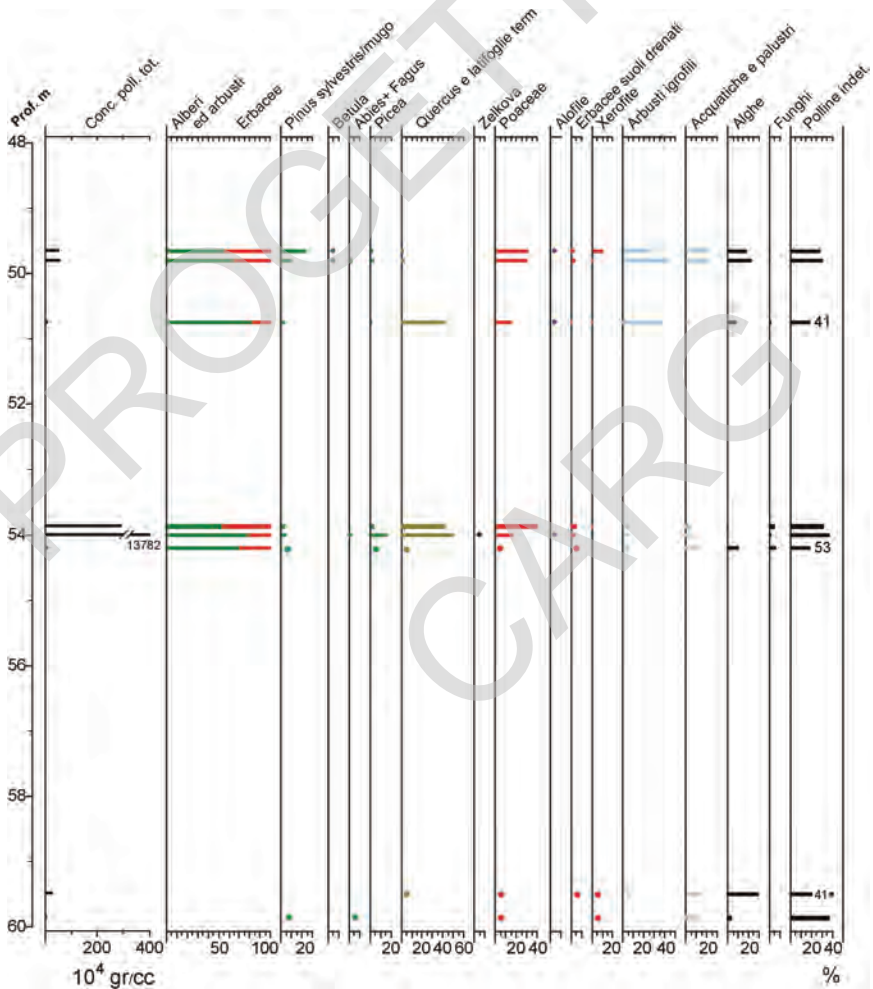


Fig. 35 - Diagramma pollinico del carotaggio Pramaggiore (PRA).

127 mm. Per ricostruire la stratigrafia da 0 a 20 m si è utilizzato il *log* di un carotaggio precedentemente effettuato 250 m più a est, lungo la linea ferroviaria Portogruaro-Treviso.

### 3.3.1. - *Dati palinologici e paleobotanici* (A. Miola)

**59,87-59,5 m:** nei due livelli esaminati la concentrazione pollinica è molto scarsa. Dagli scarsi elementi rinvenuti, *Pinus*, *Betula*, *Alnus*, Poaceae e Cyperaceae, si può supporre una situazione climatica temperato fredda e un contesto di sedimentazione continentale.

**54,2-53,87 m:** la presenza abbondante di latifoglie termofile suggerisce un clima di tipo temperato. In questi livelli compaiono granuli pollinici di piante alofile, che oggi vivono nelle barene. Il quadro generale suggerisce una collocazione di questi sedimenti in un periodo caldo e la vicinanza della linea di costa. La presenza di *Zelkova* assieme alle altre osservazioni suggerisce una possibile attribuzione di questi spettri all'interstadiale 5e.

**50,75 m:** lo spettro pollinico presenta un'elevata componente arborea con prevalenza di *Carpinus* tra le latifoglie. Tra gli arbusti igrofilo *Alnus* è ugualmente abbondante e riflette la presenza di un bosco igrofilo in un ambiente di sedimentazione continentale allagato. Questo contesto suggerisce l'attribuzione anche di questo livello ad un periodo caldo, forse interpretabile come un interstadiale del MIS 5. Un record pollinico simile non è stato riscontrato né nei livelli delle sequenze di TdM e di CNC, né nelle sequenze veneziane e romagnole.

**49,81-49,66 m:** i due livelli esaminati presentano spettri pollinici con minor presenza di arboree rispetto al livello precedente. Le latifoglie termofile sono diminuite, mentre *Pinus*, *Picea* e *Abies* prevalgono. La presenza abbondante di *Alnus* tra gli arbusti igrofilo suggerisce ancora la presenza di un ambiente continentale allagato con bosco igrofilo. Il clima è di tipo temperato fresco. Si potrebbe proporre l'attribuzione ad uno stadiale del MIS 5.

### 3.3.2. - *Dati micropaleontologici* (A. Asioli)

Anche per questo pozzo è stata esaminata in dettaglio la parte inferiore (21 campioni tra 44,0 e 60,0 m), che è sostanzialmente suddivisibile in almeno tre intervalli (Fig. 36):

**60,0-54,0 m:** residui costituiti da abbondanti frustoli vegetali e da sabbia fine. Pirite sparsa. I foraminiferi sono assenti.

**54,0-51,0 m:** residui costituiti da rari frustoli vegetali e da sabbia fine; foraminiferi comuni con *A. beccarii*, *A. beccarii tepida*, *H. germanica*, *A. veneta*, *A. perlucida* ed *Elphidium articulatum*.

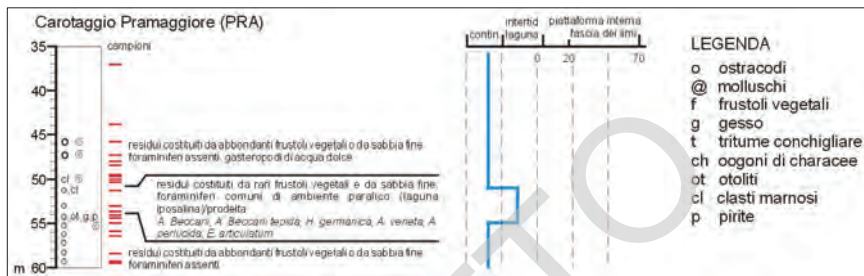


Fig. 36 - Schema di sintesi per il sondaggio Pramaggiore (PRA). Sono riportate le età  $^{14}\text{C}$  non calibrate (vedi Appendice 5) e a fianco di ciascun pozzo una curva indicativa della paleobatimetria desunta dalle associazioni a foraminiferi bentonici.

**51,0-44,0 m:** residui costituiti da abbondanti frustoli vegetali e da sabbia fine. I foraminiferi sono assenti, mentre sono stati rinvenuti gasteropodi di acqua dolce.

Sulla base delle associazioni a foraminiferi l'intervallo tra 51,0 e 54,0 m rappresenta un ambiente paralico (laguna iposalina) o prodelta simile a quello presente nel pozzo Concordia CNC4 tra 39,0 e 50,0 m. L'intervallo soprastante può essere riconducibile ad ambiente continentale (gasteropodi di acqua dolce), mentre l'intervallo sottostante, in base all'integrazione con gli altri dati macro-paleontologici e sedimentologici, è ascrivibile al continentale.

### 3.3.3. -Descrizione sedimentologica e correlazioni stratigrafiche

(A. Fontana, A. Miola, F. Massari)

**60,0-55,5 m:** alternanze centimetriche di limi, limi argillosi, sabbie limose e limi sabbiosi con presenza di laminazioni millimetriche; a 59,4 m orizzonte torboso fittamente laminato. Le sabbie hanno diametro medio di 300  $\mu\text{m}$ . Fino a 57,8 m presenza di concrezioni carbonatiche centimetriche. L'intervallo è interpretato come depositi di piana alluvionale in facies di argine naturale, *crevasse splay* e piana d'esondazione. Sono sedimenti verosimilmente correlati a corsi *braided* di tipo sabbioso, attribuibili al MIS 6. Le analisi polliniche indicano la presenza di un ambiente temperato freddo, suggerendo la loro deposizione durante una fase di avanzata glaciale, attribuibile al MIS 6. Al tetto vi sono figure pedogenetiche legate allo sviluppo di un suolo di cui sono rimasti preservati solo gli orizzonti profondi.

**55,5-49,6 m:** intervallo marcato alla base da una superficie erosiva poco evidente e caratterizzato da limi argillosi con sostanza organica dispersa, passanti da 54,6 m a limi e limi debolmente argillosi con resti vegetali millimetrici e bioclasti, talvolta comuni, costituiti da valve di *Cerastoderma*, in qualche caso ancora in connessione. Concrezioni carbonatiche tra 54,6-55,5 m e tra 51,0-52,1

m, legate ai processi pedogenetici verificatesi negli orizzonti soprastanti, che hanno parzialmente alterato e dissolto i resti di malacofaune. Le analisi sui foraminiferi indicano condizioni d'acque salmastre ipoaline, corrispondenti ad un ambiente di laguna e palude salmastra. Anche le analisi polliniche denotano un clima di tipo temperato con vegetazione tipica di barena. Dal tetto a 50,1 m argille organiche con tracce di radici e bioturbazioni corrispondenti agli orizzonti superficiali del suolo responsabile della formazione di concrezioni più in profondità. L'intervallo corrisponde a depositi lagunari che sono poi emersi e su cui si è sviluppato un suolo.

La superficie erosiva basale si correla con quella della trasgressione tirreniana riconosciuta nel carotaggio TdM a 70,5 m di profondità e con la superficie pedogenizzata individuata a 56,0 m nel sondaggio Azzano e sopra cui si trova l'Eemiano (ZANFERRARI *et alii*, 2008c). Da notare che lo spettro pollinico a 50,75 m presenta un'elevata componente arborea con prevalenza di *Carpinus* tra le latifoglie. Tra gli arbusti igrofilo *Alnus* è ugualmente abbondante e riflette la presenza di un bosco igrofilo in un ambiente di sedimentazione continentale allagato. Uno spettro ben confrontabile è individuabile nella zona pollinica 56 dell'Azzano (PINI *et alii*, 2009).

**49,6-43,0 m:** alternanze decimetriche di limi argillosi, limi organici e limi torbosi con laminazione millimetrica e presenza di resti vegetali millimetrici; sedimenti limoso sabbiosi in stratificazione centimetrica tra 44,6 e 45,7 m con diametro medio dei clasti pari a 200  $\mu\text{m}$ ; presenza di concrezioni a 45,65 m.

I campioni di pollini esaminati a 49,81 m e 49,66 m presentano spettri pollinici con minor presenza di arboree rispetto al livello precedente e suggeriscono un clima di tipo temperato fresco. Data anche l'assenza di sedimenti legati al livello marino si suppone corrispondano a depositi di uno stadiale del MIS 5.

**43,0-37,05 m:** intervallo limitato alla base da una superficie erosiva sopra cui sono presenti sabbie medie (diametro medio 300  $\mu\text{m}$  e massimo di 600  $\mu\text{m}$ ) che con sequenza normale passa ad alternanze di sabbie limose e limi e termina con sedimenti limoso organici tra 37,05 e 37,5 m. Si tratta di depositi di canale o *crevasse splay* con disattivazione marcata da deposizione di materiale organico.

**37,05-30,7 m:** alternanze da centimetriche a decimetriche di limi e limi sabbiosi con intervalli torboso organici a 34,1-34,5 m e 30,8-30,9 m. La datazione al radiocarbonio della testa dell'intervallo torboso a 34,15-34,20 m ha fornito un'età di  $33.960 \pm 260$  anni  $^{14}\text{C}$  BP che la correla ai potenti intervalli organici presenti in TdM e CNC4 tra 36,0 e 39,0 m; la datazione del livello torboso a 30,77 m ha dato un'età di  $26.380 \pm 150$  anni  $^{14}\text{C}$  BP. Nel complesso corrispondono a depositi alluvionali in facies di piana d'esonazione distale e prossimale, precedenti il LGM.

**30,7-21,0 m:** alternanze di sabbie limose, limi, limi organici con presenza di resti vegetali millimetrici; dal tetto a 22,5 m sabbie medio fini (diametro massimo 700  $\mu\text{m}$ ). Corrispondono a depositi alluvionali in facies di piana d'esonazione, argine naturale e *crevasse splay* correlati ai corsi del Tagliamento alimentati dalle acque di scioglimento del ghiacciaio durante il LGM.

**CAROTTAGGIO PRA (BELFIORE DI PRAMAGGIORE)**  
 [N45°46'28" - E12°42'48"; +4,0 m s.l.m.]

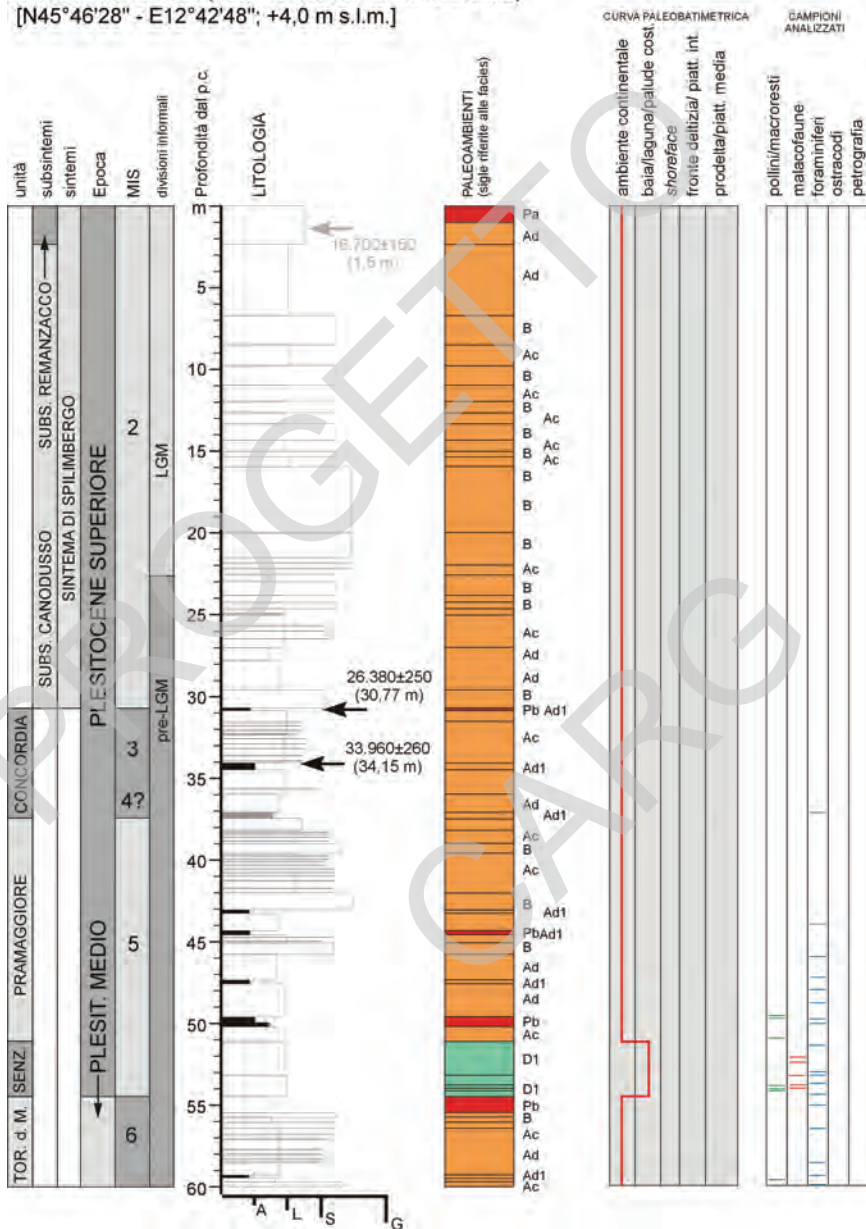


Fig. 37 - Log stratigrafico del carotaggio Pramaggiore (PRA).



**21,0-0,0 m:** alternanze da centimetriche a decimetriche di limi, limi argillosi e sabbie limose con livelli sabbiosi e sabbioso limosi di potenza pluridecimetrica e talvolta metrica. A meno di 1 km dal sito di carotaggio, la datazione al radio-carbonio di un orizzonte torboso a 2,0 m ha fornito un'età di  $16.780 \pm 260$  anni  $^{14}\text{C}$  BP. Si tratta di depositi di canale *crevasse splay* e piana alluvionale di corsi *braided* legati al sistema fluvio-glaciale del Tagliamento durante il *LGM*.

### 3.4. - CAROTAGGIO VALLE VECCHIA (VV)

Questo carotaggio è stato effettuato presso l'Azienda Agricola Sperimentale della Regione del Veneto situata nell'area bonificata di Valle Vecchia, Palude Dossetto-Brussa, a partire da una quota campagna di 0,0 m s.l.m. (coordinate WGS84: N45°38'24" - E12°57'16").

Il sondaggio è stato perforato nei giorni tra il 20-24/10/2003 da parte della sonda dei Servizi Forestali della Regione del Veneto e ha raggiunto 50,5 m di profondità dalla superficie. È stato utilizzato un carotiere semplice con diametro interno di 88 mm e rivestimento metallico esterno di 127 mm. L'abbondanza di strati sabbiosi lungo la carota ha limitato il numero delle analisi micropaleontologiche.

#### 3.4.1. - *Dati micropaleontologici* (A. Asioli)

Per questo pozzo sono stati esaminati 40 campioni su tutta la lunghezza e sono stati riconosciuti i seguenti quattro intervalli (Fig. 30):

**50,5-49,5 m:** residuo costituito da abbondanti frustoli vegetali e da sabbia fine. I foraminiferi sono assenti.

**49,5-44,5 m:** residui costituiti da rari frustoli vegetali e da sabbia fine, presenza di ostracodi. I foraminiferi sono dispersi tra cui i più frequenti sono *A. beccarii*, *A. beccarii tepida*, *Elphidium advenum*, *A. veneta*, *A. perlucida*, *Quinqueloculina seminulum*; rari o rarissimi invece sono le forme *E. crispum*, *Rosalina bradyi*, *Bulimina marginata*, *Asterigerinata mamilla*, *Guttulina* spp, *Globocassidulina subglobosa*, *A. longirostra*, *Triloculina trigonula*. Il campione più basso di questo intervallo (48,59-48,61 m) presenta la microfauna talora non in buono stato di conservazione (gusci rotti/ossidati). Questo intervallo può essere ricondotto ad ambiente di prodelta della zona più costiera (corrispondente alla biofacies II, ossia zona ad *Ammonia* + *Elphidium*).

**44,5-18,5 m:** residui costituiti da abbondanti frustoli vegetali o da sabbia fine, pirite sparsa. Foraminiferi assenti, mentre rarissime tecamebe (*Arcella vulgaris*) sono state viste nel livello 27,38-27,40 m. Questo intervallo sembra riconducibile ad un ambiente continentale.

Tra 18,5 e 2,0 m si trovano residui con sabbia fine talora ben cernita e frustoli vegetali. Questa porzione superiore del sondaggio, di età tardo-olocenica secondo quanto indicato dalle datazioni  $^{14}\text{C}$  AMS disponibili (Fig. 30), può essere a sua volta divisa in quattro sub-intervalli:

**18,5-14,5 m:** residui con sabbia fine ben cernita e frustoli vegetali. I foraminiferi sono rari e dispersi con *A. beccarii tepida*, *E. gunteri*, *E. decipiens-granosum*, *Nonion depressulum*, *Quinqueloculina oblonga*, *Quinqueloculina boschiana*, *Miliolinella* spp, *Adelosina longirostra*, *Fissurina* spp. L'associazione a foraminiferi indica un ambiente paralico (prodelta).

**14,5-6,0 m:** residui con abbondante sabbia fine/silt, rari frustoli vegetali. I foraminiferi sono assenti, mentre sono state rinvenute rarissime tecamebe (*Cyclopyxis* spp). Questo intervallo potrebbe rappresentare un ambiente continentale, ma la presenza di *Cyclopyxis*, che è l'unico genere di tecamebe che si adatta ad ambienti lievemente salmastri, potrebbe indicare un ambiente iposalino non sufficiente a permettere lo sviluppo di una microfauna a foraminiferi. L'integrazione con i dati macropaleontologici e sedimentologici avvalora quest'ultima ipotesi.

**6,0-2,5 m:** residui con sabbia fine e frustoli vegetali, foraminiferi comuni con *A. beccarii tepida*, *A. beccarii*, *H. germanica*, *E. gunteri*, *Elphidium decipiens*, *A. veneta*, *Ammobaculites agglutinans*. L'associazione rinvenuta indica un ambiente paralico (laguna iposalina).

**2,5-0,0 m:** foraminiferi comuni con *A. beccarii tepida*, *H. germanica*, *E. gunteri*, *T. inflata* non rara. Questa associazione è riferibile ad ambiente paralico (laguna iposalina) mentre la presenza di *T. inflata* nel livello più alto (2,10-2,12 m) indica la vicinanza di un ambiente intertidale (palude bassa).

#### 3.4.2. -Dati macropaleontologici (A. Lubiani)

I campioni analizzati tra 49,7 e 49,6 m sono ben rappresentativi di un ambiente marino, anche in vari esemplari sono evidenti i segni di trasporto, probabilmente imputabili all'azione delle onde. Tra 47,5 e 40,5 m alla base sono state identificate faune di ambiente marino, mentre sopra si tratta di associazioni compatibili anche con una zona soggetta a input di acque dolci o salmastre.

A 27,9-27,0 m sono presenti tipici molluschi di ambiente lagunare che, trovandosi al fondo di una superficie erosiva, forse indicano un ambiente di bocca lagunare. Anche salendo nella serie stratigrafica vi sono specie lagunari, tuttavia si tratta in genere di rari esemplari. Solo a 19,0 m si denotano numerosi esemplari e la loro associazione, compatibile con l'ambiente lagunare, può però indicare un maggior contatto con acque marine.

### 3.4.3. -Descrizione sedimentologica e correlazioni stratigrafiche (A. Fontana, R. Avigliano, F. Massari)

**50,5-50,27 m:** alternanze centimetriche e millimetriche di limi sabbiosi e limi organici con abbondanti resti vegetali millimetrici. Per l'assenza di foraminiferi questi depositi sono attribuiti ad ambiente continentale.

**50,27-49,7 m:** alternanze millimetriche di sabbie fini (200  $\mu\text{m}$ ) e sabbie limose. Al tetto sabbie fini bioturbate. Per l'assenza di foraminiferi sono attribuiti all'ambiente continentale.

Assieme all'intervallo precedente, potrebbero correlarsi ai depositi di emersione intervallati a sedimenti lagunari rinvenuti in CNC4 sotto 39,0 m di profondità.

**49,7-49,1 m:** alla base superficie di *ravinement* con icnofacies tipo *Glossifungites* che interessano lo strato sottostante. Sabbie fini (300  $\mu\text{m}$ ) limose, molto ricche alla base di resti di molluschi marini interi e frammentati, passanti a sabbie limose verso il tetto. La superficie di *ravinement* potrebbe essere dovuta ad un innalzamento relativo del livello marino; al momento non è possibile definire se si tratti di depositi del MIS 5e oppure appartenenti ad uno dei substage caldi successivi (MIS 5c o 5a); la prima ipotesi pare però la più semplice.

**49,07-48,84 m:** limi argillosi con icnofacies tipo *Glossifungites* e presenza di rari resti millimetrici di scafopodi e bivalvi tipo veneridi.

**48,84-44,5 m:** alternanze centimetriche e decimetriche di sabbie fini e sabbie fini limose con talvolta frammenti millimetrici di bivalvi; in rari casi anche valve intere, probabilmente *Spisula subtruncatula*. Alla base si ha una sequenza positiva da limi e sabbie a sabbie. Presenza di livelli sabbiosi con frammenti vegetali millimetrici a 46,03-45,78 m. Sulla base della descrizione sedimentologica e dell'associazione paleontologica, questo intervallo viene attribuito ad un ambiente di *deltafront* passante a prodelta.

**44,5-39,95 m:** alternanze centimetriche di sabbie fini e sabbie limose fini che da 42,1 m presentano talvolta lamine organiche o ricche di frammenti vegetali millimetrici. A 42,1 m livello di limi argillosi con bioturbazioni e presenza di una valva di *Cardium* sp. Sono presenti rari frammenti millimetrici di molluschi, in qualche caso riconoscibili come valve o parti di *Lentidium mediterraneum*.

**39,95-38,75 m:** sabbie fini in strati decimetrici intervallati con livelli limosi centimetrici; rari frammenti vegetali millimetrici alla base. Al tetto tracce di radici. Probabilmente si tratta di depositi deltizi o fluviali.

I campioni di questo intervallo sottoposti ad analisi micropaleontologica non hanno evidenziato la presenza di foraminiferi mentre, in base alla sedimentologia, è identificabile con depositi di *deltafront/shoreface*.

Da 38,75 m a fondo foro le sabbie sono caratterizzate da percentuali relativamente abbondanti di muscovite che può essere anche presente con cristalli di 1-4 mm (vedi Paragrafo VI.4 sulla petrografia).

**CAROTTAGGIO VV (Valle Vecchia, Caorle)**  
 [N45°38'24" - E12°57'16"; 0,0 m s.l.m.]

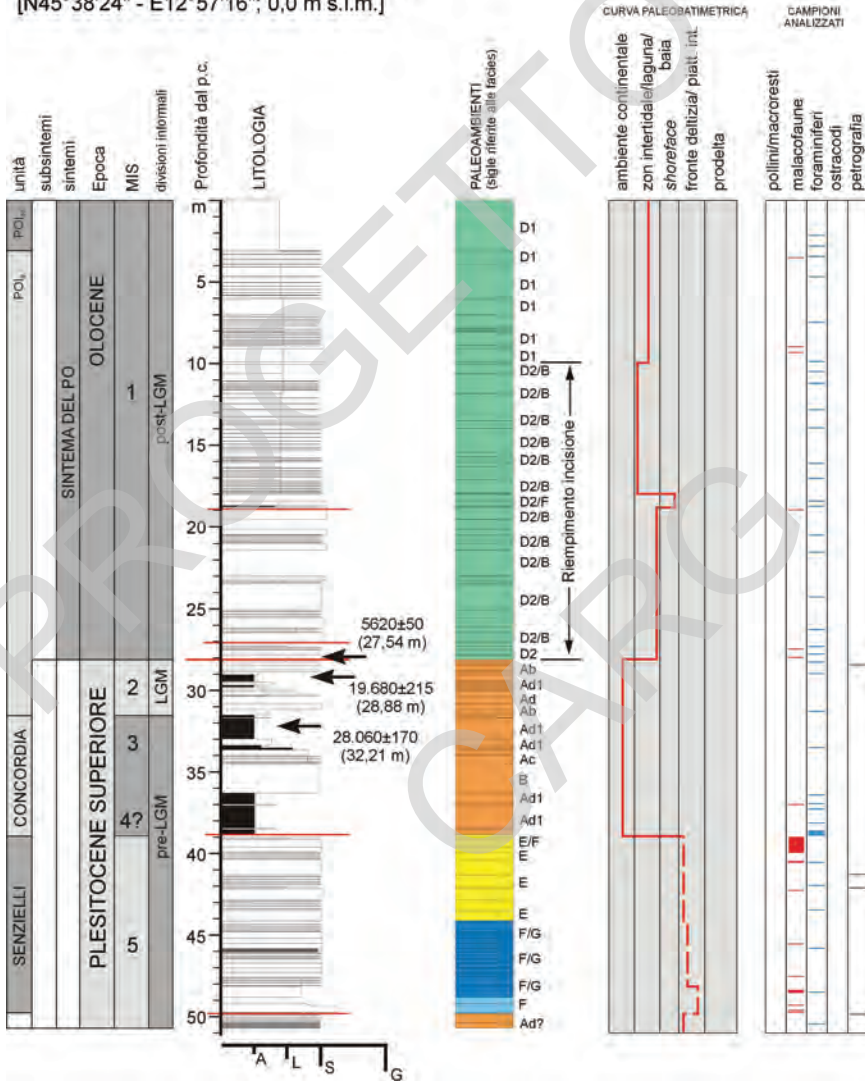


Fig. 38 - Log stratigrafico del carotaggio Valle Vecchia (VV).

Nel complesso i sedimenti da 38,8 m sono ascrivibili ad ambienti marini o deltizi legati al MIS 5; in particolare, al momento non si è in grado di dire se rappresentino la parte sommitale della trasgressione tirreniana (MIS 5e) o i substage successivi ad essa (MIS 5c o 5a).

**38,7-36,3 m:** torbe, limi e argille molto organiche fortemente consolidati e con laminazione millimetrica evidente. Presenza di intervalli limosi non organici a 38,51-38,47 m e 36,89-36,16 m. In quest'ultimo intervallo vi è un pulmonata tipo *Helix* e tracce di radici. In tutto l'intervallo si riconoscono frammenti vegetali e macroresti legnosi, talvolta tracce di bioturbazioni. Si tratta di depositi di palude alluvionale o lago che si correlano verosimilmente ai sedimenti rinvenuti a 41,0-42,0 m in TdM e attribuiti al MIS 4. In VV, parte di questi depositi potrebbe anche ricadere nel MIS 3, ma non vi sono sufficienti informazioni per una chiara attribuzione.

**36,3-33,46 m:** l'intervallo è caratterizzato alla base da sabbie fini (300  $\mu\text{m}$ ) limose massive che arrivano fino a 34,5 m e sono state in parte rimaneggiate dal carotaggio; vi sono poi alternanze di limi e limi debolmente sabbiosi che passano a limi e da 33,58 m vi sono torbe. Si tratta probabilmente di depositi di canale fluviale che passano a depositi di argine e di piana alluvionale su cui si è imposta una palude.

**33,0-31,5 m:** torbe fittamente laminate e fortemente consolidate, parzialmente compresse dal carotaggio che ne ha ridotto lo spessore di quasi 0,7 m. Una lamina sabbioso limosa millimetrica a 32,3 m. Sono assenti foraminiferi e la datazione al radiocarbonio della testa ha fornito un'età di 28.060 $\pm$ 170 BP. Corrispondono a depositi di palude alluvionale formati durante il MIS 3 e che si correlano agli intervalli organici trovati in TdM, CNC4 e LUG rispettivamente alle profondità di 35,2-37,5 m, 36,25-38,75 m e 34,14-32,2 m.

**31,5-29,45 m:** limi, limi argillosi e limi sabbiosi in alternanze centimetriche, con tracce di radici e rari frammenti vegetali millimetrici. Si tratta di depositi di piana alluvionale che potrebbero essersi sedimentati alla fine del MIS 3 o all'inizio del MIS 2.

**29,45-28,9 m:** limi torbosi alla base che da 29,3 m divengono torbe fortemente consolidate e fittamente laminate, con macroresti vegetali e frammenti di planorbidi. La datazione al radiocarbonio effettuata a 28,88 m ha fornito un'età di 19.680 $\pm$ 215 BP. Depositati di palude, forse alla base correlabili agli orizzonti pedogenizzati riconosciuti a 30 m e 32,2 m in CNC4 e TdM. Per la parte superiore sono sicuramente già appartenenti al MIS 2 e correlabili quindi alle alluvioni alimentate dalle acque di scioglimento del ghiacciaio del Tagliamento.

**28,9-28,1 m:** alternanze centimetriche di limi sabbiosi, sabbie fini e al tetto limi parzialmente rimaneggiati. Corrispondono a depositi alluvionali del *LGM*.

**28,1-27,8 m:** intervallo marcato alla base da una superficie erosiva e, fino a 27,8 m, costituito da limi sabbiosi con clasti centimetrici di limi organici e limi concrezionati, frammenti vegetali piritizzati millimetrici e frammenti di conchiglie (*Barnea* cfr. *candida* e *Abra* cfr. *nitida*). Rappresenta forse il deposito situato alla base di una bocca di porto lagunare.

**27,8-27,16 m:** alternanze centimetriche di sabbie fini, talvolta limose, e limi argillosi debolmente sabbiosi con laminazione evidente millimetrica. Presenza di frammenti di conchiglie lagunari. La datazione effettuata su orizzonte organico a 27,54 m ha fornito un'età di  $5620 \pm 50$  anni  $^{14}\text{C}$  BP.

Da notare che la datazione è coeva a quella effettuata sui depositi fluviali incontrati nella carota LUG a 11,3 m e potrebbe indicare il raggiungimento del momento di massima ingressione marina.

**27,16-27,0 m:** superficie erosiva con caratteristiche analoghe all'intervallo 28,1-27,8 m; presenza di una valva di *Loripes lacteus* e di un cerastoderma ricoperto da briozoi.

**27,0-19,0 m:** intervallo costituito da strati centimetrici a decimetrici di sabbie fini limose intervallati a livelli centimetrici limosi e limoso sabbiosi. Presenza di frammenti vegetali, talvolta concentrati, e livelli con clasti fangosi induriti a 26,1-26,2 m, 25,05 m, 24,8 m, 24,6 m, 19,1 m. Non sono presenti foraminiferi né resti di malacofaune. L'intervallo è interpretato come deposito di delta di baia o fluviale legato all'attività di un ramo del Tagliamento.

**19,0-18,0 m:** sabbie fini e sabbie limose, con laminazione al tetto. Presenza di abbondanti resti di molluschi marini, lagunari e più raramente dulciacquicoli. Si tratta probabilmente del deposito formatosi in ambiente di prodelta, sedimentatosi dopo la disattivazione della direttrice fluviale che aveva portato la sabbia sottostante.

**18,0-10,0 m:** livelli centimetrici di sabbie fini limose alternati a strati centimetrici e decimetrici di limi e limi argillosi. I foraminiferi indicano un ambiente paralico fino a 14,5 m mentre poi sono assenti; 1 valva di *Spisula* a 14,5 m. Saltuaria presenza di frammenti vegetali millimetrici. La notevole ritmicità del deposito potrebbe indicare l'instaurarsi di un effetto mareale, forse legato alla formazione di una freccia litoranea che sbarrava la laguna.

**7,8-10,0 m:** come intervallo precedente, ma con strati sabbiosi mediamente più spessi.

**7,8-3,1 m:** limi argillosi in strati decimetrici intervallati da livelli centimetrici di sabbie fini. Presenza di frammenti vegetali millimetrici e di frammenti di molluschi lagunari. Ambiente di laguna iposalina.

**3,1-0,0 m:** limi argillosi con resti di molluschi lagunari e tracce di radici da 2,0 m alla superficie. Ambiente di laguna iposalina e palude bassa bonificato nel XX secolo.

Nel complesso, da 28,1 m vi sono depositi di riempimento di una valle incisa nei depositi *LGM*. Il riempimento è costituito interamente da sedimenti legati ad ambiente lagunare e marino, ma è possibile che l'incisione sia stata originariamente scavata da un percorso tardoglaciale o dell'Olocene iniziale del Tagliamento e che sia stata poi rielaborata dall'instaurarsi di una bocca lagunare.

### 3.5. - CAROTAGGIO MARINA DI LUGUGNANA (LUG)

Il carotaggio è stato effettuato presso i campi dell'Azienda Agricola di G.B. Gasparotto, in località Marina di Lugugnana nel comune di Portogruaro (VE), a partire da una quota campagna di 1,0 m s.l.m. (coordinate WGS84: N45°42'50" - E12°56'55"). Il sondaggio è stato perforato nei giorni 18-21/05/2004 e ha raggiunto 46,5 m di profondità dalla superficie. È stato utilizzato un carotiere semplice con diametro interno di 88 mm e rivestimento metallico esterno di 127 mm. Durante le operazioni di carotaggio l'intercettazione di una sacca di gas a 33,0 m ha causato la prolungata eruzione di sabbie limose in superficie fino a 7 m sopra il piano campagna.

Per questo carotaggio non sono state condotte specifiche analisi palinologiche o paleontologiche e, quindi, le correlazioni sono fornite assieme alla descrizione della carota.

#### 3.5.1. - *Descrizione sedimentologica e correlazioni stratigrafiche*

(A. Fontana, R. Avigliano, F. Massari)

**46,5-41,5 m:** alternanze centimetriche di limi debolmente sabbiosi, limi argillosi e sabbie fini limose con presenza di frammenti vegetali millimetrici; in vari punti vi sono bioclasti millimetrici corrispondenti a frammenti di bivalvi e gasteropodi o valve intere di specie non determinabili, forse *Lentidium mediterraneum* o *Spisula subtruncatula*. Le sabbie possono avere orizzonti ricchi di cristalli di muscovite di 1-3 mm. Probabilmente si tratta di depositi marini di *shoreface*.

**41,5-37,5 m:** strati decimetrici di sabbie fini (diametro medio 200 µm) intervallati ad alternanze centimetriche di limi sabbiosi e sabbie limose. Al tetto frammento legnoso e resti millimetrici di conchiglie indeterminate.

**34,15-37,5 m:** sabbie limose fini (diametro medio 200-300 µm), sterili. Probabili depositi alluvionali.

**34,15-29,6 m:** torbe, argille e limi organici fittamente stratificati e notevolmente consolidati, intervallati da limi argillosi sterili tra 30,96-31,35 m e 31,4-32,24 m. La datazione al carbonio al tetto dell'intervallo ha fornito un'età di 29.600±250 anni <sup>14</sup>C BP, indicando che la sedimentazione organica è terminata alla fine del MIS 3 e avvalorando la correlazione con i potenti depositi organici individuati in TdM, VV e CNC4 a profondità leggermente superiori.

**29,6-25,2 m:** alternanze di limi argillosi e limi con presenza di concrezioni carbonatiche a 28,4 m, 28,2 m; presenza di piccoli ciottoli calcarei subcentrimerici probabilmente legati al rimaneggiamento causato dallo sviluppo della superficie erosiva esistente al tetto e sviluppata su torbe; strato di sabbia fine a 28,73-28,91 m. Depositati alluvionali di piana d'erosione probabilmente di età

di poco precedente il *LGM*. È possibile che le concrezioni carbonatiche siano correlate ad un suolo moderatamente sviluppato e che potrebbe correlarsi con la superficie individuata in CNC4 e TdM alla base delle alluvioni *LGM*.

**25,2-11,6 m:** sequenza positiva marcata alla base da una superficie erosiva su cui poggiano ghiaie medie e fini con ciottoli arrotondati (valore medio dell'asse

**CAROTTAGGIO LUG (Marina di Lugugnana, Portogruaro)**  
 [N45°42'50" - E12°56'55"; +1,0 m s.l.m.]

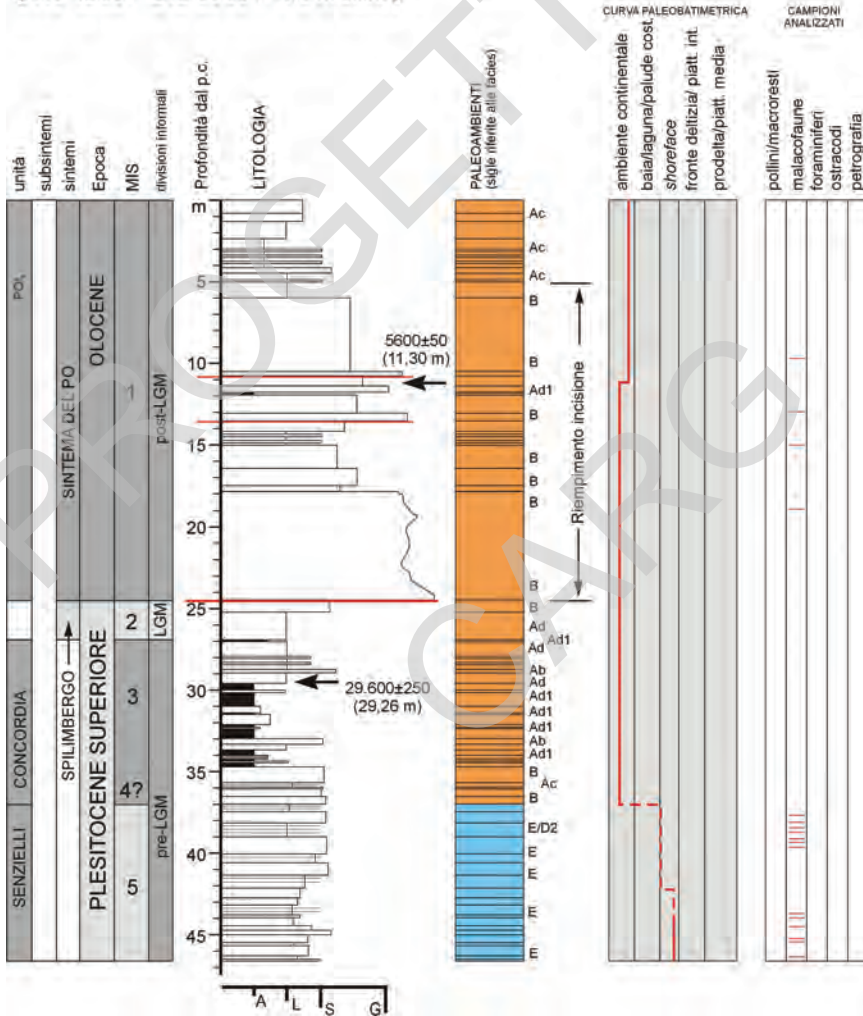


Fig. 39 - Log stratigrafico del carotaggio Marina di Lugugnana (LUG).



medio di circa 1-2 cm; nei clasti più grandi il valore medio è 3-4 cm) con matrice sabbiosa debolmente limosa fino a 19,62 m; si riconoscono strati con percentuale di matrice formata da sabbie medio-fini limose in percentuale variabile da 0 al 50%. Sopra 19,62 m vi sono sabbie fini (diametro medio 200  $\mu\text{m}$ ) limose, con livello di ciottolini subcentimetrici sparsi tra 17,46 e 16,47 m e clasti argillosi centimetrici al tetto. Da 15,0 m fino al tetto presenza di limi argillosi in strati centimetrici che s'intervallano alle sabbie fini limose e vi sono resti vegetali millimetrici e rari gasteropodi d'acqua dolce interi e frammentati. La datazione di un orizzonte organico esistente a 11,73 m ha fornito un'età di 5600 $\pm$ 50 anni BP. Nel complesso si tratta di una sequenza di canale fluviale ghiaioso e della sua disattivazione. È interpretabile come il riempimento di una valle fluviale sviluppatasi nel post-*LGM* (unità di Malamocco), profondamente incisa rispetto ai depositi del *LGM* in cui è scavata.

**11,6-5,5 m:** sabbie medio-fini (diametro medio 400  $\mu\text{m}$ ) debolmente limose e con presenza di alcuni ciottoli di 2-3 cm e clasti argillosi centimetrici tra 10,8 e 9,9 m. Sequenza di canale fluviale che ha riattivato l'incisione e, in base ai rilevamenti e alle correlazioni stratigrafiche, corrisponde alla direttrice del Tagliamento attiva durante il I millennio a.C. lungo il corso dell'attuale roggia Lugugnana (cfr. FONTANA, 2006).

**5,5-0,0 m:** intervallo caratterizzato alla base da alternanze centimetriche di sabbie fini e limi sabbiosi che da 2,8 m divengono limi e limi argillosi. Si tratta dei depositi di disattivazione della direttrice fluviale.

Nel complesso, da 25,2 m sono presenti i depositi di riempimento di un'incisione fluviale sviluppatasi nel post-*LGM* e che ha subito la fase di formazione con trasporto di ghiaie fino a circa 7000 anni fa. Successivamente è stata riattivata, ma il fiume non ha più avuto la competenza per trasportare ghiaie. Da notare la sostanziale contemporaneità tra la data della base del riempimento dell'incisione individuata nel sondaggio VV e la prima disattivazione in LUG; ciò potrebbe indicare il raggiungimento del *maximum flooding* nella zona, con conseguente abbassamento del gradiente idraulico dell'asta fluviale e quindi la fine della fase di profonda incisione.

#### 4. - ANALISI PETROGRAFICHE (C. Stefani)

##### 4.1. - CAMPIONI ANALIZZATI E METODI D'INDAGINE

Sono state eseguite analisi petrografico-mineralogiche di livelli sabbiosi intercettati dai sondaggi Torre di Mosto (campioni con la sigla T) e Valle Vecchia (campioni con la sigla V), più alcuni campioni di dossi attuali del Livenza prelevati rispettivamente a San Stino di Livenza e a Staffolo (campioni Livenza e

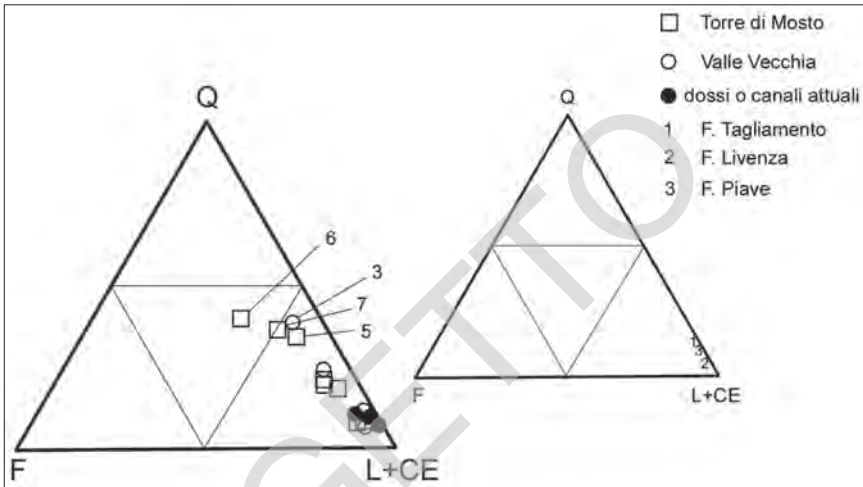


Fig. 40 - Risultati dell'analisi modale dei campioni di sabbie analizzate. Q: quarzo; F: feldspati; L + CE: frammenti litici a grana fine e frammenti di rocce carbonatiche. Per confronto è riportata la composizione dei fiumi Tagliamento, Livenza e Piave (dati da GAZZI et alii, 1973).

Staffolo), del Piavon, e, Stino da località Fosso Cernetta di San Stino, sia a scopo conoscitivo, sia per verificare se sulla stessa verticale vi fosse stata nel tempo una omogeneità di apporti.

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, trattata per la distinzione dei carbonati, su cui è stata eseguita l'analisi modale mediante l'uso di un tavolino traslatore ad incrementi costanti di 0,5 mm. Sono stati riconosciuti almeno 300 grani dell'ossatura e 200 frammenti litici. Allo scopo di ridurre l'influenza della grana sulla composizione, le analisi sono state condotte seguendo il metodo "Gazzi-Dickinson" (INGERSOLL *et alii*, 1984) oramai ben testato ed accettato dalla maggior parte della comunità scientifica internazionale.

Con i dati ottenuti sono stati ricavati i diversi parametri riportati in tabella 1 e diagrammati nelle figure 40, 41 e 42. I risultati sono stati poi confrontati con la composizione dei principali corsi d'acqua della pianura veneto-friulana, allo scopo di stabilire il principale distributore degli apporti ("source river").

#### 4.2. - RISULTATI

I campioni di entrambi i sondaggi hanno una composizione principale esclusivamente terrigena, ad eccezione dei campioni Torre di Mosto 7, 10 e 11, in cui si è riscontrata la presenza sporadica di bioclasti bentonici, concordemente anche

Tab. 1 - Parametri ricavati dall'analisi modale ed utilizzati per i diagrammi di Figg. 40, 41 e 42.

	Sondaggio Torre Di Mosto										Sondaggio Valle Vecchia					Livenza	Piavon	Stino	Staffolo
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T9	T10	T11	V1	V3	V4	V5	SI				
<i>prof. dal p.c. (m)</i>	-11,99	-22,72	-27,85	-39,90	-46,60	-48,50	-50,00	-68,20	-71,90	-86,70	-28,40	-41,35	-42,10	-49,90	dosso	dosso	canale LGM	dosso	
<b>Q</b>	7,8	18,3	8,1	7,3	34,3	39,8	36,2	7,0	20,7	19,4	11,2	38,5	23,9	6,5	6,5	9,1	10,3	9,2	
<b>F</b>	4,1	5,8	4,6	6,3	9,0	20,9	13,0	1,5	8,5	8,7	2,6	7,7	6,9	4,5	1,5	1,5	5,6	2,6	
<b>L</b>	23,4	18,8	23,4	17,7	24,2	24,1	19,2	19,6	10,1	22,4	16,3	14,2	17,6	14,1	26,6	14,2	15,9	15,9	
<b>CE</b>	64,7	57,1	64,0	68,8	32,6	15,2	31,6	71,9	60,6	49,5	69,9	39,6	51,6	74,9	65,3	75,1	68,2	72,3	
<b>Lv</b>	6,2	6,2	8,7	9,6	15,8	30,7	17,8	6,6	7,5	7,8	4,1	7,7	8,5	7,9	14,2	9,7	9,4	12,8	
<b>Lm</b>	16,9	14,5	16,3	7,8	26,7	26,7	17,8	11,5	2,3	9,2	14,8	15,4	15,4	6,8	7,7	4,5	7,8	2,9	
<b>Ls</b>	76,9	79,3	75,0	82,5	57,4	42,7	64,4	81,9	90,2	83,0	81,1	76,9	76,2	85,3	78,1	85,8	82,8	84,3	

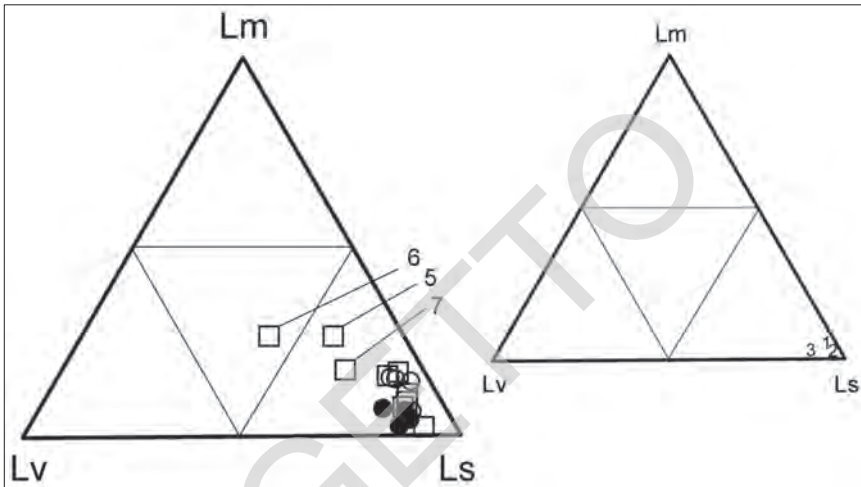


Fig. 41 - Risultati dell'analisi modale dei frammenti litici contenuti nei campioni analizzati. Lm: litici metamorfici a grana fine; Lv: litici vulcanici a grana fine; Ls: frammenti di rocce sedimentarie. La legenda dei simboli è riportata in Fig. 40.

con quanto osservato in fase di descrizione delle carote e con l'interpretazione sedimentologica. Tutti i campioni sono stati rappresentati nel triangolo classificativo (Fig. 40) 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, *sensu* ZUFFA, 1980).

Tutti i campioni ricadono nel campo classificativo delle sabbie litiche, ma quattro campioni si scostano dagli altri per una composizione leggermente più ricca in quarzo e feldspati. Essi sono i campioni Torre di Mosto 5, 6 e 7 ed il campione Valle Vecchia 3 (Fig. 40).

Allo scopo di definire meglio la tipologia degli apporti, come già ricordato, sono stati analizzati almeno 200 frammenti litici per campione e i risultati sono riportati in figura 41, ove Lm rappresenta il totale dei litici metamorfici, Lv il totale dei litici vulcanici e Ls il totale dei litici sedimentari. Tutti i campioni sono largamente dominati dai litici sedimentari, in particolare i frammenti di rocce carbonatiche.

È evidente la separazione di tre campioni, tutti quelli prima menzionati del sondaggio Torre di Mosto, mentre non è più visibile la diversità del campione Valle Vecchia 3. Diagrammando invece i litici in un triangolo a vertici Q+F, L e CE (Fig. 42), differenziando cioè gli apporti in modo da separare i carbonati terrigeni dagli altri frammenti rocciosi (LUGLI *et alii*, 2007) si può ancora notare la separazione dei medesimi campioni che risultavano già separati nei diagrammi di figure 40 e 41. Diagrammi analoghi sono stati ricavati anche per le sabbie dei principali corsi d'acqua che possono aver contribuito a costruire questo tratto

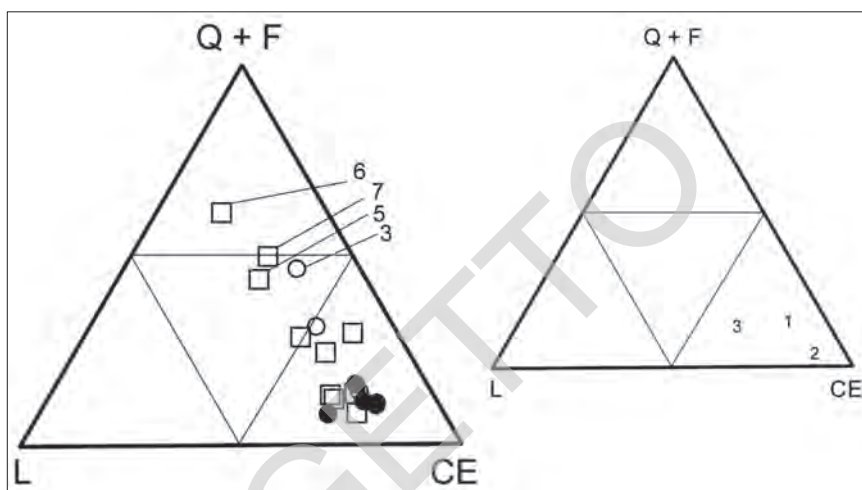


Fig. 42 - Suddivisione della frazione terrigena nelle sabbie analizzate in base alla composizione, carbonatica e non.  $Q + F$ : totale del contenuto in quarzo e feldspati;  $L$ : frammenti di rocce non carbonatiche a grana fine;  $CE$ : frammenti di rocce carbonatiche. Gli stessi parametri sono stati ricalcolati per i fiumi Tagliamento (1), Livenza (2) e Piave (3) (dati da GAZZI et alii, 1973). Legenda dei simboli in Fig. 40.

di pianura, utilizzando i dati dalla letteratura esistente (GAZZI et alii, 1973). In particolare sono stati diagrammati i dati dei fiumi Tagliamento, Livenza e Piave.

Interessante è l'evoluzione compositiva nel tempo dei sedimenti incontrati sulla stessa verticale: i campioni Torre di Mosto 1-4 e 9-11 hanno una composizione molto simile e sembrano tutti attribuibili quindi al medesimo corso d'acqua, mentre i campioni 5-7 (tra le profondità di -46,00 e -50,00 m) sembrano attribuibili ad un corso d'acqua che drena maggiormente rocce vulcaniche e una più ampia varietà di metamorfiti. La scelta del "source river" è limitata ai fiumi Tagliamento e Piave e subordinatamente al fiume Livenza, che essendo di risorgiva ha un trasporto solido molto scarso. Inoltre nel bacino idrografico dei principali affluenti del Livenza (F. Meduna e Cellina) affiorano solamente successioni sedimentarie, per cui, il rinvenimento nei sedimenti di tale corso d'acqua di frammenti di rocce metamorfiche e vulcaniche, è senza dubbio dovuto ad un riciclo da successioni sedimentarie più antiche. Il fiume Tagliamento invece è attualmente dominato dai frammenti di rocce carbonatiche, mentre il Piave ha nel suo bacino di drenaggio attuale abbondanti vulcaniti a composizione anche intermedia (vulcaniti ladiniche) ed un basamento cristallino in cui sono stati segnalati frequenti porfiroidi (per es. nella zona di Agordo), di cui non vi è traccia nell'attuale bacino di drenaggio del Tagliamento. Entrambi questi litotipi sono presenti con percentuali discrete nei campioni T5-7 e V3, ma anche in parte nei campioni immediatamente sopra e sottostanti a riprova di una probabile commistione tra sedimenti di corsi d'acqua differenti.

Anche i dati dei campioni superficiali provenienti dai dossi mostrano una stretta somiglianza compositiva nei diversi diagrammi utilizzati, non permettendo di distinguere con sicurezza dossi fluviali di diversa pertinenza.

In conclusione, alla luce dei dati finora raccolti, siamo di fronte ad un tratto di pianura complesso, in cui almeno due corsi d'acqua (Piave e Tagliamento), tre con il fiume Livenza, poco caratterizzabile petrograficamente, si sono alternati ed hanno contribuito con i loro sedimenti a costruire questo tratto di pianura, che risulta quindi nel tempo "multialimentato". La contaminazione di parte dei campioni esaminati con alluvioni del fiume Piave è inoltre avvalorata dal discreto contenuto in minerali pesanti, in particolare inosilicati, caratteristici e peculiari dei sedimenti del Piave.

## VII - STRATIGRAFIA

(A. Fontana, R. Avigliano)

L'identificazione e la suddivisione delle unità rappresentate nella Carta Geologica e nelle sezioni stratigrafiche del sottosuolo sono state fatte in base alle UBSU (*Unconformity-bounded Stratigraphic Unit*). Per la definizione di queste ultime e per i criteri adottati nel rilevamento e nella rappresentazione cartografica si veda il Capitolo III.6.

### 1. - UNITÀ DI SOTTOSUOLO

I carotaggi eseguiti durante la realizzazione del Foglio e l'analisi e interpretazione delle stratigrafie raccolte nella Banca Dati ha consentito di ottenere numerosi nuovi dati. Questi ultimi, pur nella loro distribuzione spaziale non sempre ottimale e nella loro limitata profondità, consentono di delineare l'andamento del sottosuolo e di fornire importanti informazioni per la ricostruzione dell'assetto geometrico e stratigrafico dei primi 50 m. Molto più limitate sono le conoscenze relative alle profondità comprese tra 50 e 100 m, quota a cui giunge solo il carotaggio TdM.

Per la caratterizzazione del sottosuolo sono state istituite delle unità informali, essenzialmente individuate su base litostratigrafica, che si ritiene rappresentino alcune delle tappe fondamentali dell'evoluzione tardo pleistocenica della zona e possano aiutare l'interpretazione del sottosuolo per scopi applicativi di tipo geotecnico e idrogeologico.

#### 1.1. - UNITÀ DI TORRE DI MOSTO

Depositi alluvionali dominati da alternanze di limi e limi argillosi e con presenza di corpi di sabbie fini di spessore generalmente inferiore a 1 m. Sono

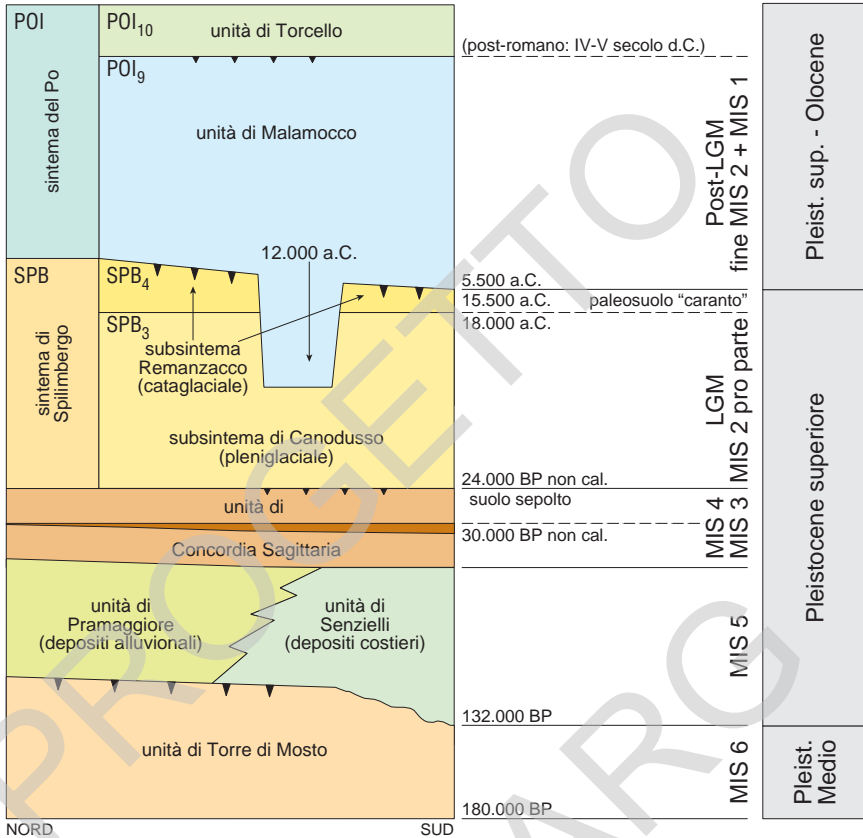


Fig. 43 - Schema dei rapporti stratigrafici nel Foglio 107 "Portogruaro".

associazioni confrontabili con quelle che caratterizzano la bassa pianura formata durante la LGM. Si tratta di sedimenti di piana d'erosione, argine naturale, *crevasse splay* e canali correlati a fiumi con andamento *braided* e/o *wandering* di tipo sabbioso.

I dati micropaleontologici e malacologici indicano un ambiente continentale con presenza nell'intervallo di torbiere che testimoniano l'esistenza di ambienti palustri estesi su ampie superfici. Anche in base ai dati paleontologici e palinologici, si ritiene che si tratti delle alluvioni deposte durante il penultimo ciclo glaciale, corrispondente al MIS 6 (Riss Auctorum), sviluppatosi tra 230.000 e 132.000 anni fa, e alimentate dalle acque di fusione della fronte del ghiacciaio del Tagliamento, che all'epoca raggiungeva la pianura.

Al tetto di questa unità, dove ancora conservato, è presente un suolo con buon grado di sviluppo, individuato ad esempio nel carotaggio PRA, che marca



il passaggio con i depositi marini e lagunari soprastanti (unità di Senzielli). È possibile che questi ultimi non siano esistenti in alcune zone verso il limite settentrionale del Foglio, dove invece vi sono depositi alluvionali depositi durante l'Emiano (cfr. PINI *et alii*, 2009), definiti come unità di Pramaggiore.

I sedimenti dell'unità di Torre di Mosto sono stati individuati tra 70,5 e 94,0 m nel sondaggio TdM e al di sotto di 55,0 m in PRA; essi si correlano alle alluvioni situate a 59,0-81,5 m nel carotaggio Azzano (ZANFERRARI *et alii*, 2008c; PINI *et alii*, 2009) e a 71,0-90,0 m nel carotaggio CARG 12 del Foglio "Venezia" presso Portegrandi (TOSI *et alii*, 2007a).

## 1.2. - UNITÀ DI SENZIELLI

Questa unità è costituita dai depositi marini e lagunari individuati nel sottosuolo al di sotto di quelli relativi alla trasgressione flandriana. Nel settore situato a valle dell'allineamento Latisana - Torre di Mosto l'unità è formata da sabbie, sabbie limose e limi depositatisi in ambiente di *shoreface*, *delta front* e piattaforma interna. Sono talvolta presenti bioclasti, anche abbondanti, corrispondenti a resti interi o frammentati di bivalvi e gasteropodi di ambiente marino. A monte dell'allineamento sopra citato sono presenti depositi di ambiente lagunare essenzialmente formati da limi argillosi, secondariamente da sabbie limose e sabbie, talvolta sono presenti orizzonti organici e torbosi. Nei sedimenti si riconoscono spesso frammenti vegetali millimetrici e bioclasti rappresentati da resti di bivalvi e gasteropodi d'ambiente lagunare. Fra questi sono quasi esclusivamente presenti *Cerastoderma glaucum*, *Loripes lacteus*, *Bittium scabrum*, *Gibbula* sp., *Hydrobia acuta*, *Ventrosia ventrosa*.

All'interno del Foglio questi depositi sono stati individuati nei carotaggi TdM tra 70,5 e 54,0 m, in VV tra 50,5 e 40,0 m, in PRA tra 50,5 e 55,0 m, in CNC4 tra 52,0 e 39,0 m, in LUG 52,0 e 38,0 m. Complessivamente costituiscono il cuneo marino e costiero depositatosi nella zona durante le trasgressioni marine verificatesi nel MIS 5 ed è probabile che coincidano interamente con quella avvenuta nel MIS 5e. Rappresenterebbero quindi i depositi costieri tirreniani, sedimentati tra 132.000-116.000 anni da oggi e durante cui anche in alto Adriatico si stima che il mare avesse raggiunto un livello massimo di circa  $+6\pm 3$  m rispetto a quello attuale (cfr. FERRANTI *et alii*, 2006; ANTONIOLI *et alii*, 2009).

I nuovi dati consentono di ricostruire l'assetto stratigrafico (sezione A-A' rappresentata nel Foglio e sezione B-B'-B'' nell'Allegato al Foglio). Come rappresentato nella sezione A-A', il limite della laguna si trovava poco a nord del limite del Foglio e i depositi lagunari erano quindi interdigitati con quelli alluvionali che sono stati riconosciuti nel sondaggio Azzano (ZANFERRARI *et alii*, 2008); questi ultimi, per le loro caratteristiche litostratigrafiche, sono stati attribuiti all'unità di Pramaggiore.

### 1.3. - UNITÀ DI PRAMAGGIORE

Unità definita su base litostratigrafica costituita prevalentemente da sabbie, limi e termini intermedi, sedimentati in ambiente alluvionale durante un periodo caratterizzato da clima relativamente caldo. Corrispondono alle alluvioni che si correlano ai depositi lagunari e costieri deposti durante e successivamente alla trasgressione tirreniana (132.000-116.000 anni fa) e da cui si differenzia per l'assenza di bioclasti. All'interno del Foglio questa unità è ben presente nelle aree poste lungo il limite settentrionale, mentre è testimoniata in modo discontinuo nella porzione meridionale. In particolare, ad essa vengono attribuiti i depositi tra 54,0 e 41,0 m nel carotaggio TdM, mentre sono invece assenti in CNC4 e VV.

Dove è assente l'unità di Senzielli, quella di Pramaggiore poggia su di un suolo ben evoluto al tetto dei depositi dell'unità di Torre di Mosto; quando Pramaggiore poggia su Senzielli la differenza da quest'ultima è macroscopicamente poco evidente e si basa soprattutto sull'assenza di micro e macrofossili di ambiente marino-lagunare. Questa unità si correla ai depositi individuati nel sondaggio Azzano del Foglio "San Vito al Tagliamento" tra 55,0 e 40,0 m (ZANFERRARI *et alii*, 2008c; PINI *et alii*, 2009).

### 1.4. - UNITÀ DI CONCORDIA SAGITTARIA

Depositi di ambiente alluvionale costituiti da limi, limi sabbiosi, sabbie fini e da importanti orizzonti torboso-organici che possono raggiungere anche i 3 m di spessore. Sulla base delle analisi paleontologiche, palinologiche e geocronologiche, si tratta di depositi alluvionali deposti successivamente al MIS 5 e precedentemente dell'inizio del LGM. Teoricamente, quindi, rappresentano i sedimenti deposti durante i MIS 4 e 3, ma in realtà si tratta di un intervallo di pochi metri al cui interno sono individuabili importanti *hiatus* deposizionali; questi ultimi corrispondono a suoli e/o a depositi organici di palude d'acqua dolce.

I depositi di questa unità sono stati individuati nel carotaggio TdM tra 41,7 e 32,2 m, nel CNC4 tra 39,0 e 30,0 m, nel VV tra 38,8 e 31,5 m, nel PRA tra 44,6 e 30,7 m e nel LUG tra 34,5 e 27,0 m.

Nel carotaggio TdM alla base dell'unità, a circa 41 m, è presente un orizzonte organico in cui i pollini sono indicativi di un clima temperato freddo, compatibile con l'inizio del MIS 4, e poi si rinvengono fino a 39 m limi di piana d'esondazione. All'interno del Foglio, la caratteristica principale di questa unità è la presenza di un orizzonte di torbe e limi organici fittamente stratificati e consolidati, la cui potenza nel settore compreso tra la costa e l'autostrada A4 raggiunge spesso i 2-3 m. In vari casi in corrispondenza e al di sotto di questo orizzonte sono possibili emissioni di gas in pressione che, come nella perforazione PRA, possono causare l'eruzione persistente di sabbie al di sopra del piano campagna.

Le datazioni con il metodo del radiocarbonio indicano che questo intervallo si è verosimilmente deposto durante il MIS 3 e, in particolare, la testa dei sedimenti

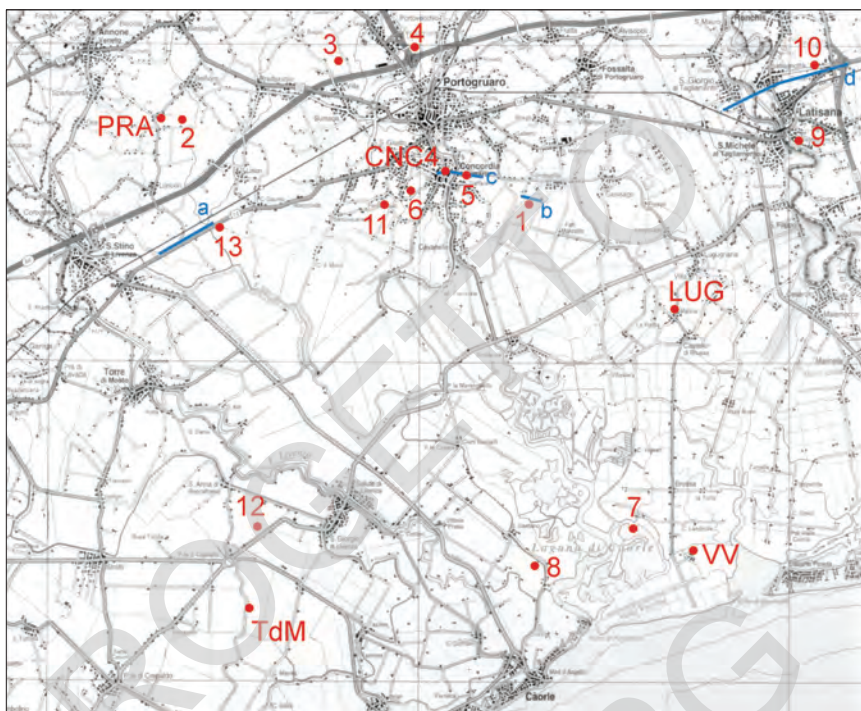


Fig. 44 - Ubicazioni delle sezioni stratigrafiche e delle località cui si fa riferimento nel testo. Base topografica elaborata da cartografia della Casa editrice Tabacco. 1) Torresella; 2) Belfiore di Pramaggiore; 3) Casa Marzino di Summaga; 4) Casello autostradale di Portogruaro; 5) Paludetto; 6) Sepolcreto; 7) Palude della Rocca; 8) S. Gaetano di Caorle; 9) Latisana Ospedale; 10) Latisana Acquedotto; 11) Via XXV aprile di Concordia; 12) Casa Tonin di S. Giorgio di Livenza; 13) Idrovora Lison-Bosco del Merlo. Carotaggi: TdM) Torre di Mosto; CNC4) Concordia 4-Teatro; PRA) Pramaggiore; LUG) Marina di Lugugnana; VV) Valle Vecchia; a) sezione Fig. 45; b) sezione Fig. 46; c) sezione Fig. 50; d) sezione Fig. 51.

organici ha un'età di circa 30.000-33.000 anni  $^{14}\text{C}$  BP non calibrati. La presenza di questi depositi è segnalata anche nella pianura friulana più a oriente del Foglio (STEFANINI & CUCCHI, 1978; FONTANA, 2006) e, anche se con spessori meno potenti, fino al margine orientale della Laguna di Venezia (CANALI *et alii*, 2007). Tali depositi sono interpretabili come sedimenti di palude d'acqua dolce che, con una notevole continuità, si sviluppava parallelamente all'attuale linea di costa per circa 50-60 km. Verso monte, genericamente a nord del tracciato dell'autostrada A4 (vedi sezione A-A' nel Foglio), è probabile che questi depositi non si siano accumulati poiché la pendenza della paleosuperficie era sufficientemente elevata da non consentire la stagnazione permanente dell'acqua. Sopra questi depositi organici sono presenti delle sabbie o limi alla cui testa si è sviluppato un suolo ben evoluto che demarca la base su cui poi si sono appoggiati i depositi del

*LGM*; tale suolo presenta un grado di sviluppo che è confrontabile con quello presente al tetto del sintema di Spilimbergo ed è stato ritrovato nei carotaggi TdM e CNC4; con caratteri meno evidenti è presente anche in PRA.

## 2. - UNITÀ CARTOGRAFICHE

### 2.1. - SINTEMA DI SPILIMBERGO (SPB)

Appartengono al **SPB** i depositi alluvionali connessi alla fase di avanzamento e massima espansione del ghiacciaio del Tagliamento durante il *Last Glacial Maximum (LGM)*. Il **SPB** comprende i depositi connessi all'acme glaciale *LGM*, definito nel testo anche come pleniglaciale e denominato *subsintema di Canodusso (SPB<sub>3</sub>)*, e il *subsintema di Remanzacco (SPB<sub>4</sub>)*, del quale fanno parte i depositi sedimentati ad opera delle acque di ablazione del ghiacciaio del Tagliamento durante la fase cataglaciale. All'interno del Foglio il **SPB** ha uno spessore complessivo di circa 30 m nel settore settentrionale che passa ai 20 in quello meridionale.

Cronostratigraficamente è correlabile alla porzione sommitale del supersintema di Mestre (MT) dei Fogli 128 "Venezia" e 148-149 "Chioggia-Malamocco" (Tosi *et alii*, 2007a; 2007b).

#### 2.1.1. - *Subsintema di Canodusso (SPB<sub>3</sub>)*

In carta sono attribuiti a questo sintema i sedimenti che costituiscono le superfici affioranti più antiche della parte distale del *megafan* alluvionale del Tagliamento, le quali si trovano principalmente tra il fiume Reghena e il Livenza e tra la roggia Lugugnana e il fiume Lemene; limitati affioramenti si trovano presso località Pozzi di San Giorgio al Tagliamento e nelle vicinanze di Alvisopoli. A partire dalla fase cataglaciale e nel postglaciale i depositi del **SPB<sub>3</sub>** sono stati parzialmente erosi e coperti dai depositi del *subsintema di Remanzacco* e del *sintema del Po*. All'interno del Foglio le caratteristiche sedimentologiche dei depositi del **SPB<sub>3</sub>** sono visibili attraverso carotaggi o scavi occasionali come cantieri edili e soprattutto lungo le sponde di fossi e scoline appena rifatti.

*Superfici-limite e rapporti stratigrafici.* In base a quanto osservato e ipotizzato nei Fogli 065 "Maniago" e 086 "San Vito al Tagliamento" (ZANFERRARI *et alii*, 2008b; 2008c pag. 57), la superficie basale del **SPB<sub>3</sub>** dovrebbe poggiare sul *subsintema di S. Margherita*. Tuttavia, le analogie di ambienti deposizionali e di facies dei due subsintemi, nonché la mancanza fra essi di una discontinuità legata a una stasi sedimentaria significativa (tipo un paleosuolo), rendono i depositi fluviali del **SPB<sub>3</sub>** difficilmente distinguibili in pianura da quelli del *subsintema*

di *S. Margherita*. Inoltre, le datazioni geocronologiche effettuate nei carotaggi dimostrano che il *S. Margherita* è assente o ha uno spessore limitato a 1-3 m.

Il limite inferiore del **SPB<sub>3</sub>** corrisponde ad una superficie di erosione alluvionale, raramente poggiate sui depositi del *subsistema di S. Margherita*, più spesso sui sedimenti dell'unità di Concordia Sagittaria, che nel sondaggio CNC4 sono caratterizzati dalla presenza di un suolo ben evoluto; anche nel sondaggio TdM, dove i depositi alluvionali sono riferibili al sistema del Piave, alla base delle alluvioni *LGM* esiste il medesimo paleosuolo. Quest'ultimo testimonia un prolungato periodo di esposizione e di assenza di sedimentazione nel settore distale della pianura.

All'interno del Foglio il **SPB<sub>3</sub>** ha uno spessore che può superare 25 m nel settore settentrionale e raggiungere 15-20 m in quello meridionale. Quindi, la superficie-limite inferiore non è affiorante e può essere intercettata solo tramite carotaggi profondi.

Il limite superiore del **SPB<sub>3</sub>** è dato dal *top* deposizionale originario rimodellato e, localmente, marcato da una superficie di erosione di natura alluvionale. Dove la superficie-limite superiore coincide con il *top* deposizionale, essa è caratterizzata da suoli mediamente evoluti con profilo tipo A-B-C (spessore medio degli orizzonti A + B di circa 70 cm e colore 10YR - 2.5Y). Principalmente a causa della tessitura fine dei sedimenti (costituiti da limi e sabbie) e della superficialità della falda freatica, i suoli corrispondenti raggiungono colori compresi tra 2.5Y e 10YR e sono caratterizzati da potenti orizzonti calcici con accumulo di concrezioni pluricentriche, localmente identificati con il termine "caranto", come si verifica in tutta la bassa pianura veneto-friulana (COMEL *et alii*, 1982; MOZZI *et alii*, 2003; MICHELUTTI *et alii*, 2003; FONTANA, 2006; TOSI *et alii*, 2007a; 2007b; RAGAZZI & ZAMARCHI, 2008; BONDESAN *et alii*, 2008). Questo tipo di suolo è in genere sovraconsolidato ed è facilmente riconoscibile per queste sue proprietà geotecniche anche quando è sepolto dai depositi del sistema del Po, come alla base della laguna di Caorle e sotto i dossi fluviali olocenici.

A partire dalla fase cataglaciale, nel settore apicale del *megafan* del Tagliamento i sedimenti del *subsistema di Canodusso* sono stati terrazzati dalla formazione di un largo e profondo solco d'incisione entro cui è rimasta confinata l'attività fluviale, mentre nel settore distale si è avuta la formazione di un nuovo lobo deposizionale (*subsistema di Remanzacco*) che ha localmente sepolto i depositi della fase pleniglaciale ed è caratterizzato da dossi con al centro paleoalvei ghiaioso-sabbiosi (Fig. 46). Dove sono presenti i dossi cataglaciali la superficie-limite basale del **SPB<sub>3</sub>** è marcata da una superficie erosiva, mentre dove la copertura è data dai depositi di piana alluvionale correlati ai dossi, il riconoscimento della sua superficie-limite superiore risulta problematico (Fig. 46).

*Caratteristiche litologiche e sedimentologiche.* Alternanze pluricentriche e decimetriche di limi, limi argillosi, argille limose e limi sabbiosi con presenza di lenti di sabbie, da fini a medie, con spessore da pluridecimetrico a

metrico, che mostrano talvolta una laminazione parallela da planare a incrociata a basso angolo. Nella serie si alternano orizzonti di limi organici o torbosi da centimetrici a decimetrici caratterizzati da notevole continuità laterale. In essi sono talvolta presenti faune continentali rappresentate da gasteropodi tipo *pulmonata*, tipici di ambienti terrestri e palustri d'acqua dolce. Le analisi polliniche evidenziano una limitata copertura vegetale caratterizzata da ambienti di tipo steppico freddo, con copertura arborea quasi assente.

Depositi correlati a corsi d'acqua di tipo *braided* sabbiosi, che nel settore meridionale divengono meandriiformi a bassa sinuosità. Le geometrie dei corpi sono associate a depositi di canale, argine naturale e piana inondabile; i canali sono sabbiosi, privi di ghiaie, con una geometria a lente, presentano un'ampiezza massima di 150 m e uno spessore che generalmente non supera 1-2 m. Un esempio delle caratteristiche stratigrafiche è fornito dalla sezione riportata in figura 45 e realizzata lungo la SS14 tra l'Idrovora Lison e il canale Fosson.

*Ambienti deposizionali.* L'ambiente di deposizione è quello fluvioglaciale distale, dove le acque di ablazione si organizzano in alvei di tipo *braided* cui sono associabili strutture di canale e di barra. Nel Foglio si riconoscono prevalentemente sequenze di piana alluvionale e di canali *braided* sabbiosi ad esse associate.

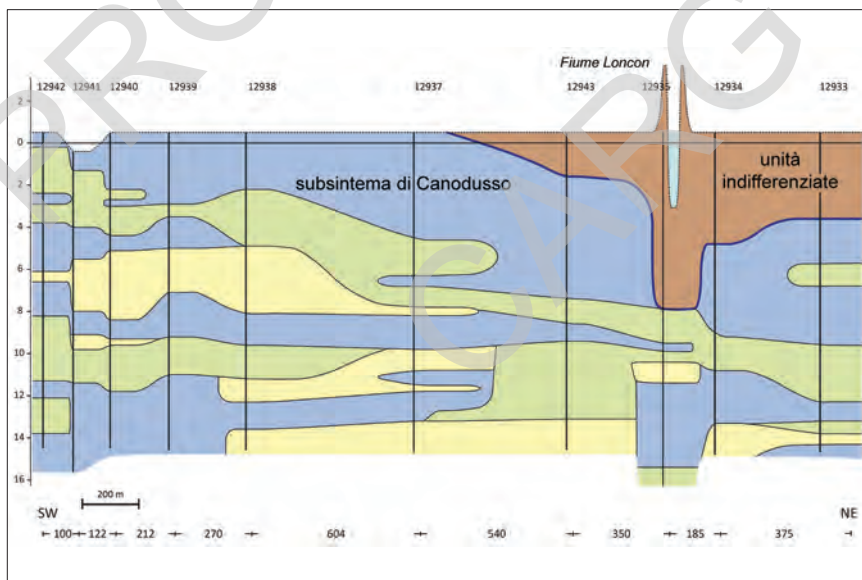


Fig. 45 - Sezione stratigrafica condotta lungo la SS 14 tra Idrovora Lison e Fosso Melon. In giallo le sabbie, in verde i limi e limi sabbiosi, in azzurro i limi e limi argillosi. Si noti la dominanza dei depositi fini, specialmente limi, e la limitata potenza dei corpi sabbiosi, che hanno spessore inferiore a 2 m (modificato da BONDESAN et alii, 2008).

*Determinazioni cronologiche.* L'età relativa alla base del **SPB<sub>3</sub>** è stata determinata in base a datazioni con il metodo del radiocarbonio su orizzonti organici e in particolare su quelli corrispondenti al tetto dei suoli sopra cui si trovano i depositi del *sintema di Canodusso*. Nel sondaggio CNC4 una datazione condotta sull'orizzonte organico a 29,32 m, posto al tetto del suolo sepolto dai depositi del **SPB**, ha fornito l'età di  $24.275 \pm 375$  anni <sup>14</sup>C BP; nel sondaggio Torre di Mosto un campione situato a 32,4 m di profondità, al di sopra del suolo sepolto e, quindi, già appartenente al **SPB** è risultato essere  $21.990 \pm 280$  anni <sup>14</sup>C BP. Presso l'Ospedale di Latisana un campione posto a 25,95 m ha fornito un'età di  $24.180 \pm 185$  anni <sup>14</sup>C BP, mentre presso Pramaggiore il campione situato a 30,77 m è risultato avere un'età di  $26.380 \pm 150$  anni <sup>14</sup>C BP.

Per quanto riguarda la fine del **SPB<sub>3</sub>** e l'inizio del **SPB<sub>4</sub>**, un livello di torbe, situato alla profondità di 4 m dal p.c. e corrispondente al tetto del **SPB<sub>3</sub>**, campionato presso l'acquedotto di Latisana, ha fornito un'età radiocarbonio di  $18.100 \pm 100$  anni <sup>14</sup>C BP. Un'età pari a  $15.565 \pm 175$  anni <sup>14</sup>C BP è stata riscontrata al tetto di un livello di argille organiche sepolto da un corpo di canale sabbioso-ghiaioso attribuito al **SPB<sub>4</sub>**, rinvenuto in trivellata a 1,85 m presso C. Marzino di Summaga (Fig. 46). In una situazione simile è stato campionato un orizzonte a 1,5 m di profondità presso Belfiore di Pramaggiore che ha fornito un'età di  $16.765 \pm 155$  anni <sup>14</sup>C BP.

*Età.* Il *subsintema di Canodusso* è stato attribuito al Pleistocene superiore; in particolare, le datazioni finora eseguite e i rapporti stratigrafici con le altre unità nei Fogli limitrofi permettono di collocarne l'età tra 22.000 e 18.000 anni <sup>14</sup>C BP circa (28.000-18.000 a.C. in cronologia calibrata), età riconducibile alla fase di avanzata e acme glaciale dell'episodio *LGM* nel bacino del Tagliamento, riconosciuta anche nella zona dell'anfiteatro morenico (MONEGATO *et alii*, 2007; ZANFERRARI *et alii*, 2008c).

*Correlazioni e corrispondenze stratigrafiche.* Nel Foglio della Carta Geologica delle Tre Venezie alla scala 1:100.000, Foglio 39 "Pordenone" (COMEL, 1956b) e nella Carta Allegata allo studio della bassa pianura friulana occidentale (COMEL, 1950) i depositi **SPB<sub>3</sub>** sono stati compresi nelle "Alluvioni prevalentemente sabbioso-argillose" del "Diluviale (Würmiano)". Nella "Carta Geomorfologica della bassa pianura friulana" (FONTANA, 2006), corrispondono all'unità di Lison, presente con le medesime caratteristiche anche nella Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia (BONDESAN *et alii*, 2008).

### 2.1.2. - *Subsintema di Remanzacco (SPB<sub>4</sub>)*

Rappresenta la porzione sommitale del *sintema di Spilimbergo* ed è formato dai depositi alluvionali sedimentati nella fase di ritiro del ghiacciaio del Tagliamento, informalmente definita come fase cataglaciale. Durante quest'ultima si è verificato un significativo cambiamento delle condizioni idrologiche, che ha prodotto l'incisione del tratto apicale del lobo pleniglaciale del *megafan*, con formazione in alta pianura di una valle ampia oltre un chilometro e fonda qualche

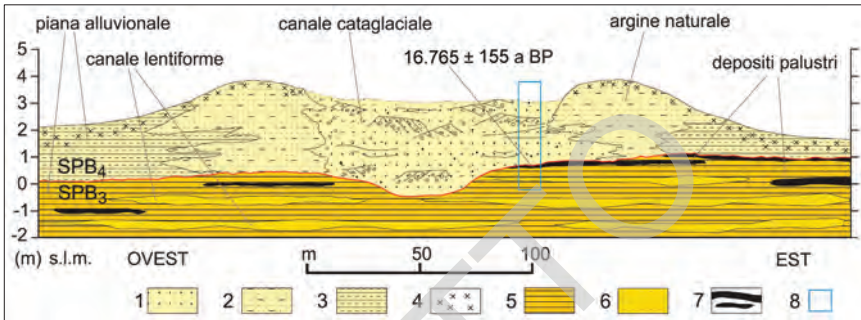


Fig. 46 - Sezione schematica dei dossi del subsistema di Remanzacco (modificato da FONTANA et alii, 2004). Legenda: 1) canale con sabbie ghiaiose a stratificazione incrociata tabulare e con strutture di erosione e riempimento, frequenti ciottoli di fango; 2) argini naturali sabbioso limosi con presenza di suoli evoluti, spesso con rubezzazione incipiente; 3) piana alluvionale distale limoso argillosa con laminazioni pluricentricimetriche e presenza di suoli calcici con caratteri idromorfi; 4) concrezioni e croste carbonatiche; 5) piana alluvionale pleniglaciale argilloso 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; 8) sequenza stratigrafica osservata in località Belfiore di Pramaggiore.

decina di metri (vedi Fig. 24 nel Capitolo V). Più a valle delle risorgive, invece, si è avuta sedimentazione, con aggradazione al di sopra dei depositi pleniglaciali del **SPB<sub>4</sub>**. Tuttavia, la sedimentazione del **SPB<sub>4</sub>** è avvenuta solo lungo poche direttrici, caratterizzata dalla presenza di stretti dossi fluviali. Nel Foglio **SPB<sub>4</sub>** affiora con continuità nel settore compreso tra Fossalta e Portogruaro fino alla laguna e tra le bassure occupate da Lemene e Reghena; è poi presente come isolati dossi presso Concordia Sagittaria, poco a SW di questo abitato, a ovest del Reghena presso l'autostrada A4, poi tra località Noiare e Bonazza e, infine, lungo due direttrici esistenti a est e a ovest di Annone Veneto.

*Superfici-limite e rapporti stratigrafici.* Il limite inferiore è rappresentato da una superficie erosiva di genesi alluvionale modellata nel *subsistema di Canodusso*. In varie località lungo le sponde di scavi artificiali e canali si è potuto osservare tale limite, rappresentato dalla superficie erosiva di un canale sabbioso-ghiaioso su depositi limoso-argillosi, talvolta organici, del **SPB<sub>3</sub>** (Fig. 46). Si evidenzia il fatto che, mentre nell'alta pianura la discontinuità è ben rappresentata dall'ampia e profonda incisione, nelle aree di bassa pianura il limite tra **SPB<sub>3</sub>** e **SPB<sub>4</sub>** è ben riconoscibile solo in corrispondenza dei dossi del **SPB<sub>4</sub>**, mentre dove questo subsistema è formato da depositi fini di piana alluvionale, non si riconoscono particolari superfici di discontinuità; in questo caso la separazione del *subsistema di Remanzacco* dal sottostante *subsistema di Canodusso* si basa essenzialmente su datazioni geocronologiche.

Il limite superiore del **SPB<sub>4</sub>** è dato in parte dal *top* deposizionale originario, parzialmente rimodellato, ed in parte da una superficie di erosione di natura alluvionale modellata dal Tagliamento nel postglaciale. Dove la superficie-limite



superiore coincide con il *top* deposizionale, essa è caratterizzata da suoli con caratteristiche analoghe a quelle descritte per il *sintema di Canodusso*. Tali suoli possono essere rinvenuti anche al di sotto del *sintema del Po* dove esso ha sepolto **SPB<sub>4</sub>**.

*Caratteristiche litologiche e sedimentologiche.* Depositi da limosi a ghiaioso-sabbiosi, correlati alla formazione di dossi fluviali sabbioso-ghiaiosi, larghi 100-300 m con un'elevazione al massimo di 2 m rispetto alla pianura circostante.

Gli alvei sono larghi 60-100 m, con potenza massima di 4 m e, pur essendo monocursali, sono caratterizzati da strutture sedimentarie tipiche dei fiumi a canali intrecciati; si tratta di ghiaie sabbiose con stratificazione incrociata tabulare, presenza di ciottoli di fango, strutture di erosione e riempimento (*scour and fill*) e talvolta superfici di riattivazione. I canali, inoltre, sono riempiti totalmente da depositi grossolani, mentre mancano sequenze di abbandono o di canali residuali con accumulo di eventuali orizzonti organici o resti vegetali.

Presso il colmo degli argini naturali, caratterizzati da sedimenti sabbiosi e sabbioso-limosi facilmente drenati, sono talvolta presenti suoli relativamente più evoluti, con rubefazione incipiente. All'esterno dei depositi di argine si riconoscono limi, limi argillosi e argille limose in strati tabulari da centimetrici a decimetrici, talvolta con laminazione piano parallela millimetrica. Depositi di piana inondabile con geometria tabulare e spessore massimo di 4 m. Particolarmente ben evidente è la direttrice fluviale del **SPB<sub>4</sub>** che passa per località Torresella e può essere seguita per alcuni chilometri.

*Ambienti deposizionali.* Si tratta di depositi alluvionali di corsi d'acqua di tipo *wandering*. Le strutture sono associate a depositi di canale, barra, argine e *overbank*.

*Determinazioni cronologiche.* Per la datazione dell'inizio del **SPB<sub>4</sub>** si veda quanto indicato riguardo al tetto del **SPB<sub>3</sub>**. Nel sondaggio CNC4, un campione di frammenti di legno raccolti entro i depositi di canale di un alveo attribuito al **SPB<sub>4</sub>** ha fornito un'età >43.790 anni <sup>14</sup>C BP. Questo dato testimonia il fatto che l'incisione formata in alta pianura dal Tagliamento durante la fase cataglaciale ha rielaborato depositi molto più antichi del suo *megafan*, risedimentandoli nel settore distale.

*Età.* Per la posizione stratigrafica si attribuisce al *subsintema di Remanzacco* un'età compresa tra le fasi finali del pleniglaciale e quelle iniziali del tardoglaciale. Sulla base delle datazioni geocronologiche e dei rapporti stratigrafici ha un'età compresa tra circa 18.000 e 15.500 anni <sup>14</sup>C BP non calibrati.

*Correlazioni e corrispondenze stratigrafiche.* Nel Foglio 39 "Pordenone" della Carta Geologica delle Tre Venezie alla scala 1:100.000 (COMEL, 1956b) e nella Carta Allegata allo studio della bassa pianura friulana occidentale (COMEL, 1950) i depositi **SPB<sub>4</sub>** ricadenti nel Foglio "Portogruaro" sono stati compresi nelle "Alluvioni ghiaiose leggermente ferrettizzate e alluvioni ghiaiose miste a particelle argillose" e nelle "Alluvioni prevalentemente sabbioso-argillose" del "Diluviale (Würmiano)". Nella "Carta Geomorfologica della bassa pianura friulana" (FONTANA, 2006), corrispondono all'unità di Torresella, presente con le medesime caratteristiche anche nella Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia (BONDESAN *et alii*, 2008).



Fig. 47 - Panoramica (a) e particolare (b) della sezione di un alveo posto su un dosso fluviale attribuito alla fase cataglaciata. Sotto l'arativo si riconoscono sabbie e sabbie ghiaiose con stratificazione incrociata. Località Malcantone, a est del casello autostradale di Portogruaro.

## 2.2. - SINTEMA DEL PO (POI)

Il *sintema del Po* raggruppa i depositi sedimentati durante il postglaciale, ovvero dall'inizio del tardoglaciale fino all'attuale, comprendendo quindi circa gli ultimi 17.000 anni. Il **POI** rappresenta i depositi senza differenze per i bacini alluvionali di provenienza ed è suddiviso nelle unità di Malamocco (**POI<sub>9</sub>**) e di Torcello (**POI<sub>10</sub>**), corrispondenti rispettivamente ai sedimenti postglaciali depositi fino all'epoca romana e a quelli successivi; convenzionalmente si parla rispettivamente di depositi postglaciale preromani e post-romani. Nel Foglio i depositi alluvionali sono stati separati in **POI<sub>9</sub>** e **POI<sub>10</sub>**, ad esclusione di quelli dei paleoalvei, mentre sono stati rappresentati come **POI** indifferenziato i sedimenti di ambiente marino e lagunare. Si tratta dei depositi litorali lagunari, di spiaggia e dei depositi marini di prodelta e transizione alla piattaforma, per i quali spesso non è disponibile una datazione precisa. Infatti, pur essendo quasi sempre post-romani nella loro porzione più recente, in molti casi essi sono anteriori al IV secolo d.C. pochi decimetri sotto la superficie; in altre aree inoltre, i depositi post-romani non sono differenziabili da quelli precedenti se non con datazioni geocronologiche.

Per motivi analoghi, anche i paleoalvei sono rappresentati come **POI** indifferenziato, tuttavia, nella stragrande maggioranza dei casi, essi possiedono l'età dell'unità entro cui sono contenuti.

*Superfici-limite e rapporti stratigrafici.* Le notevoli modificazioni indotte dalle operazioni di bonifica agraria condotte tra la fine del XIX e il XX secolo hanno notevolmente rimaneggiato le porzioni superficiali di questa unità stratigrafica. Il limite superiore, costituito dal *top* deposizionale originario, parzialmente rimodellato, coincide con la superficie topografica. Nelle aree emerse sono presenti entisuoli con profilo tipo A-C e molto raramente da inceptisuoli con presenza di orizzonti calcici in cui le concrezioni carbonatiche hanno diametro inferiore a 1 cm.

Il limite inferiore è costituito da una superficie erosiva nei confronti del **SPB**; all'esterno delle incisioni fluviali esso è un limite inconforme che materializza una lacuna stratigrafica avente un'estensione regionale di durata variabile tra 9000 e 16.000 anni, rappresentata da suoli con buon grado di evoluzione, localmente definiti "caranto" (vedi Paragrafo relativo a **SPB<sub>3</sub>**). Dove il **POI** è costituito da depositi lagunari che sono trasgrediti in *onlap* sopra le facies alluvionali del **SPB**, spesso il suolo presente al *top* di questo è stato sepolto e conservato, permettendo di datare l'arrivo dei primi sedimenti lagunari.

*Caratteristiche litologiche e sedimentologiche.* I depositi alluvionali di paleoalveo (**POIb**) sono costituiti da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie, talvolta con intercalazioni di limi sabbiosi e limi in sequenze tipicamente *fining upward*; talora si riconoscono laminazioni incrociate concave e planari. Al tetto possono essere presenti limi e argille, spesso con elevato contenuto organico e torbe corrispondenti a depositi di disattivazione dell'alveo e di lago di meandro. Lo spessore dei corpi di canale può variare da 3 a 20 m, lateralmente passano a depositi di argine naturale e piana inondabile.



Fig. 48 - Sezione dei depositi lagunari del **POI** presso Casa Tonin di S. Giorgio di Livenza.

I depositi litorali lagunari (**POIe1**) corrispondono a corpi di canale o argine lagunare e di laguna o palude salmastra. Nel primo caso sono costituiti da sabbie e sabbie limose con resti di molluschi di ambiente salmastro (*Cerastoderma*, *Loripes*, *Bittium*, *Gibbula*, *Abra* sp.). La geometria è nastriforme e lentiforme, mentre lo spessore varia da 1 a 6 m. Nel secondo caso si rinvencono limi, limi argillosi, limi organici e torbosi, talvolta associazioni di alcune di queste classi (Fig. 48). Si riconoscono localmente zone con argille e argille limose, spesso ricche in sostanza organica, talvolta intercalati ad argille e limi torbosi e torba in strati da molto sottili a medi. Corpi sedimentari con geometria prevalentemente tabulare e nastriforme con spessori massimi di circa 10 m nelle zone poste a nord degli attuali lidi costieri (vedi sezione C-C' nel Foglio Sottosuolo).

I depositi litorali di spiaggia (**POIg2** se emersi, **POIg8** se sommersi) corrispondono a sedimenti in facies di dune costiere e *shoreface*. Sono formati da sabbie da medie a fini e finissime, talvolta limose e talvolta alternate a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi in strati molto sottili e sottili. Depositi di dune costiere e spiaggia con spessori massimi di circa 10 m e talvolta abbondanti bioclasti formati da gusci interi e frammenti di molluschi marini.

I depositi di prodelta e transizione alla piattaforma (**POIg11**) sono formati da limi, limi sabbiosi con intercalazioni da millimetriche a centimetriche di sabbie fini, ricchi di bioclasti di molluschi di ambiente marino (*Turritella*, *scafopodi*, *Spisula* sp.).

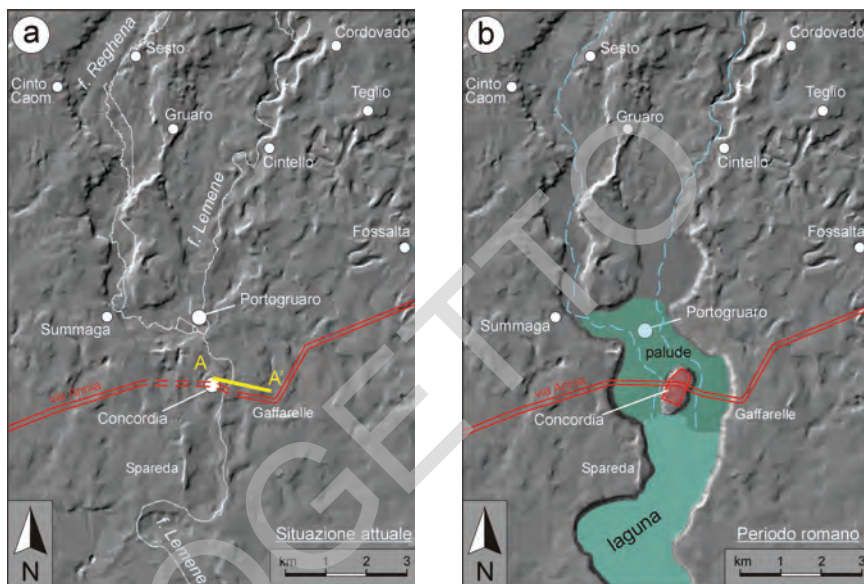


Fig. 49 - Modello digitale del terreno dell'area tra Concordia Sagittaria e Portogruaro (da FONTANA, 2006). a) Situazione topografica attuale; b) situazione topografica e ambientale durante l'epoca romana. Con la doppia linea rossa è indicato il tracciato della via Annia, che non è visibile in superficie presso Concordia per il seppellimento causato dalle alluvioni medievali dell'unità di Torcello. Il poligono rosso indica il perimetro murario della città romana di Concordia. La linea gialla A-A' indica la traccia della sezione rappresentata in Fig. 50.

**Ambienti deposizionali.** Nel **POI** indifferenziato sono compresi i depositi del post-LGM sedimentati in ambiente di prodelta e transizione alla piattaforma (**POI<sub>g11</sub>**), quelli litorali lagunari (**POI<sub>e1</sub>**) e quelli litorali di spiaggia (**POI<sub>g2</sub>** se emersi, **POI<sub>g8</sub>** se sommersi). Vi appartengono anche i depositi di ambiente alluvionale in facies di paleoalvei.

**Determinazioni cronologiche.** Dove i depositi lagunari del **POI** seppelliscono in *onlap* il suolo che si era sviluppato al *top* del **SPB** la datazione dell'orizzonte organico del paleosuolo o dei primi sedimenti lagunari che lo seppelliscono consente di stimare l'età d'inizio dell'aggradazione del **POI**; trattandosi di un'unità tempo-trasgressiva, l'età della base presenta valori più giovani spostandosi da mare verso il bordo lagunare. Un campione a profondità di 7,15-7,24 m presso località S. Gaetano ha fornito un valore di 6080±80 anni <sup>14</sup>C BP; nel carotaggio TdM a 7,85 m dal p.c. l'età risulta essere di 6580±55 anni <sup>14</sup>C BP; poco a est di Concordia, a 8,0-8,15 m nel carotaggio Sepolcreto, la base lagunare è datata a 5910±70 anni <sup>14</sup>C BP (Fig. 50), mentre poco a ovest nel carotaggio Paludetto risulta essere del 5700±70 anni <sup>14</sup>C BP; in località Palude della Rocca in laguna di Caorle i depositi lagunari posti 5,45 m da p.c. hanno 5730±260 anni <sup>14</sup>C BP.

Un'età differente presentano le porzioni basali delle incisioni fluviali più profonde, formatesi a partire dal tardoglaciale. In particolare a 13,54 m dal p.c. nel carotaggio Paludetto i depositi grossolani del post-LGM erano già depositi nel 11.960±95 anni <sup>14</sup>C BP. Dato che la stessa incisione poco a monte, presso Casa Marzino, erode i depositi del SPB<sub>4</sub> datati a 15.565±175 anni <sup>14</sup>C BP, significa che l'attivazione del POI è avvenuta successivamente a essi e, quindi, attorno a 15.000 anni a.C. in cronologia calibrata.

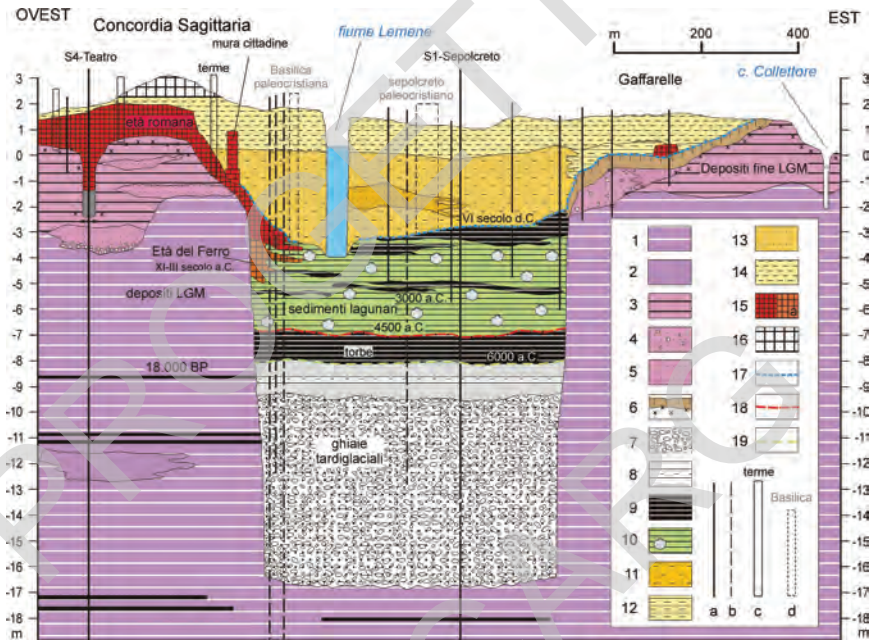


Fig. 50 - Sezione stratigrafica dell'antica valle fluviale presente a est di Concordia (FONTANA, 2006). Per l'ubicazione si veda Fig. 43. Legenda: a) sondaggi; b) proiezione di sondaggi poco distanti dalla traccia della sezione; c) scavi archeologici editi presenti lungo la sezione o loro proiezioni; 1) piana alluvionale tardo-pleistocenica (limi e limi argillosi); 2) ghiaie medie (2-5 cm) trasportate dal percorso del Tagliamento che formò la valle prima della trasgressione marina olocenica; 3) sedimenti lagunari e fluvio-lagunari (limi argillosi e limi con frammenti di molluschi lagunari e frammenti vegetali); 4) torbe e depositi organici ricchi di frammenti vegetali; 5) corpo di canale tardo-pleistocenico (sabbie ghiaiose disposte in barre); 6) corpo di rotta o canale sabbioso tardo-pleistocenico (sabbie da medie a fini con stratificazione interna parallela e incrociata); 7) suolo sepolto della superficie pleistocenica con accumulo di concrezioni carbonatiche e talvolta presenza di tracce di frequentazione romana; 8) depositi antropici legati alla frequentazione protostorica e romana; 9) depositi di rotta e canale fortemente idromorfi (limi sabbiosi e sabbie fini); 10) depositi di canale (sabbie limose e sabbie medie); 11) depositi di tracimazione (limi e limi argillosi con frammenti vegetali e di gasteropodi continentali); 12) depositi di dosso (sabbie limose e sabbie); 13) depositi di canale (sabbie medie disposte in stratificazione incrociata e parallela); 14) depositi antropici moderni e attuali; 15) discontinuità tra i depositi lagunari-fluviali e quelli del Tagliamento del VI secolo d.C.; 16) discontinuità tra i depositi fluviali del Tagliamento che incise la valle e il riempimento fluvio-lagunare olocenico.

*Età.* I depositi del **POI** si sono sedimentati nel post-*LGM* e sono quasi sempre olocenici; tuttavia, nel caso delle incisioni fluviali più profonde la loro formazione e la deposizione dei sedimenti basali grossolani è attribuibile alle fasi finali del Pleistocene superiore, durante il tardoglaciale.

*Correlazioni e corrispondenze stratigrafiche.* Nei Fogli 39 “Pordenone” e 52-53 “S. Donà di Piave e Foce del Tagliamento” della Carta Geologica delle Tre Venezie alla scala 1:100.000 (COMEL, 1956b; 1959) sono definiti come depositi del “postglaciale” e suddivisi in “Dune costiere e formazioni sabbiose litoranee”, “Sedimenti di fondo lagunare con resti di molluschi, *Cerastoderma edule* L. ecc.”, mentre per la parte lagunare sommersa sono definiti come “Isolotti lagunari e alveo dei fiumi”. Nei Fogli 39 “Pordenone” e 40 “Palmanova” (COMEL, 1956b) fanno sempre parte del “postglaciale (Alluviale)” e sono differenziati in “greti dei fiumi e zone lagunari” per le porzioni sommerse della laguna di Caorle, “Terreni per lo più ancora organici riposanti su depositi fluviali o su fondi lagunari” per le zone di bonifica.

Nella “Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia” (BONDESAN *et alii*, 2008) i depositi lagunari corrispondono all’unità di Caorle, quelli di spiaggia all’unità “Litorale indifferenziata” e all’ “unità di Bibione”.

### 2.2.1. - *Unità di Malamocco (POI<sub>9</sub>)*

Depositi alluvionali successivi allo scioglimento dei ghiacciai pleistocenici e precedenti al IV-V secolo d.C. Sono anche definiti come depositi post-*LGM* preromani in quanto al loro tetto sono frequentemente presenti strutture archeologiche e reperti d’epoca romana (II secolo a.C. - IV-V secolo d.C.) che ne consentono la separazione dal **POI<sub>10</sub>**, post-romano. Comprende i sedimenti correlabili a corsi fluviali di tipo meandriforme dei lobi postglaciali dei *megafan* di Tagliamento e Piave e del sistema alluvionale del fiume Livenza.

*Superfici-limite e rapporti stratigrafici.* Il limite inferiore è costituito da una superficie erosiva nei confronti del **SPB**; all’esterno delle incisioni fluviali esso è un limite inconforme che materializza una lacuna stratigrafica avente un’estensione regionale di durata variabile tra 9000 e 16.000 anni, rappresentata da suoli con buon grado di evoluzione, localmente definiti “caranto”, presenti al *top* di **SPB** (vedi Paragrafo relativo a **SPB<sub>3</sub>**).

Il limite superiore è dato dal *top* deposizionale originario parzialmente rimodellato e, localmente, inciso dai maggiori corsi di risorgiva. Nelle aree emerse sono presenti suoli da poco a mediamente evoluti, spesso con profilo A-C, più raramente con presenza di orizzonte calcico con concrezioni carbonatiche aventi dimensioni subcentimetriche.

*Caratteristiche litologiche e sedimentologiche.* Nel Foglio il **POI<sub>9</sub>** è costituito soprattutto da depositi di argine, rotta e più genericamente dosso fluviale, formati da sabbie da medie a fini, talvolta limose, e da alternanze pluricentriche di sabbie e limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi. Formano corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme e lentiforme, con

spessore massimo di alcuni metri (2-5 m) e larghezza anche di alcune centinaia di metri. Tali corpi passano lateralmente a depositi di piana inondabile o palude di acqua dolce formati da limi, limi argillosi; si riconoscono localmente zone con argille e argille limose, spesso ricche in sostanza organica, talvolta intercalate ad argille e limi torbosi e torba in strati. I depositi fini formano corpi sedimentari a geometria lenticolare, tabulare e nastroforme, con spessore massimo di alcuni metri (3-5 m).

All'interno del Foglio i depositi dei paleoalvei post-*LGM* riconoscibili in superficie sono stati rappresentati in modo indifferenziato come **POI<sub>b</sub>**, ma nel sottosuolo al **POI<sub>9</sub>** corrispondono anche corpi di ghiaie e ghiaie sabbiose, sabbie, talvolta limose con sequenze tipicamente *fining upward*; formano corpi a geometria nastroforme corrispondenti a depositi di canale fluviale, generalmente scavati entro i sedimenti del **SPB**; tali corpi hanno una larghezza media di poche decine di metri e uno spessore generalmente variabile di 5-12 m; ma, all'interno delle incisioni fluviali più profonde, si riconoscono canali sovrapposti, rappresentativi di più fasi di riattivazione, che complessivamente raggiungono uno spessore massimo di 20 m (Fig. 50). Come documentato dai carotaggi effettuati presso località Sepolcreto di Concordia e Marina di Lugugnana (LUG), al fondo delle incisioni i depositi ghiaiosi possono essere costituiti da clasti di 3-4 cm (Figg. 39 e 50).

*Ambienti deposizionali.* Si tratta di depositi di ambiente alluvionale con presenza di facies di piana d'ondazione, argine naturale e canale; i canali affioranti sono rappresentati come indifferenziati (**POI<sub>b</sub>**), tuttavia sono in genere attribuibili alle unità sopra cui sono rappresentati.

*Determinazioni cronologiche.* L'inizio della deposizione del **POI<sub>9</sub>** è testimoniato dalle porzioni basali delle incisioni fluviali più profonde, formatesi a partire dal tardoglaciale. In particolare a 13,54 m dal p.c. nel carotaggio Paludetto di Concordia Sagittaria i depositi grossolani del post-*LGM* erano già in posto nel 11.960±95 anni <sup>14</sup>C BP. Dato che la stessa incisione erode presso Casa Marzino i depositi del **SPB<sub>4</sub>**, datati 15.565±175 anni <sup>14</sup>C BP, significa che l'attivazione del **POI<sub>9</sub>** è avvenuta successivamente a questa data; quindi, per i rapporti di stratigrafia relativa, il **POI<sub>9</sub>** ha iniziato a sedimentare attorno a 15.000 anni a.C. Cronologicamente il limite tra **POI<sub>9</sub>** e **POI<sub>10</sub>** è rappresentato dall'epoca romana e, quindi i depositi più recenti del **POI<sub>10</sub>** sono databili al IV-V secolo d.C.

*Età.* I depositi del **POI<sub>9</sub>** sono del post-*LGM*, precedenti al IV-V secolo d.C. e sono quasi sempre olocenici; tuttavia, nel caso delle incisioni fluviali più profonde la loro formazione e la deposizione dei sedimenti basali grossolani è attribuibile alle fasi finali del Pleistocene superiore, durante il tardoglaciale.

*Correlazioni e corrispondenze stratigrafiche.* Nei Fogli 39 "Pordenone" e 40 "Palmanova" della Carta Geologica delle Tre Venezie alla scala 1:100.000 (COMEL, 1954; 1956b; 1959) sono definiti come depositi del "postglaciale" e "Alluvioni sabbioso-limoso calcaree", "Alluvioni limoso-argillose rimaneggiate da piene più recenti", "Alluvioni ghiaiose"; nel Foglio 52-53 "S. Donà di Piave e Foce del Tagliamento" corrispondono a parte delle "Alluvioni sabbioso-limose calcareo dolomitiche del Piave, del Livenza e del Tagliamento" (COMEL, 1959).



Nella “Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia” (BONDESAN *et alii*, 2008) i depositi alluvionali preromani che ricadono nell’area del Foglio sono suddivisi fra le unità di “Cinto Caomaggiore”, “Alvisopoli” e “Lugugnana”, per il Tagliamento, e fra quelle del “Piavon”, “Grassaga” e “Cittanova”, per il Piave.

### 2.2.2. - Unità di Torcello (POI<sub>10</sub>)

Depositi alluvionali costituenti l’unità sommitale del sistema del Po, successivi alla fine del periodo romano (IV-V secolo d.C.) e, quindi, definiti anche come depositi post-romani. Il **POI<sub>10</sub>** comprende i sedimenti correlabili a corsi fluviali di tipo meandriforme dei lobi postglaciali dei *megafan* di Tagliamento e Piave e del sistema alluvionale del fiume Livenza.

*Superfici-limite e rapporti stratigrafici.* Il limite inferiore corrisponde ad una superficie erosiva rispetto al **POI<sub>9</sub>** o al **SPB**; *marker* fondamentale per la separazione dalle unità stratigrafiche precedenti è la presenza sulla superficie di appoggio basale di reperti d’epoca romana e soprattutto di strutture archeologiche *in situ* di quel periodo. Spesso la superficie erosiva basale si è formata a spese di un suolo che può avere vari gradi di evoluzione a seconda che si tratti del *top* del **POI<sub>9</sub>** o dal **SPB** (vedi Paragrafi relativi a **POI<sub>9</sub>** e **SPB<sub>3</sub>**).

Il limite superiore coincidente con la superficie topografica, caratterizzata da entisuoli con profilo tipo A-C; in limitati casi sono presenti orizzonti di riprecipitazione di carbonati, poco sviluppati, in cui le concrezioni hanno dimensioni millimetriche.

*Caratteristiche litologiche e sedimentologiche.* Come il **POI<sub>9</sub>**, anche il **POI<sub>10</sub>** è costituito soprattutto da depositi di argine, rotta e più genericamente di dosso fluviale; in molti casi si tratta di sedimenti correlati alle direttrici fluviali ancora attive, mentre più limitatamente sono relazionati a rami attualmente disattivati, in parte anche per effetto di diversioni artificiali; quest’ultimo è ad esempio il caso della Livenza Morta, chiusa nel 1654 per l’apertura dell’attuale alveo lungo un nuovo taglio (FONTANA, 2004b). I depositi del **POI<sub>10</sub>** sono formati da sabbie, talvolta limose, e da alternanza pluricentriche di sabbie e limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi. Formano corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme e lentiforme, con spessore massimo di alcuni metri (2-5 m) e larghezza anche di alcune centinaia di metri. Tali corpi passano lateralmente a depositi di piana inondabile o palude di acqua dolce formati da limi, limi argillosi; si riconoscono localmente zone con argille e argille limose, spesso ricche in sostanza organica, talvolta intercalate ad argille e limi torbosi e torba in strati. I depositi fini formano corpi sedimentari a geometria lenticolare, tabulare e nastriforme, con spessore massimo di alcuni metri (3-5 m).

All’interno del Foglio i depositi dei paleoalvei post-LGM riconoscibili in superficie sono stati rappresentati in modo indifferenziato come **POIb**. I paleoalvei formati in epoca post-romana hanno dimensioni uguali a quelle degli alvei attuali; la loro profondità massima è di 10-12 m e al fondo sono caratterizzati dalla presenza di sabbie da medie a grossolane. Attualmente, e anche nel corso degli

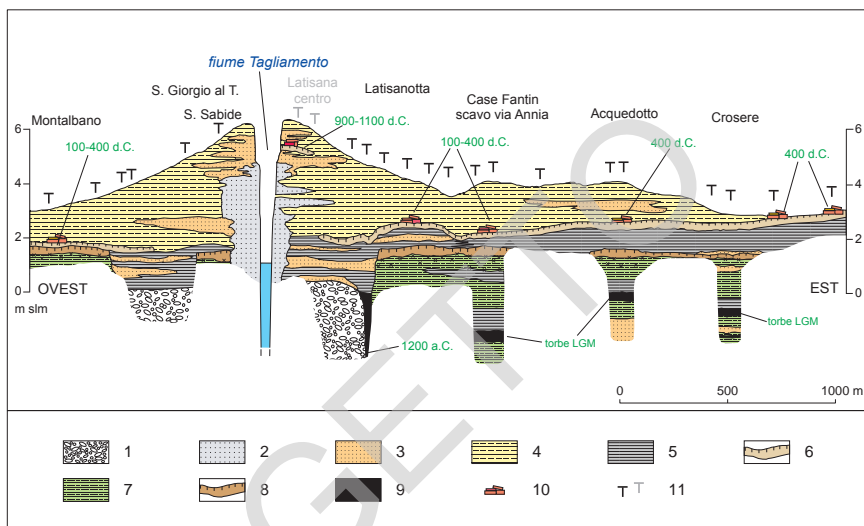


Fig. 51 - Sezione stratigrafica dell'attuale dosso del Tagliamento poco a monte di Latisana (FONTANA, 2004a), per l'ubicazione si veda la Fig. 44. Legenda: 1) depositi di dosso e piana prossimale (limi e limi sabbiosi); 2) depositi di canale (sabbie da fini a grossolane con stratificazione interna millimetrica e centimetrica parallela e incrociata); 3) depositi di argine naturale e di rotta (sabbie da fini a medie con stratificazione interna millimetrica o centimetrica parallela e incrociata); 4) depositi di piana distale o di depressione (limi argillosi e argille con laminazione parallela millimetrica, spesso con presenza di frammenti vegetali e di gasteropodi continentali); 5) suolo sepolto olocenico; 6) depositi di piana alluvionale (argille, argille limose e limi argillosi, con laminazione millimetrica parallela); 7) suolo presente al tetto della superficie tardo-pleistocenica, orizzonti superiori decarbonatati e accumulo di concrezioni carbonatiche in quelli inferiori; 8) depositi organici (torbe, argille e limi organici ricchi di frammenti vegetali talvolta poco decomposti e con presenza di frammenti di gasteropodi continentali); 9) depositi di canale (ghiaie da medie a fini e ghiaie con sabbie disposte in barre); 10) siti archeologici o presenza di rari frammenti di manufatti; 11) sondaggi, trincee o scavi; in grigio proiezione di sondaggi e scavi poco distanti dalla traccia della sezione (ad esempio lo scavo di Latisana centro).

ultimi secoli, lungo l'alveo del Tagliamento l'area di deposizione delle ghiaie termina circa 1,5 km a monte del ponte ferroviario di Latisana. Nel caso della direttrice attuale e di quella di Concordia, seguita tra VI-VIII secolo d.C., gli alvei di **POI<sub>10</sub>** hanno rioccupato le incisioni fluviali già esistenti causandone il riempimento completo e l'obliterazione della morfologia depressa (Figg. 50 e 51).

*Ambienti deposizionali.* Si tratta di depositi di ambiente alluvionale con presenza di facies di piana d'ondazione, argine naturale e canale.

*Determinazioni cronologiche.* L'inizio della deposizione del **POI<sub>10</sub>** è successiva al IV-V secolo d.C. e tale dato è ben testimoniato in corrispondenza dell'area di Latisanotta di Latisana, all'esterno degli argini che delimitano l'attuale alveo del Tagliamento. In varie sezioni esposte dal rifacimento di fossi e in vari carotaggi è stato riconosciuto il suolo sepolto su cui si era attuata la frequentazione romana; la profondità a cui si trova questo elemento decresce allontanandosi

dal fiume, fino a coincidere con la superficie attuale, per la presenza del dosso attuale del Tagliamento (Fig. 51). Una situazione simile è documentata anche presso Concordia Sagittaria (Figg. 50 e 52).

*Età.* I depositi del **POI<sub>9</sub>** sono del post-*LGM*, precedenti al IV-V secolo d.C. e sono quasi sempre olocenici; tuttavia, nel caso delle incisioni fluviali più profonde la loro formazione e la deposizione dei sedimenti basali grossolani è attribuibile alle fasi finali del Pleistocene superiore, durante il tardoglaciale.

Si tratta di depositi di ambiente alluvionale con presenza di facies di piana d'esonazione, argine naturale e canale.

*Correlazioni e corrispondenze stratigrafiche.* Nei Fogli 39 “Pordenone” e 40 “Palmanova” della Carta Geologica delle Tre Venezie alla scala 1:100.000 (COMEL, 1954; 1956b; 1959) sono definiti come depositi del “postglaciale” e rappresentano parte delle “Alluvioni sabbioso-limoso calcaree” e “Alluvioni limoso-argillose rimaneggiate da piene più recenti”; nel Foglio 52-53 “S. Donà di Piave e Foce del Tagliamento” corrispondono a parte delle “Alluvioni sabbioso-limoso calcareo dolomitiche del Piave, del Livenza e del Tagliamento” (COMEL, 1959).

Nella “Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia” (BONDESAN *et alii*, 2008) i depositi alluvionali post-romani che ricadono nell'area del Tagliamento sono suddivisi fra le unità di Latisana e di Concordia per il Tagliamento e quella Torre di Mosto per il sistema Piave-Livenza.



Fig. 52 - Concordia, Via 25 aprile, le ghiaie corrispondono al tracciato di una piccola strada romana che poggia sulla superficie *LGM* ed è sepolta dalle alluvioni medievali limoso sabbiose dell'unità di Torcello.

### 2.3. - UNITÀ UBIQUITARIE (UIN)

Depositi legati al ristagno d'acqua in zone di basso morfologico corrispondenti alle incisioni formate dai corsi di risorgiva e dal reticolo idrografico minore. Nelle aree del Foglio l'unità è caratterizzata da limi, limi argillosi e argille, spesso ricchi di sostanza organica. Nel quadrante NW del Foglio esistono ampi settori del **SPB<sub>3</sub>** caratterizzati da sedimenti limoso-argillosi e su cui si è sviluppato un reticolo idrografico di risorgiva minore ben formato, con affluenti spesso disposti a creare un *pattern* dendritico. Tali corsi sono spesso situati entro strette incisioni che ne sottolineano il tracciato. L'unità è inoltre affiorante sul fondo della bassura del fiume Reghena, che è invece molto ampia in quanto tale corso di risorgiva ha rioccupato una valle fluviale scavata dal Tagliamento tra il Tardoglaciale e l'inizio dell'Olocene.

*Superfici-limite e rapporti stratigrafici.* Le notevoli modificazioni indotte dalle operazioni di bonifica agraria condotte nel XX secolo hanno notevolmente rimaneggiato i sedimenti di questa unità. La superficie-limite superiore, che coincide con il *top* deposizionale, talvolta è ancora attiva ed è caratterizzata da suoli molto organici e idromorfi. Il limite inferiore è assai variabile come tipologia e come profondità e può essere sia erosivo sia in continuità stratigrafica. Lo spessore di questi depositi è pure assai variabile: da 0,5 m fino a 3-5 m.

*Caratteristiche litologiche e sedimentologiche.* Limi e argille con elevato contenuto di sostanza organica e talvolta torbe, spesso con presenza di resti di



Fig. 53 - Idrovora Lison, tenuta Bosco del Merlo. Sezione del paleoalveo del Lison, sullo sfondo la SS 14.

gasteropodi palustri (*pulmonata*). Depositi di piana inondabile e localmente di palude d'acqua dolce.

Un caso un po' particolare è quello dei depositi argilloso-organici e torbosi che caratterizzano i territori adiacenti il corso del Loncon. Si tratta sempre di sedimenti di tipo palustre in cui lo spessore medio è di 2-4 m nelle incisioni formate dagli affluenti del fiume Loncon ma può raggiungere anche gli 8 m lungo l'asta del fiume. Sulle aree esterne alle incisioni lo spessore massimo è di 1 m. I sedimenti organici si sarebbero accumulati in quanto i piccoli fiumi di risorgiva o di drenaggio locale, precedentemente incisi di alcuni metri nella pianura (3-7 m), sarebbero stati ostacolati nel loro fluire verso valle dal sollevamento eustatico olocenico e dalla formazione della laguna di Caorle. Il ristagno idrico avrebbe dapprima causato il riempimento delle incisioni con sedimenti torbosi e, successivamente, favorito la deposizione di sedimenti palustri anche nelle aree esterne.

*Ambienti deposizionali.* Depositi delle incisioni occupate dai corsi di risorgiva o dal drenaggio locale; ambiente alluvionale con facies palustri e di piana inondabile, confinate entro zone depresse.

*Età.* È verosimile che il reticolo di risorgiva e quello dovuto al drenaggio locale abbiano cominciato a strutturarsi immediatamente dopo la disattivazione del subsistema di Remanzacco e che quindi i depositi all'interno delle bassure di risorgiva possano in qualche caso essersi formati anche già nel Tardoglaciale. Tuttavia, l'accumulo di sostanza organica sembra essere riconducibile in quasi tutti i casi all'Olocene e, in particolare, nella sua porzione media e finale.

*Correlazioni e corrispondenze stratigrafiche.* Nei Fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (Foglio 39 "Pordenone", COMEL, 1956b) questi depositi sono compresi nelle "Bassure di risorgiva" del "Postglaciale"; mentre nella "Carta Geomorfologica della bassa pianura friulana" sono descritti come unità del Lemene, del Reghena e del Loncon (FONTANA, 2006). Nella Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia (BONDESAN *et alii*, 2008) questi depositi corrispondono alla "unità dei fiumi di risorgiva" e alla "unità di Loncon".

PROGETTO  
CARG

## VIII - SISMICITÀ E ASPETTI NORMATIVI

(L. Peruzza)

Dal punto di vista sismologico e sismogenetico l'area coperta dal Foglio Geologico 107 "Portogruaro" si presenta in una zona di rilevanza molto modesta, similmente a quanto avviene per tutta la bassa pianura veneto-friulana. I più recenti cataloghi parametrici (BOSCHI *et alii*, 2000; CPTI, 1999-2004) riportano per l'area alcuni eventi di bassa magnitudo. Un'analisi critica delle informazioni storiche suggerisce di ridimensionare l'attribuzione genetica di questi eventi all'area investigata. Il terremoto del 14/04/1529 che ricade all'interno del Foglio "Portogruaro", e l'evento riferito al 24/06/1892 al suo margine orientale, sono da considerarsi epicentri fittizi, legati all'ubicazione dei risentimenti di eventi avvenuti altrove (non precisabile, nel caso dell'evento del XVI secolo, nell'area di Barcis-Claut per l'evento del XIX secolo). Resta confermata dalle fonti (MARTINELLI, 1913) la presenza di un focolaio sismico dalle caratteristiche molto locali, che ha interessato le località di Villanova, Mussons, S. Paolo e Morsano. Il 5 aprile 2010 oltre alla scossa segnalata alle 20:20 circa, vengono riportate notizie di due scosse più leggere durante la notte; l'intensità epicentrale dell'evento principale è stata stimata pari al V-VI MCS, con un equivalente magnitudo pari a 4,0. L'evento del 1910 è indicato in figura 54 con un triangolo verde.

Con il miglioramento delle informazioni strumentali disponibili a partire dal 1977 (anno di installazione della Rete Sismometrica dell'Italia Nord-Orientale, dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale - OGS - avvenuta a seguito del terremoto del 6 maggio 1976) l'area appare sede di una modesta attività sismica (rappresentata con piccoli cerchi azzurri in Fig. 54), con terremoti che solo eccezionalmente vengono percepiti dalla popolazione. In tabella 2 si riporta una lista degli eventi localizzati entro l'area delimitata dal rettangolo, avvenuti fra il 1977 e il 2005 e aventi magnitudo pari o superiore a 2,8 (OGS, 1977-2005).

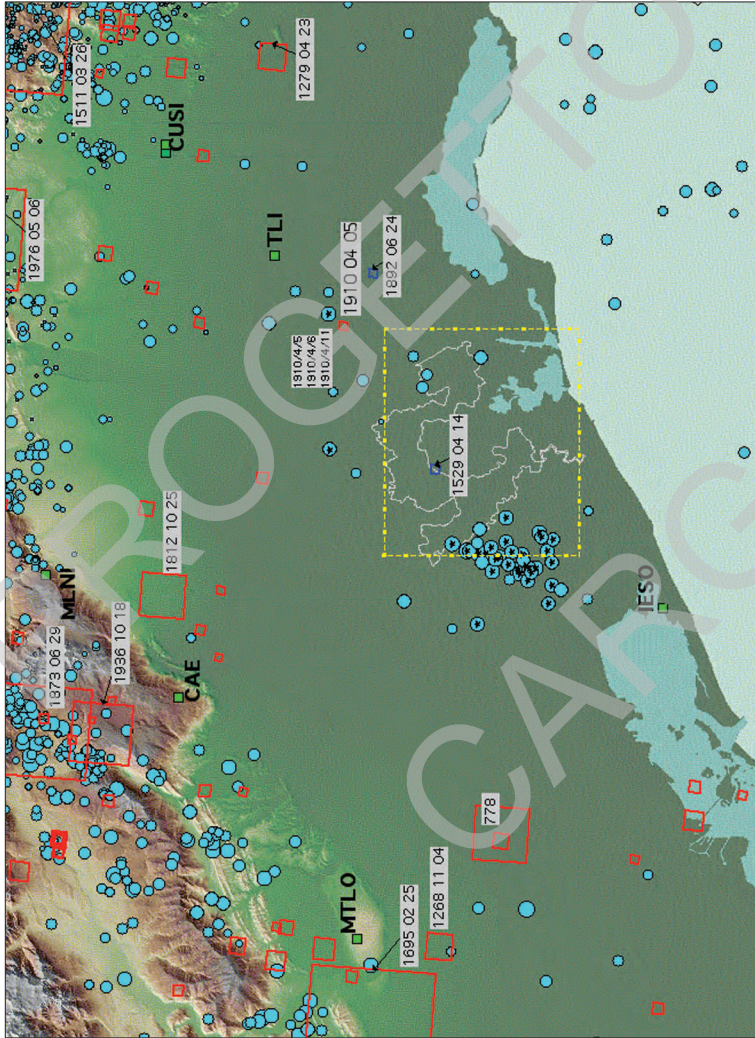


Fig. 54 - Sismicità storica e strumentale riferita all'area del Foglio 107. I quadrati rossi indicano epicentri di terremoti derivati dall'analisi critica dei cataloghi parametrici. In azzurro localizzazione degli eventi registrati dalla Rete Sismometrica dell'Italia Nord-Orientale nel periodo 1977-2005. I piccoli quadrati verdi indicano le posizioni delle stazioni sismometriche in funzione nel 2006. Gli eventi con magnitudo superiore o uguale a 2,8, ricadenti nell'area delimitata sono riportati in Tab. 2.



Tab. 2 - Parametri delle localizzazioni strumentali degli eventi registrati dalla Rete Sismometrica dell'Italia Nord-Orientale nel periodo 1977-2005 con magnitudo superiore o uguale a 2.8, ricadenti nell'area delimitata in Fig. 54.

DATA	ORA	LAT N	LONG E	PROF	MAG	Q	LOCALITÀ
1989/03/18	12:04:51	45.859	12.815	4.1	2.8	C	AZZANO
1995/10/30	04:58:20	45.863	13.017	7.6	3.1	D	RIVIGNANO
1997/08/31	21:15:56	45.655	12.668	13.6	2.9	D	PASSARELLA
1997/09/01	21:48:28	45.648	12.628	19.9	2.9	C	PASSARELLA
1997/09/12	03:50:07	45.712	12.67	18.5	3.3	D	S. STINO L.
1997/09/16	22:48:50	45.638	12.7	13.3	3	D	PASSARELLA
1997/09/19	08:37:42	45.629	12.674	12.4	2.9	C	PASSARELLA
1997/10/06	13:07:41	45.623	12.691	11.7	2.8	C	PASSARELLA
1997/10/09	06:56:36	45.686	12.64	16.5	3	C	S. STINO L.
1997/10/16	06:58:37	45.645	12.64	11.7	2.8	D	PASSARELLA
1997/10/17	22:31:21	45.624	12.656	13.1	2.8	C	PASSARELLA
1997/10/19	08:08:02	45.635	12.693	13.3	2.8	C	PASSARELLA
1997/10/21	20:21:17	45.651	12.65	19.9	2.9	C	PASSARELLA
1997/10/21	23:04:27	45.659	12.643	18.3	3.2	D	PASSARELLA
1997/10/29	07:12:52	45.672	12.686	16	2.9	C	S. STINO L.
1997/10/31	16:15:26	45.623	12.623	15.9	2.9	C	PASSARELLA
1997/11/02	04:31:42	45.64	12.647	12.6	3	D	PASSARELLA
1997/11/03	02:14:50	45.654	12.659	15.9	2.7	C	PASSARELLA
1997/12/25	15:05:10	45.614	12.617	15.8	2.7	C	PASSARELLA
1998/01/02	19:53:16	45.688	12.676	14.6	2.9	C	S. STINO L.
1998/01/20	14:17:55	45.699	12.562	22.7	2.9	D	PONTE DI P.
1998/02/10	07:05:44	45.666	12.671	13.2	2.9	C	PASSARELLA
1998/02/25	10:31:55	45.7	12.667	19.4	3.3	D	S. STINO L.
1998/02/25	10:59:57	45.669	12.652	20.2	2.8	C	S. STINO L.
1998/03/12	13:19:23	45.648	12.648	16.9	2.9	D	PASSARELLA
1998/06/14	22:21:52	45.679	12.661	18.7	3.5	D	S. STINO L.
1998/07/22	15:34:05	45.673	12.721	21.6	3.1	D	TORRE DI M.
1998/09/14	12:38:51	45.626	12.595	20.4	2.8	D	PASSARELLA
1999/04/27	09:29:00	45.728	12.68	18.8	3.2	D	S. STINO L.
1999/09/03	19:29:42	45.693	12.667	14.7	3.2	D	S. STINO L.
1999/09/04	05:48:40	45.682	12.66	16.7	3.1	D	S. STINO L.
1999/09/12	02:41:10	45.657	12.639	13.4	3.1	D	PASSARELLA
2000/01/03	18:36:29	45.71	12.67	15.4	2.7	D	S. STINO L.

L'immagine della sismicità più recente e abbastanza ben monitorata strumentalmente mette in rilievo sostanzialmente due caratteristiche:

1) la presenza di alcuni eventi sparsi allineati lungo direttrici che attraversano il margine nord-orientale del Foglio 107: gli epicentri riferiti alla località di Rivignano, limite meridionale di una ipotetica direttrice NNW-SSE, ricadono

nella stessa zona presumibilmente interessata dagli eventi del 1910;

2) la presenza di un focolaio sismico, che interessa i comuni di Ceggia, Torre di Mosto, e in parte San Donà di Piave ed Eraclea, attivo con ripetuti eventi di modesta magnitudo essenzialmente nel periodo agosto 1997 - luglio 1998. L'evento principale dello sciame è avvenuto il 14/6/98, con  $M_d=3,5$  ed epicentro nel comune di Ceggia. Tutti gli eventi sono contraddistinti da valori di profondità anomalmente elevati: la profondità peraltro è ritenuta poco attendibile, stante una certa asimmetria e la notevole spaziatura delle stazioni di registrazione nell'area. Le indicazioni sismogenetiche di questo focolaio sismico sono molto preliminari, trattandosi di eventi di bassa magnitudo localizzati al margine della rete di monitoraggio microsismico disponibile all'epoca: si suggeriscono profondità di attivazione mediamente superiori a quanto osservato nell'area friulana, dove l'attività è prevalentemente confinata fra i 5 e i 12 km; le poche e dubbie polarità dei primi arrivi suggeriscono meccanismi di rottura di faglia normale, compatibili con la collocazione della sismicità lungo i linamenti strutturali profondi che delimitano la Piattaforma Friulana rispetto al Bacino Bellunese.

A fronte di una modesta importanza sismogenetica dell'area, appare invece sensibile l'effetto amplificativo del materasso alluvionale; vengono avvertiti distintamente in quest'area terremoti lontani anche di modesta magnitudo, provenienti dal Veneto, Friuli, Slovenia o Adriatico. Una microzonazione sismica mirata alle caratteristiche spettrali dell'amplificazione potrebbe risultare utile per la progettazione di opere straordinarie o di infrastrutture. La normativa sismica in vigore dalla fine del 2003 (Ordinanza P.C.M. 3274/2003 e successivo recepimento da parte della Regione del Veneto, D.C.R. 67 del 3/12/2003) prevede che tutti i comuni ricadenti nel territorio del Foglio siano inseriti in Zona 3, tranne Caorle ed Eraclea che rientrano in Zona 4 (limiti comunali rispettivamente in giallo e verde in Fig. 54). A seguito di studio specifico, la Regione del Veneto con D.G.R. n. 245 del 12/2/2008, ha approvato la suddivisione in due zone sismiche del territorio del Comune di San Michele al Tagliamento: zona sismica 3 a nord di Cesarolo e zona sismica 4 a sud di tale località. L'applicazione della Mappa di Pericolosità introdotta dalla Ord. 3519/2006 rende comunque di fatto superato il concetto di attribuzione di un comune ad una zona sismica.

## IX - ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA

### 1. - ASPETTI IDROGEOLOGICI (P. Zangheri)

#### 1.1. - STRUTTURA IDROGEOLOGICA

La definizione della struttura idrogeologica dell'area, fino ad una decina di anni fa scarsamente nota, è stata oggetto di specifiche indagini da parte della provincia di Venezia, del Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento e della Regione del Veneto (DAL PRA, GOBBO, VITTURI & ZANGHERI, 2000; CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA VENETA & PROVINCIA DI VENEZIA, 2001).

Le indagini, svolte integrando metodologie geologiche, idrogeologiche, geofisiche ed isotopiche, hanno permesso di ricostruire la struttura idrogeologica. Per ciascun acquifero, mediante indagini sperimentali, si sono definite sia le caratteristiche qualitative di base che le disponibilità quantitative. Inoltre è disponibile una prima parametrizzazione idrogeologica.

Il sottosuolo è caratterizzato per alcune centinaia di metri da sedimenti sciolti, di granulometria compresa tra le argille e le ghiaie, che poggiano su un substrato prequaternario. Questi sedimenti contengono una serie di acquiferi confinati e sovrapposti alloggiati prevalentemente in sabbie e ghiaie. Il confinamento è dato da spessi livelli argillosi e limosi.

Nei primi metri di sottosuolo si ha un acquifero freatico, ancora poco noto, a bassa trasmissività, discontinuo che in alcune aree aumenta di trasmissività in coincidenza con importanti incisioni fluviali postglaciali riempite da ghiaie e sabbie e appartenenti all'unità di Malamoco (vedi Paragrafo IX-2.2.1.).

Il substrato prequaternario, noto esclusivamente dai pozzi esplorativi dell'AGIP e da indagini geofisiche, presenta un alto strutturale ("dorsale meso-

zoica” di Cesarolo), orientato WSW-ENE, il cui tetto si trova a 500 m di profondità al bordo est del Foglio (pozzo AGIP Cesarolo 1). In quest’area raggiunge le temperature massime una importante anomalia geotermica che si origina nel substrato prequaternario ma che si trasmette per conduzione ai sovrastanti acquiferi in materiali sciolti (con temperature di 50-60°C a 500-600 m).

La distribuzione degli acquiferi e la qualità naturale delle acque sotterranee sono nettamente influenzate dalla struttura tettonica. La “dorsale mesozoica” di Cesarolo condiziona lo spessore della coltre sedimentaria quaternaria e quindi la distribuzione degli acquiferi. Confrontando il dato dei pozzi AGIP Cavanella 1 e Cesarolo 1 si evidenzia come la copertura quaternaria aumenti di spessore, 270 m, procedendo verso ovest anche di soli pochi chilometri. In coincidenza con il fiume Livenza, la struttura tettonica comporta una netta diminuzione dello spessore degli acquiferi per cui quelli posti in destra Livenza hanno trasmissività nettamente inferiore a quelli posti in sinistra Livenza.

Gli acquiferi confinati sono in comunicazione con il potente acquifero non confinato dell’alta pianura del Tagliamento e da esso alimentati. La qualità naturale delle falde si modifica man mano che ci si allontana da questa fonte di alimentazione.

Le informazioni idrogeologiche (se si eccettuano i dati AGIP) si limitano ai primi 500-600 metri che coincidono con la parte di sottosuolo attualmente sfruttato per l’approvvigionamento di acque sotterranee.

## 1.2. - SERIE IDROGEOLOGICA

La serie idrogeologica dei primi 600 metri di sottosuolo è schematizzabile in 10 acquiferi, come illustrato dal profilo idrogeologico (Fig. 55). La distinzione in acquiferi è valida soprattutto per la parte in sinistra Livenza dove si ha un maggior numero di pozzi e, conseguenzialmente, di informazioni idrogeologiche.

Non tutte le 10 falde sono continue sull’intero territorio indagato, ma alcune tendono a chiudersi spostandosi da nord verso sud. Si tratta in particolare delle tre falde più superficiali. L’intera serie è caratterizzata da acque dolci. Le stesse acque termali contenute nei livelli di sedimenti sciolti hanno conducibilità elettrica normalmente inferiore ai 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Dati AGIP collocano l’interfaccia acqua dolce-acqua salata ad una profondità di 775 m subito a nord del Foglio (San Stino di Livenza) e di 605 m al bordo est (Cesarolo).

## 1.3. - PRINCIPALI CARATTERISTICHE QUANTITATIVE DEGLI ACQUIFERI

Le principali caratteristiche degli acquiferi sono riassunte dal seguente schema. I valori riportati sono da intendersi come valori tipici e corrispondono ai valori risultanti al decimo ed al novantesimo percentile. Data l’estensione dell’area, possono variare in un range piuttosto ampio.

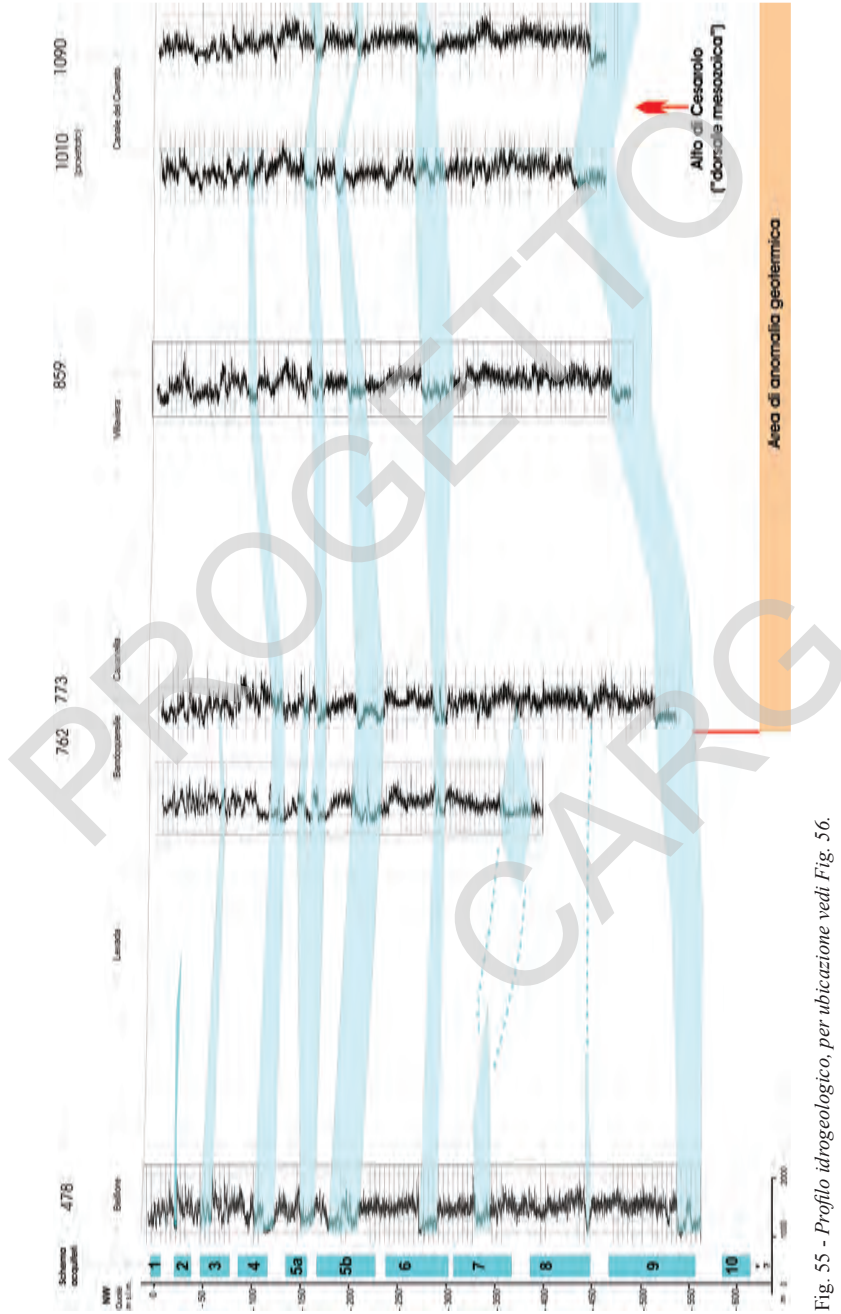


Fig. 55 - Profilo idrogeologico, per ubicazione vedi Fig. 56.

Tab. 3 - Schema riassuntivo dei principali parametri chimico-fisici ed idrogeologici degli acquiferi.

Profondità (m)	Temp. (°C)	Cond. Elet. (µS/cm)	Fe (mg/l)	NH4+ (mg/l)	Prev. su p.c. (m)	Q spont. max (l/s)	Litologia prevalente	Permeabilità (m/s)	Trammissività (m <sup>2</sup> /s)
10 - 20	14 - 16	990 - 3500	0,3 - 3,2	0,8 - >3	no	no	Sabbie e ghiaie	---	---
35 - 55	14 - 15	460 - 470	0,1 - 0,3	0,9 - 1,8	no	no	Sabbie	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-4</sup>
60 - 90	14 - 15	510 - 1700	0,1 - 3,2	3,0 - >3	0 - 0,3	0 - 0,2	Sabbie	---	---
100 - 130	15 - 20	400 - 810	0,1 - 0,5	1,4 - >3	0 - 0,6	0 - 0,2	Sabbie	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>
150 - 180	14 - 19	375 - 980	0,1 - 0,4	0,8 - >3	0 - 1,0	0 - 0,2	Ghiaie e sabbie	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
190 - 240	15 - 23	360 - 700	0,1 - 0,4	0,8 - >3	0 - 1,7	0 - 0,3	Ghiaie e sabbie	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
250 - 315	16 - 24	400 - 600	0,0 - 0,3	1,5 - >3	0 - 1,4	0 - 0,5	Ghiaie e sabbie	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
320 - 380	16 - 25	400 - 590	0,0 - 0,2	0,8 - >3	0 - 3,9	0,1 - 0,8	Sabbie	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-5</sup>
400 - 460	18 - 31	370 - 630	0,0 - 0,2	0,4 - >3	0 - 6,5	0 - 2,6	Sabbie	---	---
480 - 560	25 - 34	340 - 540	0,0 - 0,2	0,1 - 2,0	4 - >20	0,3 - 3,8	Sabbie e ghiaie	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
>580	24 - 39	330 - 2400	0,0 - 0,1	0,1 - 1,9	4 - >20	0,2 - 4,1	Sabbie e ghiaie	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>

È possibile raggruppare le falde dotate di parametri chimico-fisici ed idrogeologici con valori simili fra loro. È stato così possibile individuare 6 unità principali che si posizionano, rispetto al piano campagna, alle seguenti profondità medie: 10-20 m; 35-55 m; 60-130 m; 150-380 m; 400-460 m; >480 m.

La notevole prevalenza sul piano campagna della piezometrica che, nelle falde più profonde, in alcuni casi, supera i 20 m, ha favorito un ampio uso di questa risorsa. Infatti, pozzi con diametro di 2-3" e quindi realizzabili con tecnologie estremamente veloci, sono in grado di fornire portate di 3-4 l/s.

La facilità di estrazione dell'acqua, legata all'artesianesimo delle falde, ha favorito un diffuso uso non corretto della risorsa idrica (anche termale). Infatti si ha una frequente presenza di pozzi "a getto continuo".

Gli acquiferi hanno valori di permeabilità massima attorno ai  $10^{-3}$  m/s; alcune prove hanno determinato permeabilità limitate a  $10^{-6}$  m/s; considerando che le ghiaie pulite, possiedono in genere valori di permeabilità superiori a  $10^{-2}$  m/s e che le sabbie fini hanno valori medi di circa  $10^{-5}$  m/s, risulta che le litologie degli acquiferi oggetto di prova sono caratterizzate in prevalenza da sabbie medie e fini o, nel caso di materiali più grossolani (sabbie grosse e ghiaie), da presenza di materiali a granulometria più fine.

Non si evidenziano nette diversità tra le varie falde nei parametri idrogeologici; questi tendono a modificarsi più spostandosi da monte a valle all'interno della stessa falda, che tra una falda e l'altra, anche se va precisato che il numero delle determinazioni disponibili è ancora piuttosto limitato.

Per quanto riguarda la produttività, le falde più profonde (8, 9 e 10) sono in grado di fornire portate spontanee nettamente superiori alle falde sovrastanti. Ciò grazie ad una prevalenza, rispetto al piano campagna, spesso superiore ai 10 m. I pozzi presenti sono stati oggetto di due specifici rilevamenti idrogeologici, uno svolto nel 1997-1998 ed uno nel 2003-2004. Si è verificata una tendenza ad una diminuzione dei livelli piezometrici che si concentra su alcune aree e su alcune falde. I censimenti hanno permesso la progettazione di una rete di monitoraggio dei livelli piezometrici. I pozzi misurati, suddivisi per acquifero, sono cartografati e gli altri punti con disponibilità di dati idrogeologici sono riportati in figura 56.

### 1.3.1. - *Qualità naturale delle acque sotterranee*

Nella parte nord-orientale del Foglio, le acque sotterranee sono classificabili come Bicarbonatiche-magnesico-calciche con una tipica presenza di solfati derivante dal bacino del fiume Tagliamento; spostandosi verso sud si ha un relativo arricchimento in Sodio rispetto al Calcio e al Magnesio. Le acque hanno una diffusa presenza di Ferro ed Ammoniaca (a cui si possono associare Manganese ed Arsenico) di evidente "origine geologica" che tende ad aumentare progressivamente a mano a mano che ci si allontana dalla zona di alimentazione e quindi spostandosi da NE verso SW.

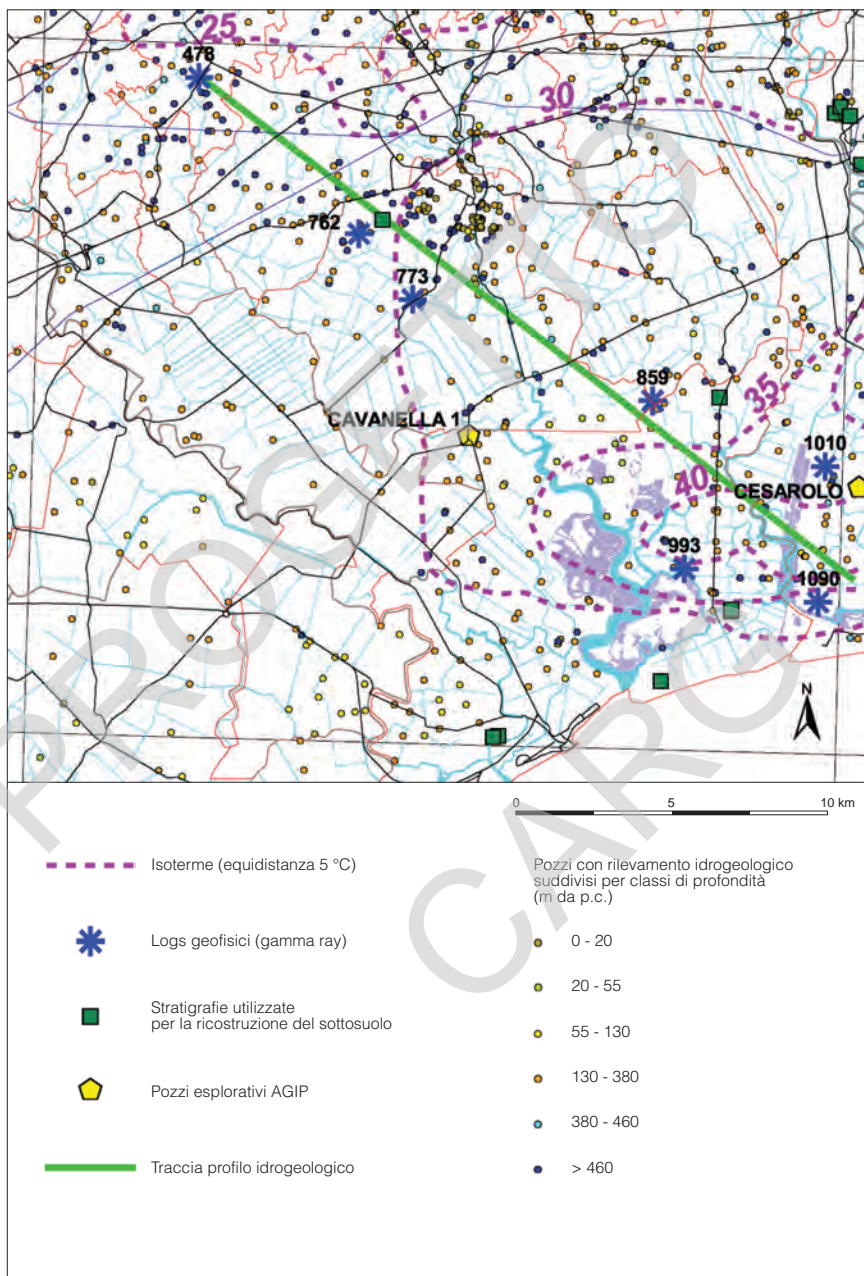


Fig. 56 - Punti di rilevamento idrogeologico (stratigrafie progressive, logs geofisici, pozzi per acqua).



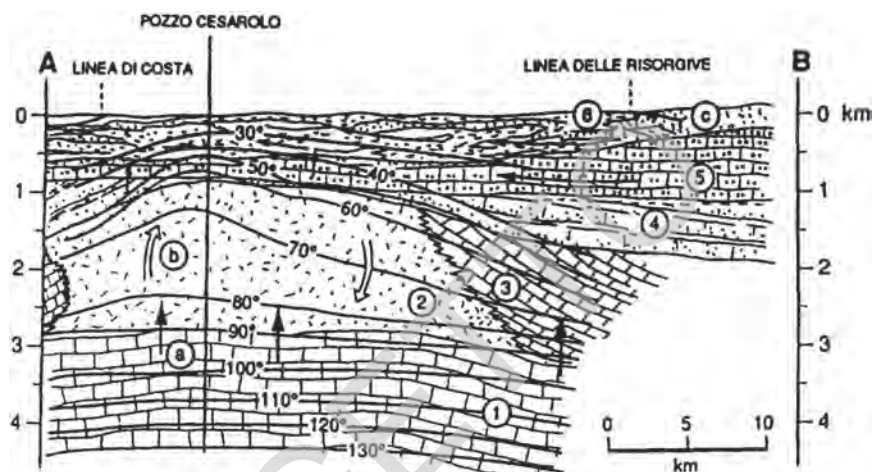


Fig. 57 - Schema del circuito geotermico della bassa pianura veneto-friulana (da CALORE et alii, 1995) - 1) dolomie e calcari dolomitici (Trias sup.-Lias); 2) Calcare biogenico di piattaforma (Dogger-Cretaceo sup.); 3) Scarpata e calcare di bacino (Dogger-Cretaceo sup.); 4) Flysh (Paleocene-Eocene); 5) Arenarie arcosiche (Miocene); 6) Depositi fluviali e marini (Quaternario); a) conduzione dominante; b) convenzione dominante; c) circolazione superficiale.

In generale tutte le falde tendono a diminuire di qualità spostandosi da nord verso sud e da est verso ovest, ovvero spostandosi da quello che appare il principale fattore alimentante le falde: le dispersioni del fiume Tagliamento nell'alta pianura friulana. Tale peggioramento è più accentuato per alcune falde; relativamente alla qualità, il fattore più limitante appare la presenza di ammoniaca, spesso presente in tenori anche 10 volte superiori a quelli previsti per le acque potabili.

Tali concentrazioni sono interpretate in letteratura in rapporto alla presenza di livelli argillosi ed organici ed all'ambiente riducente. Si tratta di acque classificabili, in riferimento alle classi di qualità previste dalla normativa sulla tutela delle acque, come "stato naturale particolare".

La protezione dovuta al notevole spessore dei livelli argillosi fa sì che gli acquiferi confinati siano poco vulnerabili; infatti non risultano fenomeni di inquinamento di questi acquiferi.

#### 1.4. - LE ACQUE TERMALI

Nel sottosuolo della pianura costiera veneto-friulana, tra i fiumi Livenza ed Isonzo, si sviluppa un'estesa anomalia geotermica, che in parte interessa la parte sud-orientale del Foglio (vedi Fig. 56). L'idrogeologia del sistema geotermico è stata recentemente oggetto di uno specifico approfondimento da parte del

Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento e della Regione del Veneto.

Le acque sono dolci ed artesiane, con temperature massime (al di fuori del Foglio) sui 50-52°C negli acquiferi in materiali sciolti attorno ai 500 m; si tratta di un sistema geotermico a bassa entalpia.

Si riporta il seguente schema di interpretazione del circuito termale che, allo stato attuale delle conoscenze, risulta tra quelli proposti quello considerato più aderente ai dati disponibili.

In figura 57 si riportano le isoterme riferite agli acquiferi sovrastanti il substrato aventi profondità superiore ai 480 m.

Nel complesso l'area è interessata da importanti risorse idriche sotterranee, che in alcuni casi sono utilizzate sia a fini curativi terapeutici che geotermici, previo rilascio di concessione regionale normata dalla L.R. 10.10.1989 n. 40. La parte che appare più ricca di risorsa è quella nord-orientale. Nella parte più prossima al Livenza, la scarsa qualità e, in parte, quantità delle acque pone molti limiti all'utilizzo della risorsa.

## 2. - COMPATIBILITÀ GEOLOGICA A FINI URBANISTICI

(A. Bondesan, M. Fingolo, V. Gennari)

Di seguito vengono esposte le caratteristiche di compatibilità geologica a fini urbanistici delle aree comprese nel Foglio 107 secondo gli atti di indirizzo della L.R. 11/2004 del Veneto e dei successivi aggiornamenti che prevedono la distinzione in Aree idonee, Aree idonee a condizione e Aree non idonee.

In base alle disposizioni regionali, la compatibilità dell'uso del territorio viene definita anche per aspetti diversi da quello dell'edificabilità, come ad esempio la tutela delle risorse geologiche ed idrogeologiche e la vulnerabilità degli acquiferi.

In generale le opere devono essere progettate in osservanza alle disposizioni presenti nelle "Norme Tecniche" dei PAT-Piani di Assetto del Territorio (Regione del Veneto) e nelle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" DM Infrastrutture 14 gennaio 2008 pubblicato su S.O. n. 30 alla G.U. 4 febbraio 2008, n. 29, Cap. 6 "Progettazione geotecnica" e successive modifiche e aggiornamenti.

All'interno del Foglio le uniche aree geologicamente non idonee corrispondono alle zone sommerse e alle discariche RSU. Tutte le altre aree possono considerarsi ricadenti nelle categorie "Idonee" e "Idonee a condizione".

### 2.1. - AREE IDONEE

Sono da considerarsi idonee all'utilizzazione urbanistica le aree di pianura non soggette ad allagamento corrispondenti genericamente ai Subsintemi di Remanzacco e di Canodusso che occupano quasi interamente il quadrante

nord-occidentale del Foglio 107. Si tratta di terreni limoso argillosi, con variabili porzioni sabbiose. I depositi direttamente associati ad un paleoalveo mostrano granulometrie più grossolane e omogenee e geometria nastriforme.

Per tali aree non vengono proposte particolari specifiche tecniche, anche se si raccomanda comunque la scrupolosa osservanza della normativa vigente sulle indagini geologico-geotecniche che vanno applicate a tutte le nuove opere. In qualsiasi contesto deve essere organizzata una corretta campagna di indagini geognostiche per determinare l'omogeneità litostratigrafica in senso orizzontale e accertare l'assenza di significativi orizzonti di sedimenti fini organici o torbosi che potrebbero compromettere la perfetta stabilità dell'opera.

## 2.2. - AREE IDONEE A CONDIZIONE

### 2.2.1. - *Aree di piana alluvionale*

Corrispondono generalmente all'Unità di Malamocco. Si ritrovano lungo la Roggia Lugugnana da Vado a Lugugnana (corrispondente al percorso del cosiddetto *Tiliaventum Maius*) e nel tratto della Livenza a monte di Torre di Mosto. I terreni che caratterizzano queste aree si presentano prevalentemente sabbiosi, ma con locali presenze di materiali fini limoso-argillosi con caratteristiche geotecniche mediocri e scadenti, deposti nelle fasi finali di occlusione dei meandri o dei rami fluviali abbandonati (la zona industriale di Torre di Mosto presenta in parte tali caratteristiche).

In queste aree la modellazione geologica deve permettere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, idrogeologici e geomorfologici del territorio, al fine di individuare i limiti sia laterali che verticali dei diversi depositi presenti. Data l'alternanza di strati granulari e strati più coesivi e la presenza di direttrici sabbiose che più facilmente possono drenare e incanalare le acque di falda, è opportuno valutare la tenuta dei fronti di scavo in termini di stabilizzazione e di sifonamento per annullamento delle tensioni efficaci nelle sabbie.

### 2.2.2. - *Fasce delle incisioni pleistoceniche*

Si tratta in particolare dei settori afferenti alle incisioni del Livenza, del Reghena, del Lemene, della R. Lugugnana, del C. Taglio e del Tagliamento attuale per la cui delimitazione in via preliminare si dovrà fare riferimento alla "Carta dello Spessore del Sintema del Po". Solo a monte di Portogruaro le incisioni sono ancora evidenti e sono oggi percorse dai fiumi Lemene e Reghena; in esse le ghiaie erano abbondanti (cave di Cinto Caomaggiore) e rimangono subaffioranti fino a Summaga; più a valle il loro tetto si approfondisce per oltre 10 metri. La successione è composta da orizzonti torbosi, intervallati con limi argillosi ricchi

di molluschi lagunari fino a 4-5 m di profondità che divengono poi più tipicamente fluviali con sabbie e limi sabbiosi spesso disposti in laminazioni parallele.

In tutte le aree di incisione il modello geologico del sito dovrà valutare con precisione la successione stratigrafica ed i limiti laterali; i terreni fini potrebbero avere bassi valori di capacità portante ed elevata compressibilità per i quali le fondazioni superficiali non sono adeguate; in presenza di centri abitati, con substrato molle, saranno da preferire i micropali e i pali costruiti in opera con preventivo asporto di terreno. Per la realizzazione di interrati è richiesta particolare attenzione al problema della tenuta dei fronti di scavo e alle relative opere provvisorie che devono essere dimensionate in modo rigoroso.

### 2.2.3. - Aree delle fasce fluviali

Tali aree corrispondono generalmente all'Unità di Torcello. Si estendono lungo le arginature naturali dei fiumi Tagliamento e della Livenza, a valle di Torre di Mosto, e lungo i diversi rami e direttrici di rotta antichi e attuali. Si tratta di aree sviluppate in senso longitudinale lungo direttrici fluviali e appaiono costituite in prevalenza da materiali sabbiosi depositi dall'attività dei fiumi stessi (dosso, rotta, lago di meandro e piana prossimale).

Tali terreni, oltre ad avere una tessitura sabbiosa e sabbioso-limoso (con spessori che possono superare i 10 m di profondità), sono ubicati anche in una posizione topograficamente rilevata rispetto al resto del territorio, trovandosi in condizioni favorevoli grazie alla presenza di un discreto drenaggio delle acque sia superficiali che profonde (depositi a media permeabilità).

Il modello geologico del sito deve essere realizzato in modo da distinguere al meglio le aree di paleoalveo sabbiose dalle zone comprese tra le tracce di alvei estinti e caratterizzate da materiali fini. Inoltre, data l'alternanza di strati granulari e strati più coesivi, ma soprattutto grazie alla presenza di direttrici sabbiose che più facilmente possono drenare e incanalare le acque di falda rispetto ai depositi fini che le ospitano, è richiesta anche particolare attenzione al problema della tenuta dei fronti di scavo.

### 2.2.4. - Aree costituite da terreni con risposte geotecniche scadenti

Fanno parte di questa categoria i depositi litorali lagunari del Sintema del Po. Si tratta dei terreni argillosi ed organici, talora con torbe, appartenenti ad antiche aree palustri e lagunari che interessano ampi settori dei quadranti meridionali del Foglio 107 separati dalle principali direttrici fluviali antiche ed attuali.

Sono comprese inoltre anche le *unità ubiquitarie* lungo il Loncon e i canali Melonetto e Malgher dove si individua un'area che si caratterizza per essere fortemente argilloso-organica, con alcuni paleoalvei torbosi molto ampi e di forma dendritica (palude di acqua dolce originatasi sulla pianura pleistocenica

per effetto dell'innalzamento del livello eustatico durante l'Olocene); si devono inoltre considerare i principali meandri abbandonati, dove sono presenti elevati spessori di torbe e argille organiche.

Il comportamento geotecnico delle argille e dei terreni fini in genere è quello di depositi ad alta compressibilità. Le quote di queste aree si presentano per la gran parte prossime o al di sotto del livello del mare; tali zone, caratterizzate da valori di permeabilità bassi, sono inoltre interessate da un modello di drenaggio artificiale di canali e scoli di bonifica.

Il modello geologico del sito deve valutare con precisione la profondità alla quale compaiono depositi sabbiosi con spessori tali da poter rappresentare una buona base per eventuali opere di fondazione.

Particolare attenzione deve essere posta alla valutazione degli stati limite di esercizio, in quanto a causa della presenza di forti spessori di materiale fine organico la stabilità delle strutture può essere compromessa soprattutto dal verificarsi di cedimenti eccessivi a causa della forte compressibilità delle argille organiche (CC argille organiche >4; CC torbe 10-15). Le fondazioni superficiali sono sconsigliabili.

#### 2.2.5. - Aree litorali

Si tratta delle aree litorali emerse di Caorle, Valle Vecchia e Porto Baseleghe costituite da sabbie litorali sciolte da medie a fini con depositi di dune costiere e di spiaggia e spessore massimo di circa 10 m.

I depositi sono modellati in cordoni dunali allungati secondo la direzione della linea di costa nel settore di Valle Vecchia, ma nel tratto di Caorle la maggior parte di questi rilevati sono stati spianati e di essi ne rimangono solo brevi tratti residuali, spesso fortemente alterati (foce Porto S. Margherita).

In tali aree, la natura sabbiosa del substrato determina la presenza di buone caratteristiche geotecniche ed una buona sopportazione dei carichi. Le modellazioni geologica e idrogeologica dovranno definire i corpi idrici sotterranei ed i loro effetti sull'opera.

Le aree sono esposte al rischio di allagamenti durante i fenomeni di mareggiata e al rischio di erosione da parte del moto ondoso. Nelle aree litorali sono consigliate solo strutture mobili e sono in genere da precludere interventi edificatori.

PROGETTO  
CARG

## X - EXTENDED ABSTRACT

### 1. - METHODS

The Sheet 107 “Portogruaro” encompasses part of the distal sector of the Venetian-Friulian Plain, includes the Caorle Lagoon and faces on the Adriatic Sea. Due to the occurrence of continental, lagoon and marine environments in the area of the Sheet, for the surface survey and for the study of the subsoil different and complementary methods were used. Remote sensing allowed to recognize the main geomorphologic features (e.g. rivers and lagoon paleochannels, ancient coastal ridges) and drove the geologic survey. Field work consisted of surface survey and hand augering, but several mechanical cores were drilled to investigate the subsoil geology (0-100 m of depth). The cores TdM, PRA, CNC4, VV and LUG respectively reached the depth of 94 m, 60 m, 51,5 m, 50,5 m, 47 m from surface. The stratigraphy has been mainly studied through facies analyses and geometric correlations, but radiocarbon datings, pollen analyses, micro and macropaleontology investigations and petrography of sands were ran on selected samples. The results supported the paleoenvironmental and chronological reconstruction.

Beside the new cores, a database storing the subsoil information was implemented with the pre-existing data; it consists of more than 1000 stratigraphies obtained from cores, geotechnical tests and water-well logs.

The part of the Adriatic Sea included in the Sheet was analysed with the stratigraphic, bathymetric and granulometric information collected by regional and local agencies and mainly by the CNR-ISMAR of Bologna, which is carrying out the Geological Map of the Italian Seas in the framework of the CARG Project.

## 2. - GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGIC SETTING

The Venetian-Friulian Plain represents the surface of the Tertiary to Quaternary sedimentary infilling of the foreland basin of the Eastern Southalpine Chain which developed since the Palaeogene.

The base of the Quaternary deposits is found at about 450 m of depth in the SE corner of the Sheet and it dips westernwards up to 1100 m. This setting was strongly controlled by the Mesozoic formation of the Carbonatic Friulian Platform and the Belluno Basin. The Messinian crisis, occurred around 5 Ma, caused the very deep entrenching of the fluvial systems; the paleo-Piave River strongly eroded the SW area of the Sheet and constrained the following Plio-Pleistocene marine transgression. The Appenine orogenesis has been causing tectonic subsidence in the Venetian Plain since late Miocene and it partly affected also the area of the Sheet.

The formation of the present surface of the plain is mainly related to the climatic variations occurred in the late Quaternary, which caused the cyclic expansion and contraction of glaciers and the marine regression and transgression. A major role was played by the Tagliamento and Piave river systems; during Last Glacial Maximum (*LGM*, 30-17 ka BP) they built large fan-shaped sedimentary bodies, extending from the fringe of the Alpine valleys up to several kilometres downstream the present coastline. These systems could be defined as alluvial megafans due to their dimensions and longitudinal internal differentiation. In the apical portion of megafans the deposition of hundreds of metres of gravel took place and in this sector, called the “high plain”, permeability is very high and the groundwater table lies at tens of metres of depth. Where the gravels pass to the silty-clayey sediments the so-called “low plain” starts. The lithologic boundary is quite sharp and forces part of the ground water to crop out, supplying a number of springs along a belt. This spring alignment ends about 10 km northern than the Sheet “Portogruaro” and supply a number of groundwater-fed rivers as Lemene, Reghena and Loncon. Also the Livenza River, which separate Friulian and Venetian plains, is partially fed by these springs, but most part of its discharge is supplied by the Gorgazzo spring, of karstic origin. In the low plain the water table generally lies between 1,5 and 3 m from the surface.

## 3. - LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE EVOLUTION

The oldest lithostratigraphic unit intercepted by the new deep cores and that could be described with some details is the *Torre di Mosto unit*; it corresponds to the alluvial deposits related to the penultimate glacial phase, occurred during Marine Isotopic Stage (MIS) 6, between 166-132 ka BP. Like in the *LGM*, the Alpine glaciers reached the plain with their fronts, feeding glaciofluvial streams and forming alluvial megafans. In the subsoil of Sheet “Portogruaro” these deposits have a thickness of about 20-30 m and mainly correspond to alternances of silt and clayey silt; secondarily fine sandy and silty sand channels are reco-



gnized, with an average thickness of less than 1 m to 2 m. The pollen analyses demonstrate that deposition occurred during temperate and dry climate. These deposits are interpreted as fluvial sequences related to sandy braided rivers.

The MIS 6 sediments are found between 70,5-94 m in TdM and their top is at 55 m in PRA; below MIS 6 deposits the presence of marine sediments is inferred by water-well logs; at the top of the MIS 6 series a fairly well developed soil has been recognized in core PRA and calcic horizons of a truncated soil have been recognized also in TdM.

The first pre-Holocene marine deposits found in the subsoil date to the MIS 5 and they corresponds to the *Senzielli unit*. These sediments form a wedge-shaped coastal sand body, up to 20-30 m thick, characterized by shallow-marine, lagoon and deltaic deposits. Most part of these sediments belongs to the MIS 5.5 which are separated from the MIS 6 alluvial deposits by a transgressive surface, sometimes characterized by an important truncation related to the ravinement surface. The MIS 5.5 (132-116 ka BP) corresponds to the last interglacial, when the Adriatic reached an highstand level of +6 ( $\pm$ 3) m a.s.l. which favoured the sedimentation of deltaic-lagoonal deposits up to 10-20 km landward than the Holocene one. The MIS 5.5 marine sedimentation corresponds to the so-called Tyrrhenian period and correlates with the coeval continental deposits (*Pramaggiore unit*).

The thickness of the deposits embedded between the top of MIS 5 and the base of *LGM* correspond to the *Concordia Sagittaria unit*, which is less than 10 m thick; in some cores (CNC4, LUG, VV) the lagoon deposits of MIS 5 are found few meters below a peaty layer, 2 to 3 m thick, whose top is radiocarbon-dated around 35-30  $^{14}\text{C}$  ka BP. This situation pinpoints to the existence of a sedimentary hiatus which comprises large parts of MIS 3 and maybe of MIS 4.

During *LGM* the Tagliamento and Piave glaciers reached the piedmont area forming moraine systems and feeding alluvial megafans. The apical portion of megafans consists of 20-30 m of vertically stacked, amalgamated gravels. In the distal portion the *LGM* deposits are characterised by 15-30 m of mud-dominated sequences, locally interbedded with thin and discontinuous sand bodies. These alluvial deposits, concerning the Tagliamento catchment, are mapped in the *Spilimbergo synthem*.

The *LGM* deposits bury a fairly developed soil, characterized by calcic horizon; it has been found at depth of 32 m in CNC4, 28 m in TdM and its top dates between 24-22  $^{14}\text{C}$  ka BP. During the first part of *LGM*, the so-called "pleniglacial" (24-18  $^{14}\text{C}$  ka BP), the rate of sedimentation was very high, in the order of 1-3 mm/a and the megafans aggraded contemporaneously in their whole extent, probably due to efficient avulsion processes, which continuously shifted the river course across its system. Pleniglacial sediments of Tagliamento correspond to the *Canodusso subsynthem*.

During the last phase of *LGM*, between 18 and 15  $^{14}\text{C}$  ka BP (21-17 cal ka BP), the so called "cataglacial", the progressive withdraw of the glaciers began; this caused the extreme reduction of sedimentary load to the plain. Nevertheless the trenching of the apexes of the fans caused the abandonment of wide portion

of the Tagliamento *LGM* apron and the downstream shifting of the depositional area; thus several sandy-gravelly fluvial ridges formed in the distal plain (*Remanzacco subsynthem*).

Since the beginning of Lateglacial the whole Venetian-Friulian Plain experienced a strong erosive phase, which caused the formation of a deep valley in the apical portion of megafans and several incisions in the distal sector. In the Sheet these valleys had an average width of 600-200 m and a maximum depth of 25 m. Sedimentary flux concentrated in to the incisions and allowed to transport gravels up to the present lagoon, about 20 km downstream than during *LGM*. These coarse deposits mark the base of the post-*LGM* sedimentation (*Po synthem*). In the interfluves, the major part of megafan surfaces, sedimentation was absent till middle Holocene, allowing mature soil to form.

Even if the sea-level rise had started since the end of *LGM*, only about 5500 BC the level of Adriatic reached a relative position of -10 m a.s.l. and the coastal processes started to play an important role in the evolution of the area of the Sheet. The major phase of fluvial incision lasted up to that time, evidencing the constraining role of the drainage basin more than the sea-level control. The base of the lagoon deposits dates around 5500 BC, but the lagoon margin of the XIX century (before artificial reclamation), was the inner one reached during the Holocene. An exception is represented by the valleys of Tagliamento River, through whom brackish environments expanded, leading to the formations of tidal inlets encased within the *LGM* alluvial deposits. Along the valleys of Concordia, estuarine environments penetrated up to Portogruaro, about 15 km landward from the lagoonal inner margin of that period.

Between the II and I millennium BC the fluvial dynamic in the low plain abruptly changed, from a erosive to a sedimentation phase. Wide fluvial ridges started to form and this is the present tendency, but anthropic activity plays an important role. Ridges characterize the present Tagliamento River, its ancient branch matching with the Lemene River, and the path of Lugugnana River, corresponding to the Roman *Tiliaventum Maius*. The deactivation of the *Tiliaventum Maius* occurred between V-X century, during an avulsion phase which brought Tagliamento to flow simultaneously along Lemene and the present directions, and then only along this last one. The post-Roman alluvial deposits belong to the *Torcello unit*.

During the post-glacial phase the groundwater-fed rivers locally eroded and reshaped the older sediments deposited by the Alpine rivers. Organic sedimentation occurred along their incisions during the late Holocene.

#### 4. - LEGEND OF THE GEOLOGICAL MAP

##### *Ubiquitous units*

Silts and clays with high organic content and sometimes peat, often with presence of fresh-water gastropods of swamp environment (*pulmonata*). Flood

plain and swamp deposits. Upper boundary made by the original depositional surface, generally coinciding with the topographic surface, characterised by organic and hydromorphic soils; lower boundary partially erosive, partially in stratigraphic continuity. Alluvial deposits inside the incisions created by the spring water-fed rivers.

HOLOCENE-PRESENT

### ***PO SYNTHEM (POI)***

Deposits of alluvial, lagoon, beach and marine platform deposits. The *synthem* consists of the **unit of Malamocco (POI<sub>9</sub>)** and the **unit of Torcello (POI<sub>10</sub>)**, which respectively corresponds to the postglacial deposits sedimented up to the Roman period and in the post-Roman period. In the map with the *POI synthem*, indifferenciated, are represented the lagoon and marine deposits, which is often non possible to separate between pre-Roman and post-Roman; at surface most part of them is post-Roman. Due to the same problem, also the palaeochannel deposits are mapped as *POI synthem*.

The basal boundary coincides with an erosive surface affecting the **SPB** and out of the fluvial incisions, in the interfluves, corresponds to a stratigraphic hiatus lasts 9000-16.000 years testified by a fairly well developed soil; upper limit made by the original depositional surface, partially reworked, coinciding with the topographic surface. In the inland areas entisols are present, with typical profile A-C and sometimes with presence of calcic horizons.

UPPER PLEISTOCENE-HOLOCENE (ca. 15.000 BC - Present)

### ***Alluvial deposits, paleochannels (POIb)***

Gravels, sandy gravels and sands, sometimes with alternations of sandy silts and silts in typical fining up sequences; presence of concave and plane cross-lamination. At the top silts and clays could be present, often with high organic content and peat corresponding to the de-activation of the channel and of ox-bow lake. The thickness spans between 3-20 m.

### ***Lagoon deposits (POIe1)***

Silts, clayey silts, organic and peaty silts, sometimes associations of some of these granulometric classes. Locally areas with clays and silty clays are found, often rich in organic matter, sometimes in alternation with clays and thin to medium layers of peaty silts and peat. Remains of brackish-water shells could be abundant (*Cerastoderma*, *Loripes*, *Bittium*, *Gibbula*, *Abra* sp.). Sedimentary bodies with tabular and ribbon-shape geometry with maximum thickness of about 10 m in the back-barrier zones. These sediments correspond to the lagoon or brackish swamp deposits.

***Beach deposits (POI<sub>g2</sub>, POI<sub>g8</sub> if submerged)***

Medium to fine and very-fine sands, rarely silty, in centimetric to decimetric layers; in alternation with silts, sandy silts and secondarily clayey silts in thin to very-thin layers. Marine shells could be abundant (e.g. *Venus*, *Glycimeris*, *Spisula* sp.). Coastal dunes and beach, shoreface deposits, passing to prodelta; maximum thickness ca. 10 m.

***Prodelta and transition to marine platform deposits (POI<sub>g11</sub>)***

Silts and sandy silts with millimetric to centimetric intercalations of fine sands, rich in marine shells (*Turritella*, *scafopodi*, *Spisula* sp.). Maximum thickness of about 10 m which could reach up to 20 m inside the lagoon inlets.

***TORCELLO UNIT (POI<sub>10</sub>)***

Alluvial environment deposits representing the upper unit of the Po synthem. Lower boundary corresponding to an erosive surface affecting the (POI<sub>9</sub>) or the SPB; the main stratigraphic marker consists of the presence at the surface boundary of Roman period findings and mainly of *in situ* archaeological structures of that period. Upper boundary coinciding with the topographic surface, characterized by entisols with typical A-C profile; in rare cases weak calcic horizons are present.

POST-ROMAN HOLOCENE (IV-V century AD - Present)

***Alluvial deposits, paleochannels (POI<sub>10b</sub>)***

Medium to fine and very fine sands, silty sands and gravels in thin to very thick layers with typical fining upward sequences; sometimes in alternations with silts, sandy silts and secondarily with clayey silts. Sedimentary bodies with ribbon-shape and lens geometry which correspond to fluvial channel, natural levee and crevasse splay deposits. The thickness could be very variable and could reach a maximum value of 12 m.

Silts, clayey silts, organic and peaty silts, sometimes in association with some of these granulometric classes. Locally, areas with clays and silty clays could be recognized, often with rich in organic matter, sometimes alternated with clays and peaty silts and peat in layers of very thin to medium thickness. Lens, tabular and ribbon-shaped sedimentary bodies with a maximum thickness of 3-5 m. Correspond to flood plain, fresh-water swamp and ox-bow lake deposits.

***MALAMOCCO UNIT (POI<sub>9</sub>)***

Alluvial environment deposits sedimented after deglaciation of the Pleistocene glaciers and before the Roman period. In the northern sector of the map e partially in the southern one comprehends the sediments related to meandering

branches of the postglacial lobes of the Tagliamento and Piave megafans and of the Livenza River system.

Lower boundary corresponding to an erosive surface affecting the (SPB) and out of the fluvial incisions, in the interfluvies, corresponds to a stratigraphic hiatus lasting 9000-16.000 years which correlates with fairly well developed soil, characterized by overconsolidation. In the incisions the sedimentation started after  $15.565 \pm 175$  and before  $11.960 \pm 95$   $^{14}\text{C}$  years BP.

Upper limit made by the original depositional surface, partially reworked, coinciding with the topographic surface, locally incised the groundwater-fed rivers. In the inland areas entisols are present, with typical profile A-C and sometimes with presence of calcic horizons.

UPPER PLEISTOCENE-PREROMAN HOLOCENE (ca. 15.000 BC - IV-V century AD)

### ***Alluvial deposits***

Coarse to fine gravels and sandy gravels, sometimes silty, with thin to very thick layers in typical fining up sequences. Locally alternated with sands; they form sedimentary bodies with ribbon-shaped and lens geometry which correspond to river channels, generally incised in to the SPB; incisions are up to 20 m deep and up to 2 km wide.

Medium to fine and very fine sands, silty sands and gravels in thin to very thick layers with typical fining upward sequences; sometimes in alternations with silts, sandy silts and secondarily with clayey silts. These deposits form sedimentary bodies with ribbon-shaped and lens geometry, with a maximum thickness of several metres (2-10 m). Correspond to the channel, natural levee and crevasse splay deposits; they pass laterally and vertically to flood plain deposits and sometimes they bury freshwater and brackish swamp deposits.

Silts, clayey silts, organic and peaty silts, sometimes associations of some of these granulometric classes. Locally, some areas with clays and organic clays, often rich in organic matter, are present. Sometimes they are in alternation with clays, peaty silts and peat with very thin to medium layers. These deposits form sedimentary bodies with lens, tabular and ribbon-shaped geometry, with a maximum thickness of several metres (3-5 m). Correspond to flood plain or swamp deposits, which laterally and vertically pass to lagoon and channel or fluvial ridge.

### ***SPILIMBERGO SYNTHEM (SPB)***

Alluvial deposits related to the maximum advance and expansion of the glacier of Tagliamento during the Last Glacial Maximum (LGM). It consists of the *Canodusso subsynthem* and *Remanzacco subsynthem* which respectively correspond to the so-called pleniglacial and cataglacial phases. In the map SPB has a total thickness which can reach up to 30 m in the northern sector and thins to 20 m in the southern one.

UPPER PLEISTOCENE

### **REMANZACCO SUBSYNTHEM (SPB<sub>4</sub>)**

Upper unit of the Spilimbergo synthem, formed by alluvial deposits sedimented during the deglaciation occurred in the final part of *LGM*. Lower limit scarcely outcropping, represented by an erosive fluvial surface, clearly evident in correspondence of the channels of **SPB<sub>4</sub>**, or stratigraphic paraconcordance with **SPB<sub>3</sub>**. The lower limit is sometimes marked at the bottom by the presence of organic and peaty silts dating to the final phase of *LGM* (18.000-15.600 <sup>14</sup>C years BP). Upper limit, partially erosive, partially coinciding with the original depositional surface, characterized by overconsolidated inceptisols (colours 10YR and 2.5 YR), characterized by calcic horizons with accumulation of pluricentimetric carbonate concretions, locally identified with the traditional term “caranto”.

UPPER PLEISTOCENE

Sandy gravels, fine gravels, sands, sandy silts with cross tabular stratification; presence of clayey and silty chips, scour and fill structures and sometimes reactivation surfaces. River channel, natural levee deposits with prevailing ribbon-shaped geometry, with a maximum thickness of 4-5 m and width of 50-200 m. They are related to wandering and/or slightly meandering rivers.

Silts, clayey silts and silty clays in tabular layers with centimetric to decimetric thickness, sometimes with planar and parallel, millimetric lamination. Flood plain deposits with tabular geometry and a maximum thickness of 4 m.

### **CANODUSSO SUBSYNTHEM (SPB<sub>3</sub>)**

Alluvial deposits related to sandy braided rivers that in the southern sector of the Sheet “Portogruaro” shift to wandering and meandering typology with low sinuosity. Lower limit is not cropping out, erosive and of alluvial origin; in some areas it correlated with an inceptisols, moderately evolved, radiocarbon dated at the top between 24.275±375 and 21.990±280 <sup>14</sup>C years BP. Upper limit partially erosive, partially corresponding to the original depositional surface; when it crops out, the boundary corresponds to an inceptisol (colour 10 YR and 2.5 YR), with calcic horizons and pluricentimetric carbonate concretions, traditionally called “caranto”. In the northern sector of the map the **SPB<sub>3</sub>** has a maximum thickness of 30 m.

UPPER PLEISTOCENE

Fine to medium sands and silty sands with a decimetric to metric thickness, sometimes with parallel from planar to cross-bed lamination at low angle. The sedimentary bodies have a lens geometry and a thickness up to 1-2 m. River channel and crevasse splay deposits with tabular and ribbon-shaped geometry.

Silts, clayey silts, silty clays and sandy silts in pluricentimetric to decimetric alternations; presence of fine sands lens with a pluricentimetric to decimetric

thickness. Organic or peaty silts and peat horizons with centimetric to decimetric thickness, often characterized by very wide lateral continuity, sometimes with remains of freshwater molluscs. Correspond to flood plain and natural levee deposits.

PROGETTO  
CARG

## BIBLIOGRAFIA

- ALBANI A.D. & SERANDREI BARBERO R. (1982) - *A foraminiferal fauna from the lagoon of Venice, Italy*. Journal of Foraminifera Research, **12**: 234-241.
- AA.VV. (1999) - *La Carta Geologica di pianura in scala 1:50.000. Linee guida per il rilevamento e la cartografia*. S.G.N., nota del Comitato di Coordinamento delle aree di pianura, 13 pp.
- AA.VV. (2003) - *Guida italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica*. Servizio Geologico Nazionale, Roma, Quaderni ser. III, **9**: 155 pp.
- AGIP (1977) - *Temperature sotterranee*. Inventario dei dati raccolti durante la ricerca e la produzione di idrocarburi in Italia, Ed. Brugora, Segrate (MI), 1391 pp.
- AMATO A., BARNABA P.F., FINETTI I., GROPPI G., MARTINIS B. & MUZZIN A. (1976) - *Geodynamic outline and seismicity of Friuli Venetia Giulia Region*. Boll. Geof. Teor. Appl., Trieste, **19**: 217-256.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., FIORINI F., FUSCO F., PASINI G., VAIAINI S.C. & SARTI G. (2004) - *Palaeogeographic and paleoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records*. Global and Planet. Change, **40**: 55-78.
- AMOROSI A., FONTANA A., ANTONIOLI F., PRIMON S. & BONDESAN A. (2008) - *Post-LGM sedimentation and Holocene shoreline evolution in the NW Adriatic coastal area*. GeoActa, **7**: 41-67.
- ANDERBERG A.L. (1994) - *Atlas of seeds*. Part 4 Resedaceae-Umbrelliferae. Berlings, Arlöv, pp. 259.
- ANDERBERG A.L. & BERGREEN G. (1981) - *Atlas of seeds*. Part 3 Salicaceae-Cruciferae, Berlings, Arlöv, pp. 281.
- ANTONIOLI F., FERRANTI L., FONTANA A., AMOROSI A., BONDESAN A., BRAITENBERG C., FONTOLAN G., FURLANI S., MASTRONUZZI G., MONACO C., SPADA G. & STOCCHI P. (2009) - *Holocene relative sea-level changes and vertical movements along the Italian and Istrian coastlines*. Quaternary International, **231**: 37-51.
- ANTONIOLI F., BARD E., SILENZI S. & IMPROTA S. (2004) - *215 kyr history of sea level oscillation from marine and continental layer of Argentarola Cave's speleothems (Italy)*. Global and Planetary Change, **43**: 57-78.
- ARNAUD FASSETTA G., CARRE M.B., MAROCCO R., MASELLI SCOTTI F., PUGLIESE N., ZACCARIA C., BANDELLI A., BRESSON V., MANZONI G., MONTENEGRO M.E., MORHANGE C., PIPAN M., PRIZZON A. & SICHÉ I. (2003) - *The site of Aquileia (Northeastern Italy): example of fluvial geoarchaeology in a Mediterranean deltaic plain*. Géomorphologie: relief, processus, environnement, **4**: 227-246.
- BARBIERI C. & GARCIA CASTELLANOS D. (2004) - *A 3D image of the Venetian foreland basin (NE Italy) through a 2D (planaform) analysis*. Proceedings of Geomod 2004, June 9-11, 2004, Emmeten-Lake Lucerne, 179-182.
- BARBIERI C., DI GIULIO A., FANTONI R., PICOTTI V. & ZANFERRARI A. (2004) - *Patterns of the Messinian erosion in the Venetian-Friulian Basin*. 32<sup>nd</sup> I.G.C. Florence August 20-28 2004, Scient. Session abst., 248.
- BARMAWIDJAJA D.M., JORISSEN F.J., PUSKARIC S. & VAN DER ZWAAN G.J. (1992) - *Microhabitat selection by benthic foraminifera in the Northern Adriatic Sea*. Journal of Foraminifera Research, **22/4**: 297-317.
- BERENDSEN H.J.A. & STOUTHAMER E. (2001) - *Paleogeographic development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands*. 3 enclosures, Van Gorcum, Assen, 270 pp.
- BINI A., BORSATO A., CARRARO F., CARTON A., CORBARI D., CUCATO M., MONEGATO G. & PELLEGRINI G.B. (2004) - *Definizione di alcuni termini in uso nella cartografia dei depositi quaternari continentali in ambito alpino*. Il Quaternario, **17** (1): 75-82.



- BONADUCE G., CIAMPO G. & MASOLI M. (1975) - *Distribution of Ostracoda in the Adriatic Sea*. Pubbl. Staz. Zool. Napoli, Suppl. **40**: 1-304.
- BONDESAN A. (1999) - *Una nuova data <sup>14</sup>C nell'anfiteatro morenico di Vittorio Veneto e la costruzione del suo sandur (pianura del F. Meschio)*. Atti VIII Conv. Glac. It., Bormio, riassunti, 87-89.
- BONDESAN A. (2004) - *Tra Livenza e Piave*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di), *Geomorfologia della provincia di Venezia*, Esedra, Padova, 217-234.
- BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) (2004) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 516 pp.
- BONDESAN A., CALDERONI G. & MOZZI P. (2002) - *L'assetto geomorfologico della pianura veneta centro-orientale: stato delle conoscenze e nuovi dati*. In: ZUNICA M. & VAROTTO M. (a cura di), *Scritti in ricordo di G. Brunetta*, Dipartimento di Geografia "G. Morandini", Università degli Studi di Padova, 19-38.
- BONDESAN A., MENEGHEL M., MIOLA A. & VALENTINI G. (2003) - *Pollen analyses of lagoon and fluvial sediments of a 20 m Core in the Lower Coastal River Piave Plain. Palaeoenvironmental Reconstruction from LGM to Present*. *Il Quaternario*, **16** (1b): 183-192.
- BONDESAN A., MENEGHEL M., ROSSELLI R. & VITTURI A. (a cura di) (2004a) - *Carta Geomorfologica della provincia di Venezia, scala 1:50.000*. LAC, Firenze, 4 Fogli.
- BONDESAN A., FINZI E., FONTANA A., FRANCESE R., MAGRI S., MOZZI P., PRIMON S. & ZAMBONI C. (2004b) - *La Via Annia a Ca' Tron: nuovi contributi della geomorfologia, della geofisica e del telerilevamento*. In: BUSANA M.S. & GHEDINI F. (a cura di), *La via Annia e le sue infrastrutture*, Atti delle Giornate di Studio (Ca' Tron, Roncade, 6-7 novembre 2003), Grafiche Antiga, Cornuda (TV), 109-146
- BONDESAN A., ASIOLI A., FAVARETTO S., FONTANA A., GOBBATO D., LUBIANI A., MIOLA A., SOSTIZZO I., TOFFOLETTO F. & VALENTINI G. (2005) - *Paleoambienti tardo quaternari nella bassa pianura friulana: ricerche multidisciplinari nell'area di Concordia Sagittaria (VE)*. In: BONDESAN A. & FONTANA A. (a cura di), *Riassunti, Conv. Naz. A.I. Geo. Montagne e Pianure - Recenti sviluppi nella ricerca in Geografia Fisica e Geomorfologia*, Padova 15-16-17 febbraio 2005, *Materiali Dip. Geografia "G. Morandini"*, 44-46.
- BONDESAN A., BASSAN V., FONTANA A., MENEGHEL M., MOZZI P., ABBA T., BISAZZA A. & VITTURI A. (2008a) - *Carta delle unità geologiche della provincia di Venezia, scala 1:50.000*. Cierre, Verona, 2 Fogli.
- BONDESAN A., PRIMON S., BASSAN V. & VITTURI A. (2008b) - *Le unità geologiche della provincia di Venezia*. Cierre, Verona, 184 pp.
- CALORE C., DELLA VEDOVA B., GRASSI S., MARSON I., NICOLICH R. & SQUARCI P. (1995) - *A hydrothermal system along the coastal area of Friuli-Venezia Giulia region (NE Italy)*. *Proceedings of the World Geotherm Congress*, Firenze, vol. 2, 1269-1274.
- CANALI G., CAPRARO L., DONNICI S., RIZZETTO F., SERANDREI BARBERO R. & TOSI L. (2007) - *Vegetational and environmental changes in the eastern Venetian coastal plain (Northern Italy) over the past 80.000 years*. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, **253**: 300-316.
- CAPPERS R.T.J., BEKKER R.M. & JANS J.E.A. (2006) - *Digital Seed Atlas of the Netherlands*. Barkhul Publishing, Elde.
- CARMINATI E., DOGLIONI C. & SCROCCA D. (2003) - *Apennines subduction-related subsidence of Venice (Italy)*. *Geoph. Research Lett.*, **30** (13): 50-58.
- CARTON A., BONDESAN A., FONTANA A., MENEGHEL M., MIOLA A., MOZZI P., PRIMON S. & SURIAN N. (2009) - *Geomorphological evolution and sediment transfer in the Piave River system (north-eastern Italy) since LGM*. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environment*, **3**: 182-198.

- CASADORO G., CASTIGLIONI G.B., CORONA E., MASSARI F., MORETTO M.G., PAGANELLI A., TEREZIANI F. & TONIELLO V. (1976) - *Un deposito tardowürmiano con tronchi sub fossili alle Fornaci di Revine (Treviso)*. Bollettino Comitato Glaciologico Italiano, **2**, 24, 22-63.
- CASTELLARIN B. (1990) - *Le inondazioni del Tagliamento*. In: ALIAN M.G.B., CASTELLARIN B., FANTIN E., FORAMITTI R., ROMANIN F. & TUROLDO D.M. (a cura di), (1990), *Le alluvioni del Tagliamento a Latisana e nei comuni della Bassa Friulana, La Bassa, collana, Latisana*, **12**: 35-96.
- CASTELLARIN A., NICOLICH R., FANTONI R., CANTELLI L., SELLA M. & SELLI L. (2006) - *Structure of the lithosphere beneath the Eastern Alps (southern sector of the TRANSALP transect)*. Tectonophysics, **414**: 259-282.
- CASTIGLIONI G.B. (1995) - *Risultati preliminari del nuovo rilevamento geomorfologico della Pianura Padana*. Mem. Soc. Geograf. Ital., **53**: 13-73.
- CASTIGLIONI G.B. & FAVERO V. (1987) - *Linee di costa antiche ai margini della Laguna di Venezia e ai lati della foce attuale del Piave*. Rapporti e Studi Ist. Ven. Sc. Lett. Art., Venezia, **10**: 17-30.
- CATANI G., MAROCCO R., BRAMBATI A., CAROBENE L. & LENARDON G. (1978) - *Indagini sulle cause dell'erosione nel tratto orientale del litorale di Valle Vecchia (Caorle, Adriatico Settentrionale)*. Mem. Soc. Geol. It., **19**: 399-405.
- CATANI G., LENARDON G., MAROCCO R. & TUNIS G. (1982) - *Rapporto sulle ricerche morfologiche e sedimentologiche effettuate nel 1976 nella spiaggia modello di Valle Vecchia (Venezia)*. Boll. Soc. Adr. Sc., **LXVI**: 73-103.
- CATI A., FICHERA R. & CAPPELLI V. (1989a) - *Northeastern Italy. Integrated processing of geophysical and geological data*. Mem. Soc. Geol. It., Roma, **40**: 273-288.
- CATI A., SARTORIO D. & VENTURINI S. (1989b) - *Carbonate platforms in the subsurface of the northern Adriatic area*. Mem. Soc. Geol. It., **40**: 295-308.
- CATTANEO A. & TRINCARDI F. (1999) - *The Late-Quaternary transgressive record in the Adriatic epicontinental sea: basin widening and facies partitioning*. In: BERGMAN K. & SNEDDEN J. (Eds.), *Isolated Shallow marine sand bodies: Sequence stratigraphic analysis and sedimentologic interpretation*, SSEPM, **64**: 127-146.
- CATTANEO A., TRINCARDI F., LANGONE L., ASIOLI A. & PUIG P. (2004) - *Clinof ormation generation on Mediterranean Margins*. Oceanography, **17/4**: 104-117.
- CHALINE J. & LERZ H. (1984) - *Arbeitsergebnisse der Sbkommision fur Europäische Quartarstratigraphie. Stratotypen des Wurm-Glazials*. Eiszeitalter und Gegenwart, **35**: 185-206.
- COMEL A. (1950) - *La Bassa Pianura del Friuli occidentale fra Tagliamento e Livenza e zone contermini - studio geoaeronomico*. Annali della Stazione chimico-agraria sperimentale di Udine, ser. 3, **7**, 145 pp.
- COMEL A. (1956a) - *Carta Geologica delle Tre Venezie, Foglio 39 "Pordenone"*. Uff. Idr. Magistrato alle Acque di Venezia, Venezia.
- COMEL A. (1956b) - *Note Illustrative della Carta Geologica delle Tre Venezie, Foglio 39 "Pordenone"*. Uff. Idr. Magistrato alle Acque di Venezia, 32 pp.
- COMEL A. (1958a) - *Carta Geologica delle Tre Venezie, Foglio 40 "Palmanova"*. Uff. Idr. Magistrato alle Acque di Venezia, Firenze.
- COMEL A. (1958b) - *Note Illustrative della Carta Geologica delle Tre Venezie, Foglio 40 "Palmanova"*. Uff. Idr. Magistrato alle Acque di Venezia, 50 pp.
- COMEL A. (1958c) - *I terreni della zona inferiore della Bassa Pianura Friulana*. Udine, Arti Grafiche Friulane, 81 pp.

- COMEL A. (1959) - *Carta Geologica delle Tre Venezie, Foglio 52-53 "San Donà di Piave-Foce del Tagliamento"*. Uff. Idr. Magistrato alle Acque di Venezia, Venezia.
- COMEL A., NASSIMBENI P. & NAZZI P. (1982) - *Carta pedologica della pianura friulana e del connesso anfiteatro morenico del Tagliamento*. Pubbl. Reg. Aut. F.V.G., Dir. Reg. Pianif. e Bil., Centro reg. per la sperim. agr., 59 pp.
- CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA VENETA TRA LIVENZA E TAGLIAMENTO & PROVINCIA DI VENEZIA (2001) - *Indagine sulle acque sotterranee del portogruarese*. Grafiche Erredici, Padova.
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F. (1996) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. Il Quaternario, **9**: 697-704.
- CREMASCHI M. & RODOLFI G. (a cura di) (1987) - *Il suolo*. Carocci, Roma.
- CROCE DA VILLA P.A. & DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (2001) - *Concordia, 3000 anni di storia*. Esedra, Padova, 393 pp.
- DAL PRA A., GOBBO L., VITTURI A. & ZANGHERI P. (2000) - *Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia*. Provincia di Venezia.
- DI GIULIO A., FANTONI R., ZANFERRARI A., MANCIN N., TOSCANI G., PICOTTI V., BARBIERI C., ALBERTINI C. & MARCHESINI A. (in stampa) - *Cenozoic architecture of the Venetian-Friulian Basin (NE Italy)*. Boll. Soc. Geol. It.
- DOGLIONI C. & BOSELLINI A. (1987) - *Eoalpine and mesoalpine tectonics in the Southern Alps*. Geol. Rundsch., **76** (3): 735-754.
- DONNICI S. & SERANDREI BARBERO R. (2002) - *The benthic foraminiferal communities of the North Adriatic continental shelf*. Marine Micropaleontology, **44**: 93-123.
- D'ONOFRIO S. (1969) - *Ricerche sui foraminiferi nei fondali antistanti il delta del Po*. G. Geol. Ser. 2, **36**: 189-310.
- ESAV (1996) - *I suoli dell'area a DOC del Piave*. Provincia di Venezia, Ente Sviluppo Agricolo del Veneto, Padova, Serie pedologica, **3**: 158 pp.
- FAEGRI K. & IVERSEN J. (1989) - *Textbook of Pollen Analysis*. IV ed., John Wiley & Sons, Chichester.
- FAO (1998) - *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Report n. 84. FAO, Rome.
- FAO-ISRIC (1990) - *Guidelines for soil description, 3rd edition*. International soil Reference Information Centre, Rome.
- FANTONI R., CATELLANI D., MERLINI S., ROGLEDI S. & VENTURINI S. (2002) - *La registrazione degli eventi deformativi cenozoici nell'avampaese Veneto-Friulano*. Mem. Sci. Geol., Padova, **5G7**: 301-313.
- FAVERO V. (1990) - *Concordia Sagittaria. Scavo protostorico*. Quaderni Archeologia del Veneto, **7**: 79-85.
- FERRANTI L., ANTONIOLI F., MAUZ B., AMOROSI A., DAI PRA G., MASTRONUZZI G., MONACO C., ORRÙ P., PAPPALARDO M., RADTKE U., RENDA P., ROMANO P., SANSÒ P. & VERRUBBI V. (2006) - *Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: Tectonic implications*. Quaternary International, **145-146**: 30-54.
- FERUGLIO E. (1925) - *La zona delle risorgive del Basso Friuli fra il Tagliamento e la Torre*. Annali della Stazione chimico-agraria sperimentale di Udine, ser. **3**, **1**, 159 pp.
- FERUGLIO E. (1936) - *Sedimenti marini nel sottosuolo della bassa pianura friulana*. Boll. Soc. Geol. It., **55**, **1**: 129-138.
- FONTANA A. (2004a) - *Tra Tagliamento e Livenza*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di), Note Illustrative della Carta geomorfologica della provincia di Venezia, Esedra, 195-217.

- FONTANA A. (2004b) - *Le lagune di Caorle e Bibione*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di), Geomorfologia della provincia di Venezia, Esedra, Padova, 367-378.
- FONTANA A. (2006) - *L'evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana e le sue relazioni con le dinamiche insediative antiche*. Monografie del Museo Friulano di Storia Naturale, Udine, **47**: 288 pp., con allegata Carta Geomorfologica della bassa pianura friulana, scala 1:50.000.
- FONTANA A., MOZZI P. & BONDESAN A. (2004) - *L'evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di), Geomorfologia della provincia di Venezia, Esedra, Padova, 113-138.
- FONTANA A., MOZZI P. & BONDESAN A. (2008) - *Alluvial megafans in the Veneto-Friuli Plain: evidence of aggrading and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene*. Quaternary International, **189**: 71-90.
- FONTOLAN G. (2004) - *La fascia costiera*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di), Geomorfologia della provincia di Venezia, Esedra, Padova, 378-416.
- FOZZATI L. & TONIOLO A. (2001) - *Caorle*. In: CROCE DA VILLA P.A. & DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (a cura di), Concordia, 3000 anni di storia, Esedra, Padova, 83-88.
- GALADINI F., POLI M.E. & ZANFERRARI A. (2005) - *Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with  $M \geq 6$  in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy)*. Geoph. J. Int., Oxford, **161**: 739-762.
- GALASSI P. & MAROCCO R. (1999) - *Relative sea-level rise, sediment accumulation and subsidence in the Caorle lagoon (Northern Adriatic Sea, Italy) during the Holocene*. Il Quaternario, **12** (2): 249-256.
- GAZZI P., ZUFFA G., GANDOLFI G. & PAGANELLI L. (1973) - *Provenienza e dispersione litoranea delle sabbie delle spiagge adriatiche fra le foci dell'Isonzo e del Foglia: inquadramento regionale*. Mem. Soc. Geol. It., Roma, **12**: 1-37.
- GORDINI E., MAROCCO R. & VIO E. (2002) - *Subsurface stratigraphy of "Trezza Grande" bank (Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea)*. Gortania, Atti Museo Friulano Storia Naturale, **24**: 31-63.
- GORDINI E., MAROCCO R. & RAMELLA R. (2006) - *Dinamica morfologica del litorale del delta del fiume Tagliamento (Adriatico settentrionale) in relazione ai possibili interventi di ripascimento*. Il Quaternario, **19**: 45-65.
- GRADSTEIN F.M., OGG J.G., SMITH A.G., BLEEKER W. & LOURENS L.J. (2004) - *A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene*. Episodes, **27** (2): 83-100.
- GRIMM E.C. (1990) - *TILIA and TILIA.GRAPH, PC spreadsheet and graphics software for pollen data*. INQUA Working Group Data Handling Methods Newsletter 4, 5-7.
- GRIMM E.C. (2004) - *TGView 2.0.2*. Springfield, Illinois State Museum, Research and Collections Centre.
- KLIE W. (1938) - *Krebstiere oder Crustacea. III Ostracoda, Muschelkrebse*. In: Dalh: Die Tierwelt Deutschlands, **37**: 1-230.
- JORISSEN F.J. (1987) - *The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea*. Marine Micropaleontology, **12**: 21-48.
- JORISSEN F.J. (1988) - *Benthic Foraminifera from the Adriatic Sea; principles of phenotypic variation*. Utrecht Micropal. Bulletin **37**: 176.
- JORISSEN F.J., BARMAWIDJAJA D.M., PUSKARIC S. & VAN DER ZWAAN G.J. (1995) - *Vertical distribution of benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea: the relation with the organic flux*. Marine Micropaleontology, **19**: 131-146.

- INGERSOLL R.V., BULLARD T.F., FORD R.L., GRIMM J.P., PICKLE J.D. & SARES S.W. (1984) - *The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazi-Dickinson point-counting method*. J. Sedim. Research, SEPM, Tulsa, **54**: 103-116.
- LAMBECK K., ANTONIOLI F., PURCELL A. & SILENZI S. (2004) - *Sea level change along the Italian coast for the past 10.000 yrs*. Quaternary Science Review, **23**: 1567-1598.
- LAUFER A., LOESCHKE J. & VIANDEN B. (1993) - *Die Dimon-Serie del Karnischen Alpen (Italien) - Stratigraphie, Petrographie und geodynamische Interpretation*. Jb. Geol. B.-A., Wien, **136/1**: 137-162.
- LENARDON G., MAROCCO R. & PUGLIESE N. (2000) - *L'aggradazione Tardiglaciale-olocenica della piana di Portogruaro (Italia settentrionale)*. Studi Trentini di Scienze naturali, Acta Geologica, **77**: 127-138.
- LUGLI S., MARCHETTI DORI S. & FONTANA D. (2007) - *Alluvial sand composition as a tool to unravel late Quaternary sedimentation of the Modena Plain, northern Italy*. In: ARRIBAS J., CRITELLI S. & JOHNSON M.J. (Eds), *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry*, Sp. Pap. Geological Society of America, **420**: 57-72.
- MAROCCO R. (1988) - *Considerazioni sedimentologiche sui sondaggi S19 e S20 (Delta del F. Tagliamento)*. Gortania, Atti Museo Friul. St. Nat., **10**: 101-120.
- MAROCCO R. (1989) - *Evoluzione quaternaria della Laguna di Marano (Friuli Venezia-Giulia)*. Il Quaternario, **2** (2): 125-137.
- MAROCCO R. (1991) - *Evoluzione tardopleistocenica-olocenica del delta del F. Tagliamento e delle lagune di Marano e Grado (Golfo di Trieste)*. Il Quaternario, **4** (1b): 223-232.
- MAROCCO R., MELIS R., MONTENEGRO M.E., PUGLIESE N., VIO E. & LENARDON G. (1996) - *Holocene evolution of the Caorle barrier-lagoon (Northern Adriatic Sea, Italy)*. Riv. It. Paleont. e Strat., **102** (3): 385-396.
- MARSON G. (1997) - *Il fiume Livenza*. Canova, Treviso, 447 pp.
- MARTINSON D.G., PISIAS N.G., HAYS J.D., IMBRIE J., MOORE T.C. & SHACKLETON N.J. (1987) - *Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300.000-year chronostratigraphy*. Quaternary Research, **27**: 1-29.
- MASSARI F. (1990) - *The foredeep of the northern Adriatic margin: evidence of diachronicity in deformation of the Southern Alps*. Riv. It. Paleont. Strat., **96**: 350-380.
- MASSARI F., RIO D., SERANDREI BARBERO R., ASIOLI A., CAPRARO L., FORNACIARI E. & VERGERIO P.P. (2004) - *The environment of Venice area in the past two million years*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **202**: 273-308.
- MERLINI S., DOGLIONI C., FANTONI R. & PONTON M. (2002) - *Analisi strutturale lungo un profilo geologico tra la linea Fella Sava e l'avampaese adriatico (Friuli Venezia Giulia - Italia)*. Mem. Soc. Geol. It., Roma, **57**: 293-300.
- MIALL A. (1996) - *The geology of fluvial deposits*. Springer Verlag, Heidelberg Berlin, 582 pp.
- MICHELUTTI G., ZANOLLA S. & BARBIERI S. (2003) - *Suoli e Paesaggi del Friuli-Venezia Giulia, 1. Pianura e colline del pordenonese*. ERSA, Servizio della sperimentazione agraria, Ufficio del suolo, Pozzuolo del Friuli (UD), 510 pp.
- MIOLA A., BONDESAN A., CORAIN L., FAVARETTO S., MOZZI P., PIOVAN S. & SOSTIZZO I. (2006a) - *Wetlands in the Venetian Po Plain (north-eastern Italy) during the Last Glacial Maximum: vegetation, hydrology, sedimentary environments*. Review of Palaeobotany and Palynology, **141**: 53-81.

- MIOLA A., BONDESAN A., FAVARETTO S., FONTANA A., MOZZI P., SOSTIZZO I. & VALENTINI G. (2006b) - *Palaeobotanical data for a biostratigraphy of the Last Glacial Maximum in the Venetian Plain*. INQUA-SEQS Quaternary Stratigraphy and Evolution of the Alpine Region in the European and Global Framework, 11-15 September 2006, Milano, 81-82.
- MONEGATO G., RAVAZZI C., DONEGANA M., PINI R., CALDERONI G. & WICK L. (2007) - *Evidence of a two-fold glacial advance during the last glacial maximum in the Tagliamento end moraine system (eastern Alps)*. Quaternary Research, **68**: 284-302.
- MOORE P.D., WEBB J.A. & COLLINSON M.E. (1991) - *Pollen analysis, II ed.* Blackwell Science, Oxford, 216.
- MOZZI P. (2005) - *Alluvial plain formation during the Late Quaternary between the southern Alpine margin and the Lagoon of Venice (northern Italy)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., suppl. 7: 219-230.
- MOZZI P., BINI C., ZILLOCCHI L., BECATTINI R. & MARIOTTI LIPPI M. (2003) - *Stratigraphy, palaeopedology and palinology of late Pleistocene and Holocene deposits in the landward sector of the lagoon of Venice (Italy), in relation to caranto level*. Il Quaternario, **16** (1bis): 193-210.
- MULLENDERS W., FAVERO V., CIREMANS M. & DIRICKX M. (1996) - *Analyses polliniques de sondages a Venise (VE-I, VE-I bis, VE-II)*, in «Pleistocene Palynostratigraphy». Gullentips F. (ed), Aardk. Mededel., 7: 87-117.
- MURRAY J.W. (2006) - *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, 426 pp.
- M.U.R.S.T. (1997a) - *Carta Geomorfologica della Pianura Padana (Foglio 3), scala 1:250.000*. Ed. Selca, Firenze.
- M.U.R.S.T. (1997b) - *Carta altimetrica e dei movimenti verticali del suolo della Pianura Padana (Foglio 3), scala 1:250.000*. Ed. Selca, Firenze.
- NACSN - NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (1983) - *North American Stratigraphic Code*. Bull. Amer. Ass. Petr. Geol., **67** (5): 841-875.
- OROMBELLI G., RAVAZZI C. & CITA M.B. (2005) - *Osservazioni sul significato dei termini LGM (UMG), tardoglaciale e postglaciale in ambito globale, italiano ed alpino*. Il Quaternario, **18** (2): 147-156.
- PAIERO G. & MONEGATO G. (2003) - *The Pleistocene evolution of Arzino alluvial fan and western part of Tagliamento morainic amphitheatre (Friuli, NE Italy)*. Il Quaternario, **16** (2): 185-193.
- PELLEGRINI G.B., ALBANESE D., BERTOLDI R. & SURIAN N. (2005) - *La deglaciazione nel Vallone Bellunese, Alpi Meridionali Orientali*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, Supplemento 7: 271-280.
- PENCK A. & BRÜCKNER E. (1909) - *Die Alpen im Eiszeitalter*. Tauchnitz, Leipzig, 3: 1199 pp.
- PERUZZA L., POLI M.E., REBEZ A., RENNER G., ROGLEDI S., SLEJKO D. & ZANFERRARI A. (2002) - *The 1976-1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects*. Mem. Soc. Geol. It., **57**: 391-400.
- PETRUCCI F., MEDIOLI F.S., SCOTT D.B., PIANETTI F.A. & CAVAZZINI R. (1983) - *Evaluation of the usefulness of foraminifera as sea level indicators in the Venice lagoon (N. Italy)*. Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense, **19**: 63-77.
- PICOTTI V., COBIANCHI M., FANTONI R. & MASETTI D. (2003) - *Platform to basin transitions: tectonic control and patterns in the Mesozoic of the eastern Southern Alps*. Mem. Sci. Geol. Padova, **54**: 115-118.
- PIERI M. & GROPPI G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*. CNR-Progetto Fin. Geodinamica, Roma, pubbl. **414**: 1-113.
- PINI R., RAVAZZI C. & DONEGANA M. (2009) - *Pollen stratigraphy, vegetation and climate history of the last 215 ka in the Azzano Decimo core (plain of Friuli, north-eastern Italy)*. Quaternary Science Reviews, **28**: 1268-1290.

- PIRONA G.A. (1861) - *Sulle antiche morene del Friuli*. Atti Soc. It. Sc. Nat., Milano, Vol. II: 548-556.
- POLI M.E. (1995) - *Evidenze di tettonica a thrust dinarica nelle Prealpi Giulie meridionali (Italia Nord-orientale)*. Atti Ticinesi Sci. Terra, ser. spec., 3: 99-114.
- POLI M.E. (1996) - *Analisi strutturale del Monte di Medea (Friuli): tettonica polifasica nell'avampaese sudalpino orientale*. Atti Ticinensi Sci. Terra, s. spec., 4: 103-113.
- POLI M.E., PERUZZA L., REBEZ A., RENNER G., SLEJKO D. & ZANFERRARI A. (2002) - *New seismotectonic evidence from the analysis of the 1976-1977 and 1977-1999 seismicity in Friuli (NE Italy)*. Boll. Geof. Teor. Appl., Trieste, 43: 53-78.
- PROVINCIA DI VENEZIA (1983) - *Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia parte nord-orientale*. Venezia, 12 carte.
- PUNT W. (1976) - *The Northwest European Pollen flora, I*. Review of Palaeobotany and Palynology, Elsevier, Amsterdam, 17: 145 pp.
- PUNT W. & CLARKE G.C.S. (1980) - *The Northwest European Pollen flora, II*. Review of Palaeobotany and Palynology, 26: 265 pp.
- PUNT W. & CLARKE G.C.S. (1981) - *The Northwest European Pollen flora, III*. Review of Palaeobotany and Palynology, 33: 138 pp.
- PUNT W. & CLARKE G.C.S. (1984) - *The Northwest European Pollen flora, IV*. Review of Palaeobotany and Palynology, 42: 369 pp.
- PUNT W., BLACKMORE S. & CLARKE G.C.S. (1988) - *The Northwest European Pollen flora, V*. Review of Palaeobotany and Palynology, 57: 154 pp.
- RAGAZZI F. & ZAMARCHI P. (a cura di) (2008a) - *Carta dei suoli della provincia di Venezia, scala 1:50.000*. LAC, Firenze, 2 Fogli.
- RAGAZZI F. & ZAMARCHI P. (2008b) - *I suoli della provincia di Venezia*. Provincia di Venezia. ARPAV, 267 pp.
- RAMELLA R., VIEZZOLI D., GORDINI E., CODIGLIA R., ROMEO R. & DEPONTE M. (2005) - *Indagini meteo-oceanografiche, batimetriche, sedimentologiche e morfologiche finalizzate allo studio dei fenomeni di dinamica costiera lungo i litorali di Lignano Sabbiadoro e di Bibione. Campagna di ricerca 2002-2004*. OGS, Comune Lignano Sabbiadoro, Comune S. Michele al Tagliamento. Rapporto inedito.
- RAMSEY B. (2004) - *OxCal vers. 3.10*. Research Lab for Archaeology, Oxford OX1 3QY, UK.
- REGIONE DEL VENETO (2005) - *Carta dei Suoli del Veneto alla scala 1:250.000*. ARPAV - Osservatorio Regionale Suolo, Castelfranco Veneto, 1 Foglio, 3 volumi.
- REILLE M. (1992) - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Marseille, 520 pp.
- REILLE M. (1998) - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Supplement 2, Marseille, 521 pp.
- ROSSI M. (a cura di) (2005) - *Kriegskarte, 1798-1805. Il Ducato di Venezia nella carta di Anton Von Zach. Das Herzogtum Venedig auf der Karte Antons Von Zach*. Fond. Benetton Studi Ricerche, Grafiche Bernardi, Treviso, 2 vol., 800 pp.
- SALVATORI S. (a cura di) (1989) - *Ricerche archeologiche a Cittanova (Eraclea) 1987-1988*. Quaderni di Archeologia del Veneto, 5: 77-114.
- SANESI G. (a cura di) (1977) - *Guida alla descrizione del Suolo*. CNR, Firenze.
- SCHMID S.M., FÜGENSCHUH B., KISSLING E. & SCHUSTER R. (2004) - *Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen*. Eclogae geol. Helv., 97: 93-117.
- SCOTT D.B. & MEDIOLI F.S. (1978) - *Vertical zonations of marsh foraminifera as accurate indicators of former sea levels*. Nature, 272: 528-531.

- SCOTT D.B. & MEDIOLI F.S. (1980) - *Quantitative studies of marsh foraminiferal distribution in Nova Scotia and comparison with those in other parts of the World: implications for sea level studies*. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication, **17**: 58 pp.
- SEN GUPTA B.K. (Ed) (1999) - *Modern foraminifera*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 371 pp.
- SERANDREI BARBERO R., ALBANI A. & BONARDI M. (2004) - *Ancient and modern salt marshes in the Lagoon of Venice*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **202**: 229-244.
- ŠIBRAVA V., BOWEN D.Q. & RICHMOND G.M. (1986) - *Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere*. Report IGCP n. 24, *Quat. Sc. Rev.*, **5** (1-4).
- SOIL SURVEY STAFF (1998) - *Key to Soil Taxonomy*. United Stat Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service, Washington.
- STEFANI C. (1987) - *Composition and provenance of arenites from the Chattian to Messinian clastic wedges of the Venetian foreland basin (Southern Alps, Italy)*. *Giorn. Geol.*, **49** (1): 155-166.
- STEFANI M. & VINCENZI S. (2005) - *The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system*. *Marine Geology*, **222-223**: 19-48.
- STEFANINI S. & CUCCHI F. (1977) - *Le ghiaie del sottosuolo della pianura veneta a oriente del F. Piave*. *Quad. Istit. Ricerca sulle Acque*, **33** (3): 67-78.
- STEFANINI S. & CUCCHI F. (1978) - *Gli acquiferi nel sottosuolo della provincia di Udine*. *Quad. Istit. Ricerca sulle Acque*, **34** (6): 131-146.
- STOCKMARR J. (1971) - *Tablets with spores in absolute pollen analysis*. *Pollen Spores*, **13**: 615-621.
- SURIAN N. (2002) - *Utilizzo della cartografia storica nello studio della dinamica fluviale*. Atti VI Conferenza Nazionale ASITA, Perugia 5-8 novembre 2002, **II**: 1925-1930.
- SURIAN N. (2006) - *L'alveo del Tagliamento e le sue modificazioni negli ultimi secoli*. In: BIANCO F., BONDESAN A., PARONUZZI P., ZANETTI M. & ZANFERRARI A. (a cura di), *Il Tagliamento*. Cierre, Verona, 146-151.
- TARAMELLI T. (1875) - *Dei terreni morenici ed alluvionali del Friuli*. *Ann. Scien. R. Ist. tecn. Udine*, **III**: 99 pp.
- TARAMELLI T. (1881a) - *Carta Geologica del Friuli, scala 1:100.000*. Ed. Fusi, Pavia.
- TARAMELLI T. (1881b) - *Spiegazione della Carta Geologica del Friuli (provincia di Udine)*. Ed. Fusi, Pavia.
- TOSI L., RIZZETTO F., BONARDI M., DONNICI S., SERANDREI BARBERO R. & TOFFOLETTO F. (2007a) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 128 "Venezia"*. APAT, Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia, SystemCart, Roma, 2 Fogli, 164 pp.
- TOSI L., RIZZETTO F., BONARDI M., DONNICI S., SERANDREI BARBERO R. & TOFFOLETTO F. (2007b) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 148-149 "Chioggia-Malamocco"*. APAT, Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia, SystemCart, Roma, 2 Fogli, 164 pp.
- TOSI L., TEATINI P., CARBOGNIN L., BRANCOLINI G. (2009) - *Using high resolution data to reveal depth-dependent mechanisms that drive land subsidence: The Venice coast, Italy*. *Tectonophysics*, **474**: 271-284.
- TRINCARDI F. & ARGAGNI A. (a cura di) (2003) - *Cartografia Geologica dei mari italiani, scala 1:250.000, Foglio NL 33-10 Ravenna*. *Serv. Geol. Naz.*, 2 Fogli, 108 pp.
- VALLE G. & VERCESI P.L. (1996) - *Concordia Sagittaria, sintesi della situazione paleoambientale*. In: AA.VV. (1996), *La Protostoria tra Sile e Tagliamento*, catalogo della mostra, Esedra, Padova, 188-195.



- VAN GEEL B. (2001) - *Non-pollen palynomorphs*. In: SMOL J.P., BIRKS H.J.B. & LAST W.M. (eds), Tracking environmental change using lake sediments. Volume 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators, Kluwer, 99-119.
- VAN GEEL B., BOHNCKE S.J.P. & DEE H. (1980-1981) - *A palaeoecological study of Upper Late Glacial and Holocene sequence from "De Borchert", The Netherlands*. Review of Palaeobotany and Palynology, **31**: 367-448.
- VENETO AGRICOLTURA (2001) - *I suoli dell'area a D.O.C. Lison-Pramaggiore, scala 1:25.000*. 1 Foglio, 1 vol., 180 pp.
- VENTURINI C. (1990) - *Geologia delle Alpi Carniche centro-orientali*. Mus. Friulano St. Nat., Udine, **36**: 220 pp.
- VENTURINI C. (2003) - *Il Friuli nel Quaternario: l'evoluzione del territorio*. In: MUSCIO G. (Ed.), *Glaciers - L'età dei ghiacci in Friuli, ambienti, climi e vita negli ultimi centomila anni*. Museo Friul. St. Nat., Udine, 23-106.
- VENTURINI C., PONDRELLI M., DELZOTTO S., FONTANA C. & DISCIENZA K. (2002) - *Carta Geologica delle Alpi Carniche*. SELCA, Firenze.
- VENZO S., CARRARO F. & PETRUCCI F. (1977) - *I depositi quaternari e del Neogene superiore nella bassa valle del Piave da Quero al Montello e del Paleo-Piave nella valle del Soligo*. Memorie dell'Istituto di Geologia e Mineralogia dell'Univ. Padova, **30**: 1-63.
- WENTWORTH C.K. (1922) - *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Journ. Geology, **30**: 377-392.
- ZANETTI M. (2004) - *Le lagune del Veneto Orientale*. Nuova Dimensione, 180 pp.
- ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., MONEGATO G., PAIERO G. & POLI M.E. (2008a) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 066 "Udine"*. Graphic Linea, Tavagnacco, Udine, 176 pp.
- ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., GRANDESSO P., MONEGATO G., PAIERO G., POLI M.E. & STEFANI C. (2008b) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 065 "Maniago"*. Graphic Linea, Tavagnacco, Udine, 224 pp.
- ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., FONTANA A. & PAIERO G. (a cura di) (2008c) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 087 "San Vito al Tagliamento"*. Graphic Linea, Tavagnacco, Udine, 178 pp.
- ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., FONTANA A. & PAIERO G. (2008d) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 087 "San Vito al Tagliamento"*. Graphic Linea, Tavagnacco, Udine.
- ZUFFA G.G. (1980) - *Hybrid arenites: their composition and classification*. J. Sedim. Research, SEPM, Tulsa, **50**: 21-29
- VAN DER ZWAAN G.J. & JORISSEN F.J. (1991) - *Biofacial patterns in river-induced shelf anoxia*. In: TYSON R.V. & PEARSON T.H. (Eds.), *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*. Geological Society, spec. publ., **58**: 65-82.

PROGETTO  
CARG

**APPENDICE 1**

Epocche	Età	Suddivisioni informali	Crono zone	Date convenzionali	Date calibrate	Divisioni informali adottate nel testo	Cronologia archeologica		
				anni <sup>14</sup> C BP	anni a.C.		Epocche	Età	
OLOCENE	WURM = WISCONSIN = WEICHSEL	SUPERIORE MEDIO INFERIORE NEOGLACIALE IPSITERMICO	Sub-atlantico Sub-boreale Atlantico Boreale Pre-boreale	1000			PROTOSTORIA STORIA PROTOSTORIA PROTOSTORIA PREISTORIA PREISTORIA	1500 d.C.	Moderna
				2000				basso	
				2500	2467-2728			Medioevo	
				3000				alto	
				4000				450 d.C.	Tardoromana
				5000	5657-5856			200 d.C.	Romana
				6000				200 a.C.	secondo
				7000				1000 a.C.	Ferro
				8000	6672-8981			2200 a.C.	Bronzo
				9000	9944-10.004				antico
PLEISTOCENE	WURM = WISCONSIN = WEICHSEL	TARDIGLACIALE	INTERSTADIALE TARDIGLACIALE	10,000	11,008-11,587		PREISTORIA PREISTORIA PREISTORIA PREISTORIA PREISTORIA		Eneolitico
				Dryas Recente (III)				3300 a.C.	finale
				Allerod	11,000	12,847-12,985			Neolitico
				Dryas II	12,000	13,866-14,126			medio
				Bolling	13,000	15,280-15,573			antico
				Dryas I	(15,000)				5500 a.C.
	ULTIMO MASSIMO GLACIALE (LGM)			(18,000)			PREISTORIA PREISTORIA PREISTORIA		Mesolitico
				(25,000)				antico	
								8500 a.C.	antico
								Paleolitico superiore	
								<i>Epigravettiano</i>	
								20,000 BP	Gravettiano
								28,000 BP	Aurignaziano

(Fontana, 2006; modificato da Orombelli &amp; Ravazzi, 1996)

Schema cronostratigrafico del tardo Pleistocene e dell'Olocene

PROGETTO  
CARG

**APPENDICE 2**

Tabella datazioni al radiocarbonio

N°	Stigh Lab.	Campione	Significato	Profondità m da p.c.	Quota p.c. m s.l.m.	Località	Comune	Età BP uncal	(+/-)	Età Calib. (Gr)	Materiale	Latitud.	Longitud.	Metodo
1	Ua-24047	TdM 3240	base LGM	32,4	0,5	Senzelli, Cianni Bassetti	Torre di Mosto (VE)	21.990	280		torba	45°37'20"	12°45'21"	AMS
2	Ua-24048	TdM 1347	piana LGM	13,47	0,5	Senzelli, Cianni Bassetti	Torre di Mosto (VE)	18.465	183	20.500-19.300	torba	45°37'20"	12°45'21"	AMS
3	Ua-24049	TdM 785	base lagunare	7,85	0,5	Senzelli, Cianni Bassetti	Torre di Mosto (VE)	6.580	55	5.630-5.470	torba	45°37'20"	12°45'21"	AMS
4	Hd-24794	TdM 3322	testa torbe	35,22	0,5	Senzelli, Cianni Bassetti	Torre di Mosto (VE)	35.900	290		torba	45°37'20"	12°45'21"	AMS
5	Ua-24050	VV 2888	piana LGM	28,88	-0,6	Valle Vecchia, Dossetto	Caorle (VE)	19.680	215	22.200-20.700	torba	45°38'28"	12°57'21"	AMS
6	Ua-24051	VV 2754	riempim. incisione	27,54	-0,6	Caorle - Valle Vecchia	Caorle (VE)	5.620	50	4.550-4.350	torba	45°38'28"	12°57'21"	AMS
7	Hd-25802	VV 3321	testa torbe	32,21	-0,6	Caorle - Valle Vecchia	Caorle (VE)	28.060	170		torba	45°38'28"	12°57'21"	AMS
8	Ua-24052	S4-CNC1ea 2931	base LGM	29,31	2,2	Tentro-S4	Concordia S. (VE)	24.275	375		torba	45°45'23"	12°50'28"	AMS
9	Ua-24053	S4-CNC1ea 1107	piana LGM	11,07	2,2	Tentro-S4	Concordia S. (VE)	18.055	175	20.100-18.800	torba	45°45'23"	12°50'28"	AMS
10	Ua-24873	S4-CNC1ea 3618	testa torbe pre-LGM	36,18	2,2	Tentro-S4	Concordia S. (VE)	30.885	825		torba	45°45'23"	12°50'28"	AMS
11	Beta 184252	S4-CNC1ea 615	alveo catalogiale	6,16	2,2	Tentro-S4	Concordia S. (VE)	>43.790			legno	45°45'23"	12°50'28"	Convenz.
12	Beta 184247	S1-CNC1Sep 021	palude fra lagunare	6,15-6,21	1,1	Sepolceto-S1	Concordia S. (VE)	4.080	70	2.880-2.470	torba	45°45'24"	12°51'12"	Convenz.
13	Beta 184248	S1-CNC1Sep 815	base lagunare	8,05-8,15	1,1	Sepolceto-S1	Concordia S. (VE)	5.700	70	4.710-4.360	torba	45°45'24"	12°51'12"	Convenz.
14	Ua-24872	S1-CNC1Sep 926	base torbe	9,26	1,1	Sepolceto-S1	Concordia S. (VE)	7.785	65	6.810-6.460	torba	45°45'24"	12°51'12"	Convenz.
15	Beta 173013	CND A2.1	base dosso postromano	4,0-4,1	1,1	Sepolceto-S1	Concordia S. (VE)	1.800	70	70-400 d.C.	torba	45°45'24"	12°51'12"	Convenz.
16	Beta 184249	S2-CNC1Pa1 354	base dosso postromano	5,54	1,6	Paludetto-S2	Concordia S. (VE)	1.920	60	50-240 d.C.	torba	45°45'20"	12°49'46"	Convenz.
17	Beta 184250	S2-CNC1Pa1 1042	base lagunare	10,34-10,42	1,6	Paludetto-S2	Concordia S. (VE)	5.910	70	4.980-4.600	torba	45°45'20"	12°49'46"	Convenz.
18	Ua-24054	S2-CNC1Pa1 1354	top ghiaie incisione	13,54	1,6	Paludetto-S2	Concordia S. (VE)	11.960	95	12.090-11.670	torba	45°45'20"	12°49'46"	AMS
19	Ua-24055	S2-CNC1Pa1 1113	base torbe	11,13	1,6	Paludetto-S2	Concordia S. (VE)	8.515	65	7.660-7.450	torba	45°45'20"	12°49'46"	AMS
20	Beta 184251	S3-CNC1Ga 724	base lagunare	7,15-7,24	-1,4	S. Gaetano-S3, Zuera	Caorle (VE)	6.080	80	5.220-4.790	torba	45°38'77"	12°53'18"	Convenz.
21	Beta 184395	CNC6493400	base dosso postromano	4	1	Campo Sportivo	Concordia S. (VE)	1.910	80	100-330 d.C.	torba	45°45'48"	12°50'55"	Convenz.
22	Ua-24056	SUM1-185	base diosso	1,85	5,2	Summaga, C. sa Marzino	Portogruaro (VE)	15.565	175	17.200-16.600	torba	45°47'38"	12°47'48"	AMS
23	Ua-24057	FosPort 1015	disattiv. ghiaie fondo	10,15	4,5	Stazione Ferroviaria	Fossalta Port. (VE)	7.695	60	6.640-6.440	limo organico	45°47'07"	12°54'29"	AMS
24	Beta 173012	ALVI Cedole	disattiv. alveo Alvisopoli	3,0-2,80	4	Alvisopoli	Fossalta Port. (VE)	2.860	70	880-840	torba	45°47'38"	12°56'19"	Convenz.
25	Beta 173014	ICOP18 A-B	disattiv. alveo Latisanotta	9,0-9,1	7,5	Latisanotta, SS. Trinità	Latisana (UD)	2.960	70	1.400-980	limo organico	45°47'43"	12°59'25"	Convenz.
26	Ua-24874	LUG 1130	alveo Thilaventium Matas	11,3	1,1	Marina di Luginanna	Portogruaro (VE)	5.600	50	4.530-4.340	limo organico	45°42'53"	12°56'58"	AMS
27	Hd-24868	LUG 2962	torbe pre-LGM	29,62	1,1	Marina di Luginanna	Portogruaro (VE)	29.600	250		torba	45°42'53"	12°56'58"	Convenz.
28	Hd-24792	PR3A 3077	torbe pre-LGM	30,77-81	3,5	Belfiore, staz. FS	Pramaggiore (VE)	26.380	150		torba	45°46'30"	12°42'47"	Convenz.
29	Hd-24799	PR3A 3415	torbe pre-LGM	34,15-20	3,5	Belfiore, staz. FS	Pramaggiore (VE)	33.960	260		torba	45°46'30"	12°42'47"	Convenz.
30	Ua-24876	Rocca2 545	base lagunare	5,45	0,3	Palude Rocca	Caorle (VE)	5.730	45	4.690-4.460	torba	45°38'50"	12°55'40"	AMS
31	Ua-24877	Belfiore 150	base dosso catalogiale	1,5	4,6	Belfiore	Portogruaro (VE)	16.765	155	18.300-17.550	torba	45°47'05"	12°43'20"	AMS
32	Hd-24867	OSP 2595	torbe pre-LGM	25,95	5	Latisana Ospedale 1	Latisana (UD)	24.180	150		torba	45°46'05"	13°00'10"	Convenz.

Le datazioni sono state calibrate utilizzando il programma OxCal vers. 3.10 (RAMSEY, 2004).

PROGETTO  
CARG

**APPENDICE 3**

Tabella delle interpretazioni delle facies e degli ambienti deposizionali del sondaggio stratigrafico (vedi Capitolo VI - Geologia del sottosuolo).

Sigla (*)	Descrizione delle facies o delle associazioni di facies	Interpretazione dell'ambiente deposizionale
Aa	Sabbie da fini a medie con superficie erosiva alla base.	Canale di rotta ( <i>crevasse channel</i> )
Ab	Sabbie fini omogenee, localmente siltose generalmente prive di tracce di radici e bioturbazioni.	Ventaglio di rotta ( <i>crevasse splay</i> )
Ac	Alternanza di sabbie da fini a medie talora con laminazione planare o incrociata a basso angolo e peliti; comuni resti vegetali minuti e tracce di radici.	Argine naturale ( <i>levee</i> )
Ad	Alternanza di peliti, talora organiche, e livelletti di sabbie fini; comuni tracce di radici.	Piana alluvionale generica
Ad1	Peliti massive da organiche a debolmente organiche spesso bioturbate alla base.	Deposito palustre
Ad2	Peliti laminate spesso bioturbate e con tracce di radici.	Deposito di lago di intercanale di bassa profondità ( <i>pond</i> )
B	Chiaie sabbiose, sabbie da fini a grossolane con laminazione planare ed incrociata a basso angolo; diffusa presenza di clasti pelitici e macroresti vegetali.	Canale fluviale
B1	Sequenza negativa, da peliti e sabbie fini con macroresti vegetali e tracce di radici, sovrapposta a depositi lacustri.	Barra di foce lacustre ( <i>mouth bar</i> )
B2	Sequenza positiva, da sabbie fini a peliti organiche localmente con torbe al tetto.	Deposito della fase d'abbandono di canale fluviale
C	Peliti laminate prive di tracce di radici talvolta bioturbate e con sporadica presenza di lamine di sabbie fini.	Deposito di lago di intercanale
D1	Peliti talvolta molto organiche e sabbie fini con canali di bioturbazione, talvolta tracce di radici e presenza di conchiglie di molluschi.	Ambiente lagunare
D2	Alternanze da millimetriche a centimetriche di sabbie fini e drappi pelitici, variamente bioturbati. Localmente nelle sabbie sono riconoscibili tracce di laminazione obliqua a piccola scala, mentre le peliti possono presentarsi con gruppi di lamine di spessore regolarmente variabile.	Ambiente da subtidale a intertidale, talora con indicazioni di alternanza di maree sizigiali e di quadratura
D3	Alternanze centimetriche bioturbate di livelli di sabbie fini a base netta, talora con gradazione normale e livelli pelitici. Locali tracce di radici probabilmente riferibili a piante acquatiche (tipo praterie a Posidonia ?).	Ambiente di baia sottoposto all'influenza di microtorbidie alimentate da delta di baia in fase trasgressiva
E	Sabbie da fini a medie con livelli di tritume conchigliare, caratterizzate spesso da una superficie erosiva alla base.	<i>shoreface</i>
F	Sabbie da fini a medie prevalenti con intercalati livelli pelitici in cui sono diffuse bioturbazione e strutture trattive; comuni conchiglie di molluschi intere e in frammenti.	Fronte deltizia ( <i>delta front</i> )
G	Peliti prevalenti con intercalati livelli di sabbie generalmente fini e con diffuse tracce di bioturbazione; comuni conchiglie di molluschi intere e in frammenti.	Prodelta
H	Peliti massive omogeneizzate da intensa bioturbazione; comuni conchiglie di molluschi intere e in frammenti.	Piattaforma interna con influenza di acque dolci
I	Peliti (prevale la frazione limosa) massive omogeneizzate da intensa bioturbazione; comuni conchiglie di molluschi intere.	Piattaforma interna
L	Peliti (prevale la frazione argillosa) massive omogeneizzate da intensa bioturbazione; comuni conchiglie di molluschi intere.	Piattaforma media
Pa	Suoli ben evoluti, con decarbonatazione degli orizzonti superficiali A e B e accumulo di carbonati nei sottostanti orizzonti BK e/o CK.	Suolo con grado di sviluppo elevato
Pb	Suoli moderatamente evoluti, con presenza di noduli carbonatici negli orizzonti profondi ma con solo parziale lisciviazione degli orizzonti superficiali.	Suolo con grado di sviluppo medio
Pc	Suoli poco evoluti, con orizzonte organico A poggiate direttamente sull'orizzonte C.	Suolo con grado di sviluppo basso

\* Sigla identificativa dell'ambiente deposizionale: cfr. log stratigrafici in capitolo X - Sottosuolo.

PROGETTO  
CARG

**APPENDICE 4**



Tabella delle analisi dei macroresti vegetali dei sondaggi Torre di Mosto (TdM) e Concordia Sagittaria (CNC)

Macroresti	Torre di Mosto										Concordia Sagittaria								
	69	71	76,5	76,8	78,9	79,8	82,1	82,9	86,4	90,5	90,8	11,1	13,5	20,6	26,3	29,3	36,2	38,0	38,7
<b>Muschi</b>																			
Foglioline indeterminate	++		++	+		++													+
<i>Callitregon</i> sp. foglie					++														
<i>Drepanocladus revolvens</i>													+						
<i>Drepanocladus fluitans</i>													+						
<i>Scorpioidium scorpioides</i> foglie					++		++						++	++					
<b>Pteridofite</b>																			
<i>Equisetum fluviatile</i> rizoderma radicale							+												
<b>Gimnosperme</b>																			
Framm. di vasi con punteggiatura areolata	+																		+
Stomi di <i>Pinus</i> sp																			
Framm. di sughero cfr. <i>Larix decidua</i>		+																	
<b>Angiosperme</b>																			
Poaceae cuticola epid foglie										+									
Cyperaceae cuticola epid foglie								+	+										
<i>Carex</i> sp. semi			2	22			++	++	++	++	++	+	++	++	+	+			+
<i>Carex fusca</i> radici																			
<i>Carex nigra</i> semi					25														
<i>Carex rostrata</i> semi					19														
<i>Hippuris vulgaris</i> semi					3														
<i>Lycopus europaeus</i> semi																			
<i>Menyanthes trifoliata</i> semi					9														
<i>Nymphaea alba</i> semi	1																		
<i>Nuphar luteum</i> semi	2																		
<i>Phragmites</i> sp framm epiderm.																			+
<i>Potamogeton</i> sp. semi					3														
<i>Typha</i> sp. semi																			+

+ presenza; ++ abbondanza; n° di semi/50 cm<sup>3</sup> di sedimento

PROGETTO  
CARG

**APPENDICE 5**

## LEGENDA

<b>Forams</b>	foraminiferi	<b>qob</b>	<i>Quinqueloculina oblonga</i>
<b>orglin</b>	organic linings	<b>qsem</b>	<i>Quinqueloculina seminulum</i>
<b>adel</b>	<i>Adelosina</i> spp	<b>quinq spp</b>	<i>Quinqueloculina</i> spp
<b>abec</b>	<i>Ammonia beccarii</i>	<b>rosagl</b>	<i>Rosalina globularis</i>
<b>atep</b>	<i>Ammonia beccarii tepida</i>	<b>spirgr</b>	<i>Spiroloculina grata</i>
<b>apap</b>	<i>Ammonia papillosa</i>	<b>taggl</b>	<i>Textularia agglutinans</i>
<b>aperl</b>	<i>Ammonia perlucida</i>	<b>tac</b>	<i>Textularia aciculata</i>
<b>ammob</b>	<i>Ammobaculites</i>	<b>triltric</b>	<i>Triloculina tricarinata</i>
<b>amam</b>	<i>Asterigerinata mamilla</i>	<b>triltrig</b>	<i>Triloculina trigonula</i>
<b>ammpsd</b>	<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i>	<b>trinfl</b>	<i>Trochammina inflata</i>
<b>bol spp</b>	<i>Bolivina</i> spp	<b>trmacr</b>	<i>Trochammina macrescens</i>
<b>bfr</b>	<i>Buccella frigida</i>	<b>wiesn</b>	<i>Wiesnerella auricula</i>
<b>clob</b>	<i>Cibicides lobatulus</i>	<b>A</b>	abbondante
<b>cinv</b>	<i>Cornuspira involvens</i>	<b>C</b>	comune
<b>ead</b>	<i>Elphidium advenum</i>	<b>R/C</b>	raro/comune
<b>cart</b>	<i>Elphidium articulatum</i>	<b>R</b>	raro
<b>ecris</b>	<i>Elphidium gr. crispum</i>	<b>RR</b>	rarissimo
<b>edec-gran</b>	<i>Elphidium decipiens-granosum</i>	<b>N</b>	assente
<b>epoy</b>	<i>Elphidium poyeanum</i>		
<b>egunt</b>	<i>Elphidium gunteri</i>	<b>RR</b>	residui con microfauna molto dispersa in cui il conteggio, oltre che richiedere molto tempo, potrebbe non essere significativo
<b>guttcom</b>	<i>Guttulina communis</i>		
<b>glaev</b>	<i>Glandulina laevigata</i>	<b>x</b>	presenza di specie in residui con microfauna troppo dispersa per poter stimare, anche solo in maniera semiquantitativa, la frequenza
<b>mil</b>	<i>Miliolinella</i> spp		
<b>mrot</b>	<i>Miliolinella rotunda</i>		
<b>nterq</b>	<i>Neoconorbina terquemi</i>		
<b>ndep</b>	<i>Nonion depressulum</i>		
<b>nturg</b>	<i>Nonionella turgida</i>		
<b>pangl</b>	<i>Protelphidium anglicum</i>		
<b>pseudfsbc</b>	<i>Pseudoepionides falsobeccarii</i>		
<b>qasp</b>	<i>Quinqueloculina aspera</i>		

Tabella micropaleontologia dei foraminiferi del pozzo Pra Maggiore (PRA)

POZZO PRA MAGGIORE								
Analisi semiquantitative per foraminiferi e tecamebe effettuate sulla frazione > 45mm								
Livello (m)	Volume (cc)	Forams	abec	atep	aperl	cart	cart-gran	pangl
37.12-37.14	40	N						
43.90-43.92	60	N						
45.92-45.94	45	N						
47.28-47.30	35	N						
47.98-48.00	30	N						
48.68-48.70	30	N						
49.58-48.60	30	RR	x					
49.70-49.72	25	N						
50.07-50.09	25	N						
50.33-50.35	55	N						
51.35-51.37	70	C	A		C	R		R/C
52.98-53.00	55	C/A	AA	AA	C		R	R/C
53.65-53.68	30	N						
53.13-53.15	45	N						
54.39-54.41	35	N						
55.00-55.02	35	N						
55.95-55.97	60	N						
56.46-56.48	30	N						
58.47-58.49	30	N						
59.30-59.32	30	N						
59.98-60.00	25	RR	x					

Tabella micropaleontologia dei foraminiferi del pozzo Concordia S4 (CNC)

POZZO CONCORDIA S4								
Analisi semiquantitative per foraminiferi e tecamebe effettuate sulla frazione > 45mm								
Livello (m)	Volume (cc)	Forams	abec	atep	aperl	cart	ead	pangl
38.69-38.71	35	N						
38.82-38.84	30	RR	x					
39.17-39.19	50	C		AA	R	R		R
40.67-40.69	60	C		AA	R	R		R
40.94-40.96	35	N						
41.65-41.67	35	R/C	C	C				R
43.16-43.18	45	C	C	C				RR
44.00 manovra (44,00+13 - 44,00+19)	55	N						
45.30-45.32	35	N						
49.26-49.28	55	C	C/A			RR		R
50.69-50.71	65	R/C	C	C	R		R	







PROGETTO  
CARG

**APPENDICE 6**



## Analisi malacologiche del carotaggio Concordia Sagittaria (CNC4)

Profondità (m)	Specie (G.: gasteropodi; B.: bivalvi)	Ambiente
19,55-19,60	G.: frammenti di gast. dulciacquicoli e <i>Bithynia tentaculata</i> **	dulciacquicolo
20,38	G.: opercolo di <i>Bithynia</i> ** e frammenti dulciacquicoli	dulciacquicolo
26,55	Campione argilloso con frammenti dulciacquicoli e <i>Giraulus laevis</i>	dulciacquicolo
28,9	G.: opercolo di <i>Bithynia</i> **, <i>Giraulus laevis</i> , frammenti dulciacquicoli	dulciacquicolo
29,34	G.: opercolo di <i>Bithynia</i> **, frammenti di dulciacquicoli, <i>Giraulus laevis</i>	dulciacquicolo
38,75	B.: frammenti di <i>Cerastoderma</i> cfr. <i>glaucum</i>	lagunare
39,30-39,60	G.: <i>Gibbula adriatica</i> , <i>Gibbula magus</i> , <i>Assiminea</i> cfr. <i>grayana</i> , <i>Rissoa Labiosa</i> , <i>Bittium scabrum</i> , <i>Chrysallida</i> cfr. <i>delpretei</i> B.: <i>Loripes lacteus</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i> , <i>Lentidium mediterraneum</i>	lagunare
39,60-39,75	G.: <i>Hydrobia acuta</i> , <i>Ventrosia ventrosa</i> B.: <i>Loripes lacteus</i> , <i>Abra segmentum</i>	lagunare
40,30	G.: <i>Hydrobia acuta</i> , <i>Ventrosia ventrosa</i>	lagunare
40,55	G.: 3 <i>Theodoxus fluviatilis</i>	dulciacquicolo
41,20-41,70	G.: <i>Assiminea</i> cfr. <i>grayana</i> , <i>Hydrobia acuta</i> con frammenti vari	lagunare
42,0-42,20	G.: frammenti indistinti, 2 <i>Assiminea</i> cfr. <i>grayana</i> , 1 <i>Planorbarius corneus</i> *	dulciacquicolo
44,00-44,15	G.: frammenti di dulciacquicoli, <i>Truncatellina cilindrica</i> **, 2 semi di piante	dulciacquicolo
45,60	B.: <i>Cerastoderma glaucum</i>	lagunare
47,10	Rari frammenti indistinti	-
49,2-49,7	G.: <i>Ventrosia ventrosa</i> , <i>nassarius nitidus</i> B.: frammenti di <i>Abra</i> cfr. <i>segmentum</i> , <i>Loripes lacteus</i> e <i>Cerastoderma glaucum</i>	lagunare
50,30-50,70	B.: frammenti di <i>Loripes lacteus</i> e <i>Abra</i> cfr. <i>nitida</i>	lagunare

N.B.: le specie senza asterisco sono marine e/o lagunari, con un asterisco polmonati continentali, con due asterischi sono dulciacquicole.

## Analisi malacologiche del carotaggio Valle Vecchia (VV)

Profondità (m)	Specie (G.: gasteropodi; B.: bivalvi)	Ambiente
3,5	B.: fram. di <i>Abra segmentum</i> e <i>Scrobicularia plana</i>	marino/lagunare
9,0	Campione argillo-sabbioso con fibrosità legnose sub-fossili	lagunare di accumulo
9,4	Campione argillo-sabbioso con inclusioni legnose sub-fossili	lagunare di accumulo
9,70	B.: <i>Lentidium mediterraneum</i>	marino/lagunare
19,0	Campione argillo-sabbioso con ghiaia e residui torbosi. Sono presenti opercoli di gasteropodi dulciacquicoli e <i>Vallonia</i> cfr. <i>costata</i> * G.: <i>Nassarius nitidus</i> , fram. di <i>Cerithium vulgatum</i> e <i>Bittium scabrum</i> B.: <i>Nucula nitidosa</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Lentidium mediterraneum</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i>	lagunare di accumulo
27,5	B.: <i>Loripes lacteus</i> e frammenti di <i>Cerastoderma glaucum</i>	marino salmastro
27,95	Frammenti di <i>Barnea</i> cfr. <i>candida</i> e <i>Abra</i> cfr. <i>nitida</i> , con residui torbosi	area di accumulo lagunare
37,0	Frammenti indistinti di gusci e valve e residui torbosi	area di accumulo lagunare
39,0-40,0	Frammento ligneo sub-fossile	-
40,5	B.: <i>Lentidium mediterraneum</i> con residui torbosi	lagunare di accumulo
40,6	B.: <i>Lentidium mediterraneum</i> in sabbia fine	lagunare di accumulo
42,3	B.: <i>Lentidium mediterraneum</i> in sabbia fine	lagunare di accumulo
45,60	Campione sabbioso con frammenti indistinti di molluschi	lagunare di accumulo
47,5	B.: <i>Spisula subtracatula</i> , <i>Chamelea gallina</i> e frammenti in sabbia fine	marino/lagunare
48,6-48,7	G.: <i>Bittium scabrum</i> B.: <i>Corbula gibba</i>	marino/lagunare
49,6	G.: <i>Nassarius incrassatus</i> , <i>Cerithium vulgatum</i> , <i>Cylichna cylindracea</i> B.: <i>Nuculana pella</i> , <i>Chlamys</i> varia, <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i> , <i>Callista chione</i>	marino
49,3	G.: frammento di <i>Cerithium vulgatum</i> B.: <i>Corbula gibba</i>	marino/lagunare
49,7	B.: <i>Nuculana pella</i> , <i>Loripes lacteus</i> e frammenti indistinti	marino
49,70	B.: frammento di <i>Chlamys</i> cfr. <i>glabra</i>	marino

N.B.: le specie senza asterisco sono marine e/o lagunari, con un asterisco polmonati continentali, con due asterischi sono dulciacquicole.

## Analisi malacologiche del carotaggio Torre di Mosto (TdM)

Profondità (m)	Specie (G.: gasteropodi; B.: bivalvi)	Ambiente
5,35	B.: argilla grigia con frammenti di <i>Lentidium mediterraneum</i>	salmastro o marino
5,55-5,65	B.: frammenti di probabile <i>Abra alba</i>	salmastro o marino
7,30	G.: <i>Ventrosia ventrosa</i> , <i>Hydrobia acuta</i> B.: <i>Abra tenuis</i>	salmastro o salato
7,50	G.: <i>Galba</i> cfr. <i>truncatula</i>	vegetazione sommersa da acque continentali
7,70	B.: <i>Abra</i> cfr. <i>Longicallus</i> (frammento)	salato o salmastro
8,40	Residui legnosi	area di accumulo
23,20	Probabile seme	area di accumulo
23,30	G.: forma juv. di <i>Hygromia</i> cfr. <i>cinctella</i> **	prativi umidi o sponde di ruscelli
24,17	Opercolo di <i>Galba truncatula</i> **	dulciacquicolo
27,5	Campione argilloso con frammenti indistinti di molluschi dulciacquicoli	dulciacquicolo
30,5	G.: <i>Valvata piscinalis</i> , <i>Galba truncatula</i> **	vegetazione sommersa da acque continentali
30,95	B.: frammenti madreperlacei di <i>Unionidae</i> **	dulciacquicolo
32,05	G.: <i>Valvata piscinalis</i> **	dulciacquicolo
36,5-37	Residui carboniosi	-
47,2	Sabbia sottile con frammenti di <i>Corbula</i> e <i>Chamelea</i>	salato o salmastro
47,6	Sabbia a macro-elementi quarzosi con frammenti di bivalvi indistinti	-
47,80	B.: frammento di bivalve non significativo	-
48,5	Sabbia a macro-elementi quarzosi con gasteropode continentale*	-
48,5-48,8	G.: <i>Valvata piscinalis</i> ** B.: <i>Scrobicularia plana</i> frammento	debolmente salmastro
	Sabbia grossolana con <i>Bittium scabrum</i> , <i>Valvata piscinalis</i> ** B.: frammenti di <i>Scrobicularia plana</i> e <i>Cerastoderma glaucum</i>	salmastro d'accumulo
49,5	Residui legnosi in matrice sabbiosa con frammenti indistinti di bivalvi	-
49,5	Matrice sabbiosa grossolana con G.: frammenti di <i>Stagnicola palustris</i> ** B.: frammenti di <i>Cardiidae</i> e indistinti dulciacquicoli	ambiente di accumulo misto
49,5-49,90	G.: <i>Odostomia ambigua</i> , opercolo di <i>Bithynia tentaculata</i> ** B.: frammenti di <i>Ostrea edulis</i> e di <i>Scrobicularia plana</i> **	salmastro
49-50	G.: <i>Bittium scabrum</i> , <i>Cyclope neritea</i> e <i>Stagnicola palustris</i> ** B.: <i>Loripes lacteus</i> , <i>Pitar rudis</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i>	salato o salmastro
50-50,30	G.: frammenti di <i>Cerithium vulgatum</i> , <i>Bittium scabrum</i> e <i>Sphaeronassa mutabilis</i> B.: frammenti di <i>Cerastoderma glaucum</i> , <i>Scrobicularia plana</i> e <i>Pitar rudis</i> . Am. marino o salmastro	-
50-50,30 bis	G.: 4 <i>Valvata piscinalis piscinalis</i> ** B.: un frammento indistinto	dulciacquicolo
50,5-51,6	Forme litoidi arrotondate e ogivali con inclusioni superficiali quarzose	-
54,17-54,20	G.: <i>Valvata piscinalis</i> , <i>Bithynia tentaculata</i> ** B.: frammenti di <i>Unionidae</i> **	vegetazione sommersa da acque continentali
55,0-55,5	B.: frammenti di <i>Ostrea edulis</i> , <i>Callista chione</i> , <i>Spisula subtruncata</i> , <i>Lentidium mediterraneum</i> , <i>Anomia ephippium</i> Scafopodi: <i>Dentalium inequicostatum</i>	marino o salmastro
55,2-55,8	Ghiaia grigia con inclusioni e noduli selciosi, poco o nulla levigata	-
55-56	Ghiaia grigia ovoidale levigata: 9 elem. integri e 1 perforato da scavatori marini, 2 nodi arenaci e 2 elem. irregolari scabri, 2 frammenti di gasteropodi indistinti	probabile area d'accumulo misto
55-56	G.: frammenti di <i>Cerithium vulgatum</i> e <i>Bittium scabrum</i> , <i>Rissoa labiosa</i> , <i>Sphaeronassa mutabilis</i> B.: <i>Anomia ephippium</i> , <i>Corbula gibba</i> , <i>Chamelea gallina</i> , <i>Lentidium mediterraneum</i> (A. marino o salmastro)	-
58,64	Sabbia sottile con frammenti di bivalvi marini: <i>Pharus</i> cfr. <i>legumen</i>	-
58,7-58,9	G.: <i>Nassarius nitidus</i> (ex <i>reticulatus</i> ), <i>Cerithium vulgatum</i> B.: <i>Cerastoderma glaucum</i>	salato o salmastro
58,80	G.: <i>Calyptraea chinensis</i> B.: frammenti di <i>Ostrea edulis</i> , <i>Cardiidae</i> , <i>Veneridae</i> , <i>Lentidium mediterraneum</i> Scafopodi: <i>Dentalium</i> (frammento)	marino o salmastro

Profondità (m)	Specie (G.: gasteropodi; B.: bivalvi)	Ambiente
62,35	B.: <i>Lentidium mediterraneum</i>	marino o salmastro
63,5	G.: <i>Nassarius incrassatus</i> e frammenti di lanterna di un riccio	marino o salmastro
64,5	Frammenti di bivalvi e di gasteropode indistinti	marino o salmastro
64,5-65	G.: <i>Cerithium vulgatum</i> (framm), <i>Natica hebraea</i> B.: <i>Chamelea gallina</i> , <i>Corbula gibba</i> , Scafopodi: <i>Dentalium inequicostatum</i>	marino
66,5-67,0	G.: <i>Melanella bilineata</i> B.: frammenti indistinti	marino
68,5-70,5	B.: <i>Aequipecten opercularis</i> , <i>Callista chione</i>	marino
69,65	G.: 1 frammento indistinto marino B.: frammenti di <i>Pharus</i> cfr. <i>legumen</i>	marino o salmastro
70,10	G.: <i>Turritella communis</i> , <i>Trophon muricatus</i> B.: <i>Lucinella divaricata</i>	marino
76,0-76,5	Pirite?	-
82,7-83	G.: <i>Valvata piscinalis</i> **	vegetazione sommersa da acque continentali
84 -84,5	G.: <i>Valvata piscinalis</i> ** B.: frammenti indistinti	vegetazione sommersa da acque continentali

N.B.: le specie senza asterisco sono marine e/o lagunari, con un asterisco polmonati continentali, con due asterischi sono dulciaquicole.

PROGETTO

CARG