



A P A T

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici



DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO

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 148-149

CHIOGGIA-MALAMOCCO

A cura di

L. Tosi ⁽¹⁾, **F. Rizzetto** ⁽¹⁾, **M. Bonardi** ⁽¹⁾,
S. Donnici ⁽¹⁾, **R. Serandrei Barbero** ⁽¹⁾, **F. Toffoletto** ⁽²⁾

Con contributi di:

Geomorfologia regionale: **A. Bondesan** ⁽³⁾, **M. Meneghel** ⁽³⁾

Prospezioni sismiche: **G. Brancolini** ⁽⁴⁾, **L. Baradello** ⁽⁴⁾, **F. Donda** ⁽⁴⁾,

F. Fanzutti ⁽⁴⁾, **D. Nieto** ⁽⁴⁾, **J. Centonze** ⁽⁴⁾

Subsidenza ed eustatismo: **L. Carbognin** ⁽¹⁾, **P. Teatini** ⁽⁵⁾, **G. Zambon** ⁽¹⁾

Sismologia e geologia strutturale: **V. Iliceto** ⁽⁶⁾, **A. Zanferrari** ⁽⁷⁾

Geotecnica: **P. Previatello** ⁽⁸⁾, **M. Favaretti** ⁽⁸⁾

Idrogeologia: **A. Vitturi** ⁽⁹⁾, **V. Bassan** ⁽⁹⁾, **P. Zangheri** ⁽⁹⁾

(1) - Ist. di Scienze Marine-CNR, Venezia ; (2) - Regione del Veneto, Direz. Geologia e Attività Estrattive, Servizio Geologia; (3) - Dip. di Geografia, Università degli Studi di Padova; (4) - Ist. Naz. di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste; (5) - Dip. di Metodi e Modelli Matematici per le Scienze Applicate, Università degli Studi di Padova; (6) - Dip. di Geologia, Paleontologia e Geofisica, Università degli Studi di Padova; (7) - Dip. di Georisorse e Territorio, Università degli Studi di Udine; (8) - Dip. di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica, Università degli Studi di Padova; (9) - Provincia di Venezia, Sett. Protezione Civile e Difesa del Suolo, Servizio Geologico.

Ente realizzatore:



REGIONE DEL VENETO

Direttore del Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia:
L. SERVA

Responsabile del Progetto CARG per il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia: **F. GALLUZZO**

Responsabile del Progetto CARG per la Regione del Veneto:
F. TOFFOLETTO

PER IL DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO-SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Revisione scientifica:

M. Pantaloni (coord.), **S. D'Angelo**, **R. Graciotti**, **M.L. Pampaloni**

Coordinamento cartografico:

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

Revisione informatizzazione dei dati geologici:

M.C. Giovagnoli, **F. Visicchio**

Coordinamento editoriale e allestimento per la stampa:

M. Cosci, **V. Pannuti**

PER LA REGIONE VENETO

Allestimento editoriale e cartografico:

R. Campana

Allestimento informatizzazione dei dati geologici:

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

R. Campana (collaudo)

Informatizzazione e allestimento cartografico per la stampa dalla Banca

Dati: a cura di **SYSTEMCART - ROMA**

Gestione tecnico-amministrativa del Progetto CARG:

M.T. Lettieri (Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia)

R. Campana, **F. Toffoletto** (Regione del Veneto)

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

INDICE

I	- INTRODUZIONE	7
II	- INQUADRAMENTO GEOLOGICO E CENNI STORICI	11
1.	- EVOLUZIONE GEOLOGICA E LINEAMENTI STRUTTURALI	12
1.1.	- EVOLUZIONE PRE-QUATERNARIA.....	12
1.2.	- EVOLUZIONE QUATERNARIA	18
2.	- CENNI DI GEOMORFOLOGIA REGIONALE.....	27
2.1.	- LA BASSA PIANURA DEI FIUMI BRENTA E BACCHIGLIONE.....	27
2.2.	- LA LAGUNA MERIDIONALE ED IL LITORALE	29
III	- IL METODO INTEGRATO DI RILEVAMENTO ED ANALISI	35
1.	- I CAMPIONAMENTI	36
2.	- INDAGINI GEOMORFOLOGICHE	38
3.	- INDAGINI PALEONTOLOGICHE	39
4.	- INDAGINI CRONOSTRATIGRAFICHE.....	40
5.	- INDAGINI MINERALOGICHE.....	42
6.	- RILIEVI GEOFISICI.....	45
6.1.	- SISMICA AD ALTISSIMA RISOLUZIONE	46
6.1.1.	- <i>Strumentazione e metodologia</i>	47
6.1.2.	- <i>Elaborazioni</i>	47
6.2.	- CAROTAGGI RADIOATTIVI	48
7.	- BANCHE DATI.....	50
7.1.	- BANCHE DATI DEL FOGLIO “CHIOGGIA-MALAMOCCO”	53
IV	- STRATIGRAFIA	57
1.	- DETERMINAZIONE DEGLI AMBIENTI DEPOSIZIONALI	57
1.1.	- LE ASSOCIAZIONI A FORAMINIFERI	57
1.2.	- LE STRUTTURE SEDIMENTARE ED I LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI	61
1.2.1.	- <i>Depositi alluvionali o fluviali</i>	61
1.2.2.	- <i>Depositi deltizi</i>	62
1.2.3.	- <i>Depositi litorali</i>	63
1.2.4.	- <i>Depositi di piattaforma</i>	64
2.	- UNITA' STRATIGRAFICHE DI RIFERIMENTO	64
3.	- SUPERSINTEMA DI VENEZIA.....	67

3.1. - UNITÀ DI CORREZZOLA	69
4. - SUPERSINTEMA DI MESTRE	69
5. - SINTEMA DEL PO	71
5.1. - UNITÀ DI MALAMOCCO	72
5.2. - UNITÀ DI TORCELO	74
6. - CORRELAZIONI STRATIGRAFICHE E MODELLO EVOLUTIVO ..	75
V - CARTOGRAFIA	81
1. - LA CARTA GEOLOGICA DEL FOGLIO "CHIOGGIA-MALAMOCCO"	84
1.1. - FOGLIO ALLEGATO ALLA CARTA GEOLOGICA	97
VI - CARATTERISTICHE MINERALOGICHE	101
1. - COMPOSIZIONE MINERALOGICA DELLE ARGILLE DEL SOTTOSUOLO LITORANEO	102
2. - COMPOSIZIONE MINERALOGICA DELLE SABBIE	104
VII - ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA ED APPLICATA	109
1. - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	109
1.1. - CARATTERISTICHE GENERALI DEI TERRENI SUPERFICIALI	110
2. - CENNI DI IDROGEOLOGIA	112
2.1. - LA STRUTTURA IDROGEOLOGICA	113
2.2. - CUNEO SALINO	116
3. - SISMICITA'	117
3.1. - ATTIVITA' SISMICA	119
4. - SUBSIDENZA ED EUSTATISMO	122
4.1. - MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA NELLA LAGUNA MERIDIONALE	124
4.2. - EUSTATISMO	127
EXTENDED ABSTRACT	129
1. - STRATIGRAPHIC UNITS	130
2. - LEGEND OF THE GEOLOGICAL MAP	134
BIBLIOGRAFIA	137
APPENDICE	149

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare: il segretario regionale della Segreteria all'Ambiente e Territorio, Roberto Casarin, ed il dirigente regionale della Direzione Geologia e Attività Estrattive, Andrea Costantini, che, per la loro sensibilità alle problematiche geologiche, hanno sostenuto questo progetto, Giovanni Battista Castiglioni del Dipartimento di Geografia dell'Università degli Studi di Padova, Carlo Doglioni del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza" di Roma, Roberto Fantoni dell'ENI S.p.A., Rinaldo Nicolich e Bruno Della Vedova del Dipartimento di Ingegneria Civile - Ingegneria per le Georisorse e l'Ambiente dell'Università degli Studi di Trieste, Paolo Mozzi del Dipartimento di Geografia dell'Università degli Studi di Padova, che, con la loro esperienza, hanno fornito utili consigli.

Un particolare ringraziamento a Fabrizio Galluzzo, dirigente del Servizio CARG, Marco Pantaloni, Roberto Graciotti e Letizia Pampaloni, esperti specialistici dell'Agenzia per l'Ambiente e i Servizi Tecnici, Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia, che hanno contribuito al lavoro svolto attraverso le loro osservazioni critiche.

Si ringrazia, inoltre, il Servizio Forestale Regionale di Belluno e, in particolare, il dirigente Franco Cristofaletti ed il WWF con il responsabile Giampaolo Rallo della Riserva Naturale di "Valle Averso", per il supporto tecnico e logistico fornito durante l'esecuzione del carotaggio profondo, i proprietari delle valli per la disponibilità di persone e mezzi che hanno consentito il prelievo di campioni nelle aree sommerse.

Si ricorda il consistente contributo di dati forniti da: il Progetto ISES, l'ARPA Veneto, la Provincia di Venezia, la Provincia di Padova, il Comune di Venezia, il Magistrato alle Acque di Venezia ed il suo Servizio Informativo, il Consorzio Venezia Nuova, l'Istituto di Scienze Marine del CNR, il Distretto Idrografico Veneto Orientale e Coste, il Genio Civile di Venezia, i Dipartimenti di Geologia Paleontologia e Geofisica, di Geografia e di Ingegneria Marittima, Ambientale e Geotecnica dell'Università degli Studi di Padova. Si ricorda, inoltre, il supporto logistico per le imbarcazioni del CNR fornito dal Circolo Nautico "Le Saline di Chioggia".

Infine un particolare ringraziamento è dovuto ai marinai dei mezzi nautici del CNR-ISMAR.

PROGETTO
CARG

I - INTRODUZIONE

Il Foglio 148-149 “Chioggia-Malamocco” 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 (APAT) e la Regione del Veneto. La Regione del Veneto, a cui è stato dato l’incarico per lo svolgimento del lavoro, ne ha poi affidato il coordinamento scientifico al Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine (ISMAR), ex Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, di Venezia.

Hanno partecipato al progetto:

- 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 Anna Galuppo, *geologo*, e da Riccardo Campana, *responsabile dell’informatizzazione*.
- per il CNR-ISMAR: Luigi Tosi e Maurizio Bonardi, *responsabili scientifici*; Rossana Serandrei Barbero e Sandra Donnici, *responsabili della micropaleontologia*; Federica Rizzetto, *responsabile della geomorfologia e della sedimentologia*.
- per la raccolta dei dati e l’approfondimento di altre tematiche sono state stipulate apposite convenzioni con: l’Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste per le indagini sismiche, coordinate da Giuliano Brancolini, direttore del Dipartimento di Geofisica della Litosfera; il Dipartimento di Geografia dell’Università degli Studi di Padova

per l'assetto geomorfologico del territorio a scala regionale, fornito da Mirco Meneghel ed Aldino Bondesan; il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica dell'Università degli Studi di Padova per l'aspetto geotecnico dei terreni superficiali, trattato da Paolo Previatello coadiuvato da Marco Favaretti; il Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica dell'Università degli Studi di Padova per l'analisi della sismologia e dei lineamenti strutturali, realizzata da Vittorio Iliceto. Una cospicua quantità di dati e di informazioni relativi all'idrogeologia è stata acquisita attraverso un protocollo d'intesa con la Provincia di Venezia, Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo, Servizio Geologico, il cui dirigente è Andrea Vitturi.

Hanno inoltre contribuito alla realizzazione del progetto: per la Regione del Veneto, Veronica Tornielli, Diego Salvador, Rocco Mariani, Giulio Fattoretto e Vincenzo Perna, che hanno collaborato al campionamento, hanno fornito l'assistenza geologica durante la realizzazione dei sondaggi e si sono occupati dell'informatizzazione dei dati; per il CNR-ISMAR, i collaboratori e tecnici Chiara Perale, Tomaso Bianchini, Alberto Patrian, Novella Bonsembiante, Erika Barison, Loris Dametto e Giancarlo Dalmissier ed inoltre Giuseppe Zambon ed Andrea Vianello per l'idrogeologia, Jane Frankenfield ed Alessandro Vianello, che hanno curato l'organizzazione dei seminari, ed il comandante dei mezzi nautici CNR "Litus" ed "Henetus" Armando Penzo; per la Provincia di Venezia, il collaboratore Enrico Conchetto.

Adriano Zanferrari, del Dipartimento di Georisorse e Territorio dell'Università degli Studi di Udine, ha curato l'analisi dei lineamenti strutturali.

La prima campagna di carotaggi profondi è stata realizzata dal Servizio Forestale Regionale di Belluno con il coordinamento del dirigente Franco Cristofoletti; la loro organizzazione tecnica e logistica è stata curata da Pietro De Filippo e Celeste Gnech, mentre gli operatori sono stati Giovanni Fiocco, Claudio Ganz e Massimo Buzzo. Durante l'effettuazione della seconda campagna, invece, la direzione dei lavori è stata curata dal Distretto Idrografico di Venezia Laguna, Veneto Orientale e Coste (direttore Enzo Zennaro) - Genio Civile Regionale di Venezia (responsabile Salvatore Patti); i tecnici che se ne sono occupati sono stati Lucio Vindigni e Sandro Bruni.

Un particolare ed importante contributo alla realizzazione del foglio si deve al coordinamento di APAT, da parte di Fabrizio Galluzzo, dirigente del Servizio CARG, e dei suoi collaboratori Maria Teresa Lettieri, Marco Pantaloni, Roberto Graciotti, Silvana d'Angelo, Maria Letizia Pampaloni, Felicia Papisodaro, Roberta Carta ed Edi Chiarini.

Infine Giovanni Battista Castiglioni dell'Università degli Studi di Padova ha fornito suggerimenti ed indicazioni durante i seminari e le riunioni di coordinamento.

Va annoverata la disponibilità del Magistrato alle Acque di Venezia, presi-

dente Annamaria Piva, nel concedere l'esame dei carotaggi effettuati nell'ambito di vari propri progetti e l'acquisizione di nuovi dati mediante la collaborazione fornita dal suo Servizio Informativo, attraverso il direttore Roberto Rosselli.

Il foglio è ubicato nel Veneto orientale e ricade in parte nella Provincia di Venezia, con i Comuni di Chioggia, Campagna Lupia, Camponogara, Campolongo Maggiore, Cona, Dolo, Fiesso d'Artico, Fossò, Mira, Pianiga, Strà, Venezia, Vigonovo, ed in parte nella Provincia di Padova, con i Comuni di Arzergrande, Bovolenta, Brugine, Candiana, Codevigo, Correzzola, Piove di Sacco, Pontelongo e S. Angelo di Piove di Sacco (Fig. 1).



Fig. 1 - Ubicazione del Foglio 148-149 "Chioggia-Malamocco".

La base topografica utilizzata è quella del Foglio 148-149 "Chioggia-Malamocco", alla scala 1:50.000, dell'Istituto Geografico Militare, che comprende in tutto o in parte le seguenti tavolette I.G.M., alla scala 1:25.000: 51 II SE "Malamocco", 51 II SO "Alberoni", 51 III SE "Campagna Lupia", 51 III SO "Legnaro", 65 I NO "Pellestrina", 65 I SO "Chioggia", 65 IV NE "Codevigo", 65 IV SE "Civè", 65 IV SO "Pontelongo" e 65 IV NO "Piove di Sacco".

Per i rilievi di campagna sono state utilizzate le seguenti Sezioni della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000: 148010 "Camponogara", 148020

“Campagna Lupia”, 148030 “Casone delle Tezze”, 148040 “Poveglia”, 148050 “Piove di Sacco Nord”, 148060 “Lova”, 148070 “Casone Zappa”, 148080 “Porto di Malamocco-Ovest”, 148090 “Piove di Sacco-Sud”, 148100 “Codevigo”, 148110 “Punta Fogolana”, 148120 “Pellestrina”, 148130 “Correzzola”, 148140 “Civè”, 148150 “Conche”, 148160 “Chioggia”, 149010 “Malamocco” e 149050 “Porto di Malamocco Est”. Per poter disporre della Carta Geologica dell’intero bacino lagunare la Regione del Veneto ha richiesto l’ulteriore studio del settore settentrionale delle Sezioni 169030 “Valcere Dolfina” e 169040 “Brondolo”, appartenenti al Foglio 169 “Adria”.

PROGETTO
CARG

II - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E CENNI STORICI

Nel secolo scorso il comprensorio ricadente nel Foglio “Chioggia-Malamocco” e nelle aree limitrofe è stato oggetto di diverse indagini a carattere geologico (ZANETTIN, 1955).

Nell’ambito del Comitato per lo Studio dei Provvedimenti a Difesa della Città di Venezia (CSPDV), istituito a seguito della disastrosa alluvione del 1966, e di vari progetti di ricerca condotti tra gli anni ‘60 e ‘90, sono stati effettuati numerosi studi volti alla conoscenza del sottosuolo profondo e superficiale. Per evitare di riportare un lungo elenco bibliografico in questo capitolo, i lavori più significativi verranno opportunamente citati nei capitoli che seguono.

Tra le indagini inerenti il sottosuolo profondo, effettuate negli anni ‘70, sono da ricordare il pozzo *Venezia 1 - CNR*, terebrato a carotaggio continuo fino a 947 m, ed i sondaggi *Venezia 2 - CNR*, *Lido 1* e *Marghera 1*, spinti rispettivamente fino a 400 m, 1.333 m e 602 m di profondità, con diversi tratti campionati mediante carotiere indisturbato. Altre importanti perforazioni sono state quelle di *Correzzola* (185 m), *S. Angelo di Piove di Sacco 1* (2.036 m), *Dolo 1 Dir* (1.134v m), *Legnaro 1 Dir* (4.934v m), *Codevigo 1* (1.650 m), *Civè 1* (1.212 m), effettuate dall’AGIP per la ricerca di idrocarburi nel periodo ‘40-‘80.

Alcuni studi degli anni ‘70 e ‘80 sono tuttavia da menzionare fin d’ora, dovendo essere considerati le basi per la realizzazione della cartografia geologica dei depositi olocenici e tardo-pleistocenici, obiettivo di questo lavoro, ed avendo permesso una prima delimitazione ad ampia scala delle caratteristiche geologiche evolutive della coltre superficiale. Si tratta dei lavori di GATTO & PREVIATELLO (1974), BORTOLAMI *et alii* (1977), FAVERO & SERANDREI BARBERO (1978; 1980; 1983), GATTO & CARBOGNIN (1981), BORTOLAMI *et alii* (1984) e GATTO (1984).

Negli anni '90, attraverso una serie di progetti di ricerca, primo fra tutti il Progetto Strategico CNR "Sistema Lagunare Veneziano", sono state condotte indagini stratigrafiche, sedimentologiche e micropaleontologiche che hanno consentito l'aggiornamento delle conoscenze acquisite nel precedente ventennio. Da qui è emersa la necessità sia di produrre un quadro di sintesi in grado di integrare i risultati delle numerosissime indagini sviluppate settorialmente, sia di approfondire la conoscenza dell'assetto e dell'evoluzione geologica del territorio.

1. - EVOLUZIONE GEOLOGICA E LINEAMENTI STRUTTURALI

1.1. - EVOLUZIONE PRE-QUATERNARIA (A. Zanferrari)

L'area veneziana è situata al centro dell'avampaese neogenico-quadernario condiviso fra la catena appenninica settentrionale NE-vergente e la catena sudalpina orientale S-vergente (Fig. 2). Tale avampaese, in un contesto regionale più ampio, è situato all'estremità nord-orientale della microplacca adriatica, che anche nel sottosuolo dell'area circumveneziana e del suo *offshore* 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, nonché da quelle più recenti dei Progetti Transalp e CROP-mare.

Le testimonianze più antiche, relative al Paleozoico ed al Triassico, derivano dal *log* stratigrafico del pozzo *Assunta 1*, integrato con i dati del rilievo aereomagnetico (CASSANO *et alii*, 1986). La presenza di un granito a 4.711 m di profondità, datato radiometricamente 448 ± 18 Ma, permette di collocare tra questo ed il nucleo paleozoico metamorfico di Recoaro il limite che si estende con direzione NE-SO dalla zona di Forni Avoltri (UD) tra due microplacche paleozoiche, consolidate nell'orogenesi varisca: la microplacca carnico-dinarica e l'austroalpino-sudalpina. Dall'alto strutturale profondamente denudato dell'*Assunta 1* (Fig. 3), caratterizzato dalla sovrapposizione di successioni terrigene e carbonatiche del Carnico sul corpo plutonico con rapporti di non-conformità, si ricava anche l'evidenza (e la conferma) che quest'area è stata una delle sorgenti di clasti per le unità terrigene permo-triassiche ora affioranti nell'area prealpina veneta.

Il rilievo aereomagnetico ha inoltre individuato un potente corpo di vulcaniti ladinarie (Fig. 3); queste, incontrate anche in altri pozzi profondi nella pianura veneto-friulana e relativo *offshore*, nonché quelle del Permiano inferiore del pozzo *Legnaro 1*, corrispondono a rioliti, daciti ed andesiti con intercalati minori livelli vulcanoclastici e terrigeni: esse rappresentano uno degli effetti del viva-

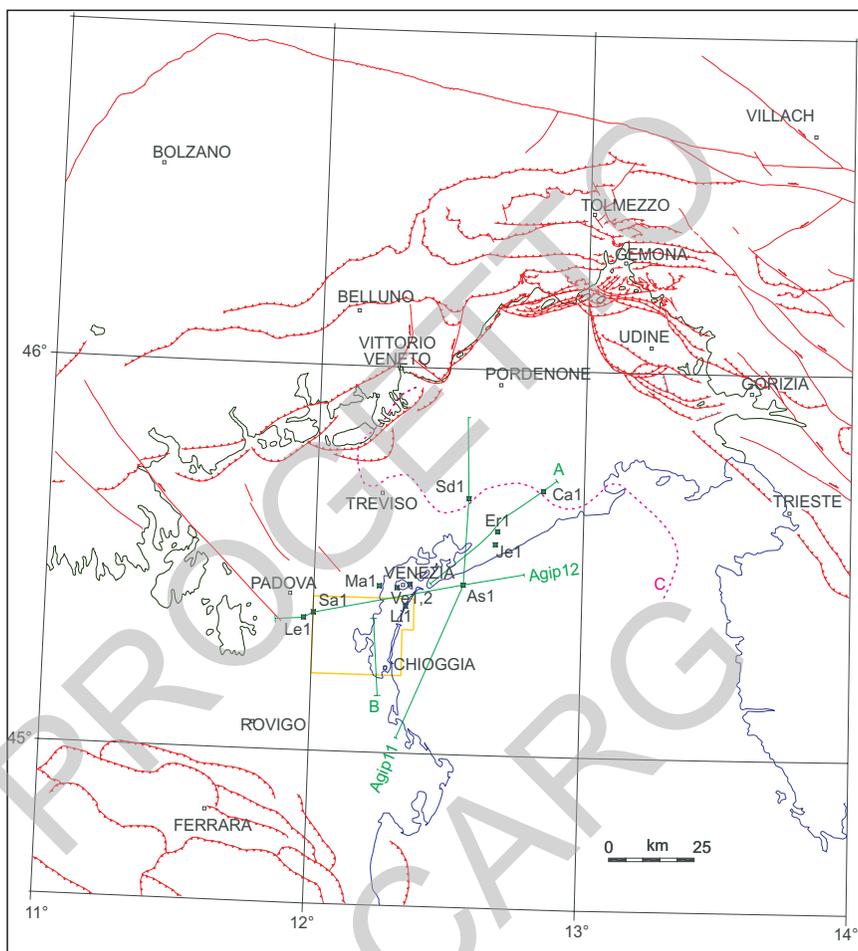


Fig. 2 - L'area del Foglio "Chioggia-Malamocco" nel quadro deformativo neogenico-quadernario, caratterizzato dalla convergenza tra il fronte appenninico e quello sudalpino orientale; quest'ultimo è svincolato cinematicamente, ad ovest dal sistema Schio-Vicenza e ad est da quello di Idrija. Pozzi AGIP: Le1-Legnaro, Sa1-S. Angelo di Piove di Sacco, As1-Assunta, Je1-Jesolo, Er1-Eraclea, Sd1-S. Donà, Ca1-Caorle, Ce1-Cesarolo, Li1-Lido, Ma1-Marghera; pozzi CNR: Ve1, Ve2-Venezia; tracce di sezioni sismiche a riflessione industriali: A, B; tracce di sezioni geologiche: Agip 11, 12; linea punteggiata C: margine sepolto della Piattaforma Carbonatica Friulana rispetto al Bacino Bellunese, situato ad occidente. I sistemi tettonici attivi - e sismogenici - che circondano l'area veneziana sono, in senso orario: il fronte della catena sudalpina orientale (da Schio alle Prealpi Giulie), il sistema trascorrente destro di Idrija (Slovenia occ.); parte del fronte della catena appenninica settentrionale (Ferrara), il sistema Schio-Vicenza (ad ovest di Padova).

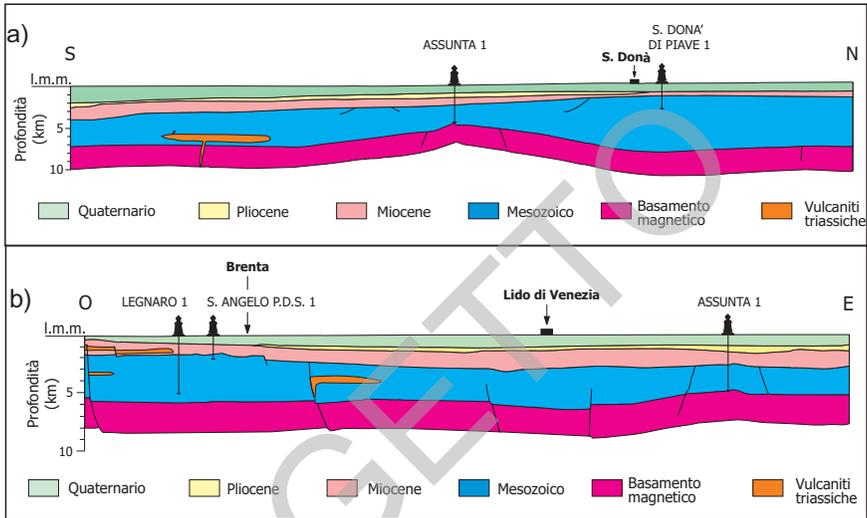


Fig. 3 - Sezioni geologiche schematiche (da CASSANO et alii, 1986, modificate), che evidenziano l'alto strutturale raggiunto dal pozzo Assunta 1 e la flessurazione crostale pliocenico-quadernaria verso la catena appenninica settentrionale.

ce tettonismo estensionale e trascorrente che ha interessato la regione sudalpina orientale nel Permo-Mesozoico.

L'architettura deposizionale e gli andamenti strutturali della porzione crostale soprastante, dall'ubiquitaria Dolomia Principale, cui corrisponde un intervallo di relativa stasi tettonica, alle unità quadernarie, sono ben ricostruibili per mezzo della rete di linee sismiche industriali che coprono la pianura veneta e l'Alto Adriatico e che sono state tarate con numerosi pozzi.

Per tutto il Giurassico ed il Cretacico l'aspetto paleogeografico fondamentale è rappresentato dall'instaurarsi, a partire dal Lias, del sistema Bacino di Belluno - Piattaforma Carbonatica Friulana (PCF), in un contesto estensionale e transtensivo legato ai processi di apertura dei bacini della Tetide.

La proiezione in superficie del margine della PCF è indicata in Fig. 2: la posizione è "media", in quanto il margine, ben definito stratigraficamente da una serie di pozzi esplorativi, è stato interessato da ripetute progradazioni e retrogradazioni (CATI et alii, 1989). 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 NO-SE, segmentate da faglie trascorrenti o transtensive NE-SO.

Secondo PICOTTI et alii (2002) la PCF si impostò nel Lias sui blocchi meno subsidenti (tasso medio di subsidenza: 0,05 mm/a), con un annegamento marginale al passaggio Lias-Dogger che produsse sottoalimentazione del Bacino, il

quale raggiunge allora il primo massimo di profondità. Un secondo e fondamentale picco di subsidenza si ebbe tra l'Oxfordiano superiore ed il Kimmeridgiano inferiore (0,25 mm/a), che determinò una rapida aggradazione di quasi 1 km della PCF ed una corrispondente fortissima sottoalimentazione del Bacino di Belluno, il quale raggiunge una paleobatimetria di circa 1.400 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; nel Bacino di Belluno, e quindi nel sottosuolo dell'area veneziana, alla fine del Cretacico si raggiunge una paleobatimetria di oltre 1.200 m, che fu successivamente annullata da depositi paleogenici (Fig. 4).

In rapporto all'evento tettonico dinarico (tardo Cretacico - Eocene medio-superiore), responsabile della strutturazione delle Dinaridi esterne nella regione dolomitico-friulana (DOGLIONI & BOSELLINI, 1987; POLI, 1995; 1996; POLI & ZANFERRARI, 1995), l'area veneziana si venne a trovare in una situazione di rialzo periferico di avampaese rispetto al sistema di sovrascorrimenti OSO-vergenti del fronte di questa catena, in migrazione verso occidente dall'area slovena occidentale verso quella friulano-dolomitica orientale.

Nel sottosuolo veneziano gli effetti dell'evento dinarico furono registrati solo sotto forma di variazioni paleobatimetriche e deposizionali, ben evidenti sul settore

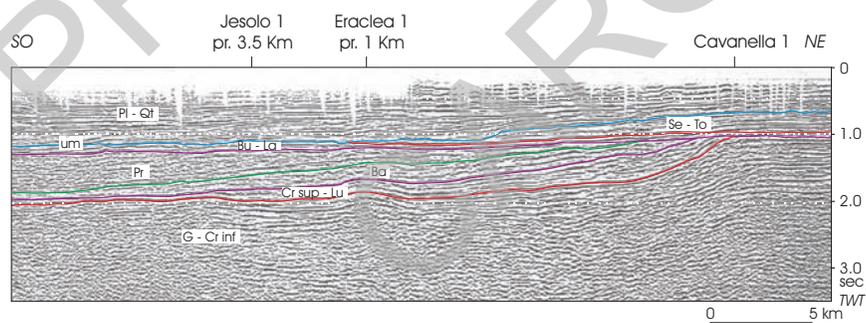


Fig. 4 – Sezione sismica a riflessione (A in Fig. 2, da FANTONI *et alii*, 2002, modificata) che evidenzia i rapporti fra il margine della PCF e il Bacino di Belluno, le geometrie deposizionali sullo slope e il riempimento del bacino prima da parte di successioni emipelagiche del Cretacico sup. – Luteziano (Cr sup-Lu: Scaglia rossa, cui si interdigitano potenti corpi detritici risedimentati dalla PCF) e del Bartoniano (Ba: Scaglia cinerea), poi torbiditiche (flysch di Jesolo) e infine deltizie distali (marna di Possagno) del Priaboniano (Pr). Le piattaforme del “Gruppo di Cavanella”, qui solo burdigaliano-langhiane (Bu-La), progradarono sia sulle successioni eoceniche che sul top variamente eroso della PCF. L'andamento della superficie erosionale messiniana (um) evidenzia le profonde incisioni fluviali legate all'abbassamento del livello del Mediterraneo nel Messiniano, poi colmate e sigillate dai depositi terrigeni del Pliocene e del Pleistocene (Pl-Qu).

occidentale 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, questa volta per flessurazione verso NNE. 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. 2) e di quelli presso il margine prealpino: *Nervesa 1*, *Arcade 1* e *Merlengo 1*.

Al contrario, nel Bacino di Belluno (Fig. 4) lo spazio ereditato dalla subsidenza mesozoica fu colmato, durante il Paleogene, da depositi progradanti da nord, dapprima emipelagici (Scaglia: 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.

Per quanto riguarda l'Oligocene, a parte il settore occidentale dell'antica piattaforma carbonatica mesozoica, non risulta ancora ben definito il quadro paleogeografico e deposizionale per la parte di sottosuolo della pianura veneta fino al piede dei rilievi berico-euganei. Sembra probabile l'instaurarsi di un depocentro oligocenico con depositi terrigeni, vulcanici e vulcanoclastici, delimitato da faglie estensionali ad andamento NO-SE, nel sottosuolo della pianura padovano-vicentina (pozzi *Legnaro 1*, *S. Angelo di Piove di Sacco 1* e *Villaverla 1*: spessori attorno a 700-800 m). E' anche possibile ipotizzare che risalga a questa fase estensionale l'individuazione della faglia Schio-Vicenza e del relativo sistema ora sepolto nella pianura.

Tra la fine dell'Oligocene e il Langhiano anche l'area circumveneziana, 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 arenite (STEFANI, 1987).

Il bacino di avampaese si estese lentamente verso SSO, 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 (Fig. 4), 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 km nelle Prealpi, si assottiglia rapidamente verso la costa adriatica (Fig. 4: 225 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 veneziano 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 in corrispondenza dell'area veneziana aveva uno dei più vasti e profondi assi di drenaggio – la valle messiniana del paleo-Piave (BARBIERI *et alii*, 2004), che si approfondì fino ad asportare parte del “Gruppo di Cavanella” (Fig. 4).

Nel Pliocene inferiore il reticolo fluviale messiniano guidò nell'area veneziana l'ingressione marina, con depositi marino prossimali e poi deltizi siltosi e sabbiosi (pozzi *Jesolo 1* ed *Eraclea 1*: Fig. 4), mentre piccole piattaforme carbonatiche plioceniche si formarono nei settori di rialzo periferico dell'avampaese appenninico (*Lido 1* e *Assunta 1*: Fig. 5), al quale l'area ora appartiene a decorrere dal Pliocene.

In tale intervallo, infatti, e con maggior efficacia nel Quaternario, il fronte appenninico migrante verso NE determina la flessurazione della crosta veneta e friulana (Fig. 6), producendo, nel Pliocene inferiore, un rialzo periferico nell'area lagunare e successivamente il suo rapido annegamento e l'instaurarsi di condizioni epibatiali. La subsidenza indotta dal carico tettonico dell'Appennino settentrionale ha prodotto oltre metà (almeno 500 m) della subsidenza totale registrata dall'area lagunare nel Pleistocene (BARBIERI & GARCIA-CASTELLANOS, 2004).

La faglia Schio-Vicenza, che delimita ad ovest la pianura veneta verso i rilievi Lessini-Berici-Euganei e costituisce perciò un elemento fisiografico di forte evidenza, è probabilmente attiva nel Quaternario anche recente (PELLEGRINI, 1988), es-

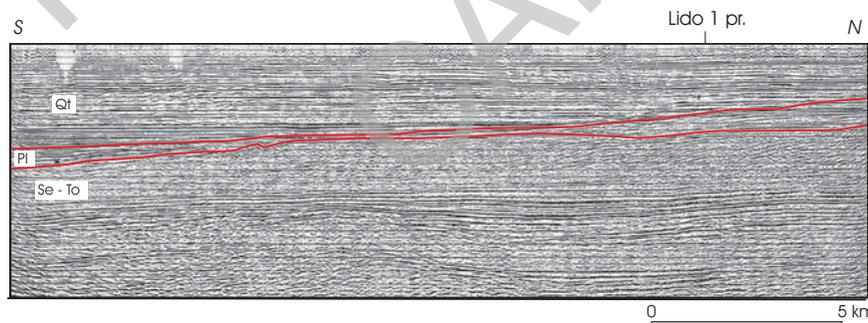


Fig. 5 - Sezione sismica a riflessione (B in Fig. 2; da FANTONI *et alii*, 2002, modificata) che evidenzia il progredire verso sud delle piattaforme terrigene serravalliano-tortoniane (Se - To) e l'andamento articolato della superficie erosionale messiniana, sulla quale si sono deposte successioni plioceniche terrigene in onlap (a sud) o di piattaforma carbonatica a nord. Si noti il cuneo clastico quaternario (Qt) e lo spessore dei sedimenti pleistocenici, talora torbiditici, che risalgono in onlap la rampa subsidente dell'avanfossa appenninica.

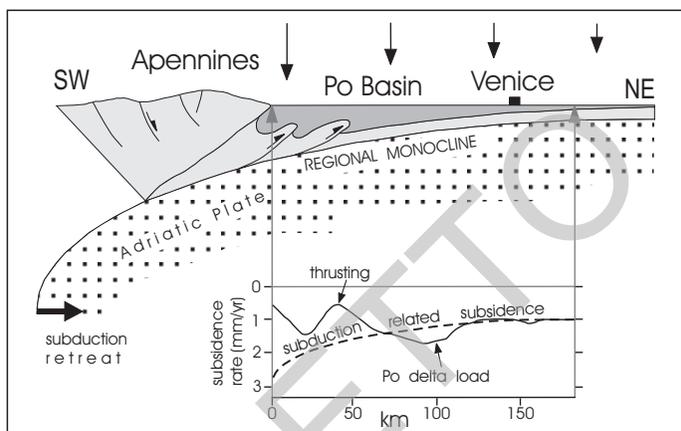


Fig. 6 - Schema dell'attuale sistema catena appenninica settentrionale - avansfossa padano-veneta, sulla cui rampa d'avampaese è situata l'area lagunare (da CARMINATI et alii, 2003). Nell'insero è schematizzato l'apporto alla subsidenza lagunare fornito dalla subduzione appenninica, pari ad oltre metà della sua subsidenza totale nel Pleistocene.

senzialmente come faglia normale con rigetto che si annulla in prossimità dell'area veneziana. Viceversa, le altre faglie estensionali con analoga direzione, sepolte nel sottosuolo della pianura, non sembrano interessare la base del Pleistocene.

La faglia Schio-Vicenza, più volte riattivata in precedenza con differenti cinematiche legate al succedersi nel Cenozoico di campi di sforzi variamente orientati, in particolare nel Neogene è stata lo svincolo fra la catena sudalpina orientale e la regione lessinea meno raccorciata. In rapporto all'evoluzione pliocenico-quadernaria della catena nord-appenninica, essa ha le caratteristiche di una faglia normale a forbice che separa il rialzo periferico dei Lessini da un settore di avampaese che risente ancora, seppur in misura ridotta, dell'evoluzione del fronte sudalpino, che, con il suo carico, contrasta la flessurazione dell'avampaese veneto verso SO prodotta dalla catena nord-appenninica.

Ulteriori lineamenti tettonici, ipotizzati nel sottosuolo della pianura veneta orientale da vari Autori (ZANFERRARI *et alii*, 1980a; ZANFERRARI *et alii*, 1980b; SLEJKO *et alii*, 1989; CARULLI *et alii*, 1990; CASTALDINI & PANIZZA, 1991; CAVALLIN & MARCHETTI, 1995), sono stati omessi in Fig. 2, dato che studi specifici mirati ad accertarne l'effettiva presenza e l'eventuale attività sono tuttora in corso.

1.2. - EVOLUZIONE QUATERNARIA

Per effetto della subduzione dell'avampaese sotto il fronte appenninico, il cuneo clastico quadernario si assottiglia gradualmente verso NE, in direzione della

porzione settentrionale della pianura friulana, entro la quale è sepolto l'attuale fronte sudalpino.

Nella Fig. 7, in cui è riportata una sezione sismica orientata NNE-SSO effettuata al largo di Chioggia, sono osservabili sia il migrare verso NE dell'*onlap* dei depositi pleistocenici sul substrato pliocenico fessurato verso SE, che l'assottigliarsi a cuneo degli orizzonti pleistocenici stessi.

All'interno del Foglio "Chioggia-Malamocco" ricadono alcuni pozzi esplorativi (*Lido 1*, *S. Angelo di Piove di Sacco 1*, *Codevigo 1*, *Civè 1*) dai quali è stato possibile ottenere informazioni abbastanza sommarie sui depositi quaternari. Al contrario, i sondaggi *Venezia 1 - CNR* (947 m) e *Venezia 2 - CNR* (400 m), anche se ubicati nel centro storico di Venezia e quindi poco a nord del limite settentrionale del foglio in esame, hanno fornito informazioni molto dettagliate relative ai depositi plio-pleistocenici (CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, 1971; FONTES

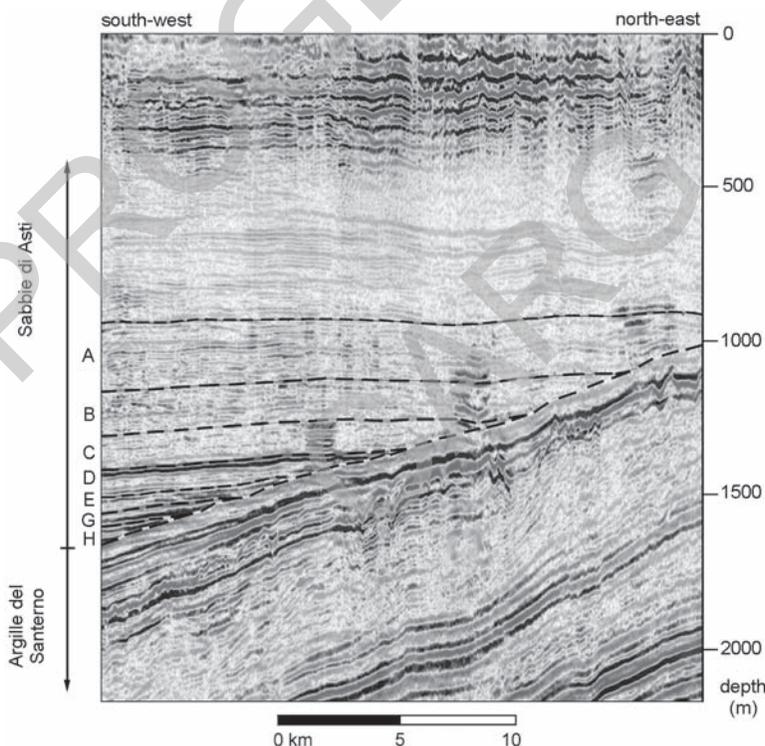


Fig. 7 - Sezione sismica NNE-SSO al largo di Chioggia, indicante l'assetto dei depositi plio-pleistocenici delle Argille azzurre (in figura indicate come Argille del Santerno) e delle Sabbie di Asti, separate da una discontinuità ben marcata (da TEATINI et alii, 2000).

& BORTOLAMI, 1972; 1973; FAVERO *et alii*, 1973; SERANDREI BARBERO, 1975; BORTOLAMI *et alii*, 1977; FAVERO *et alii*, 1979; FAVERO & PASSEGA, 1980; BELLET *et alii*, 1982; BORTOLAMI *et alii*, 1984; MÜLLENDERS *et alii*, 1996).

Questi lavori sono stati recentemente integrati e revisionati da KENT *et alii* (2002) e da MASSARI *et alii* (2004), che, attraverso la biomagnetostratigrafia e la stratigrafia del sapropel, accompagnate dall'analisi delle *facies* e delle *biofacies*, sono riusciti a ricostruire in modo preciso l'evoluzione del bacino veneziano negli ultimi 2,15 Ma. Essa può essere sintetizzata come segue (Fig. 8). (a) Nel tardo Gelasiano (tardo Pliocene) l'area era una piattaforma molto subsidente la cui profondità andava diminuendo, approssimandosi così al livello del mare. (b) Nel corso del Pleistocene inferiore, dopo uno *hiatus* avente la durata minima di 0,2 Ma e corrispondente a gran parte della Olduvai *Subchron*, la piattaforma sprofondò rapidamente a profondità batiali (biozone da MNN 19a a MNN 19e: da 1,947 Ma a 0,96 Ma); questo intervallo fu caratterizzato da tassi di sedimentazione assai ridotti (meno di 10 cm/ka), rappresentata da fanghi emipelagici intercalati a livelli di sapropel. (c) Durante gran parte del periodo relativo alla biozona MNN 19f (*Pseudoemiliana lacunosa* Zona, 0,96-0,42 Ma) si depose una spessa sequenza di torbiditi bacinali, come risultato di un cospicuo apporto terrigeno proveniente dal settore alpino sud-orientale. (d) Successivamente, in mezzo alla *Chron In* (Brunhes), una sedimentazione di tipo deltizio, principalmente legata alla progradazione del sistema del paleo-Po, condusse al progressivo riempimento del bacino; questo episodio, che rappresenta la fase costruttiva più importante, si concluse con la prima comparsa di sedimenti continentali, tentativamente correlata con il *marine oxygen isotope substage* (MIS) 8.4. (e) La parte superiore della successione mostra un'organizzazione ciclica, con un incremento verso l'alto di depositi marini marginali e continentali sottoposti ad esposizione subaerea. In questo intervallo l'area veneziana si trovava sotto il livello del mare durante lo stazionamento glacioeustatico alto, ma emergeva durante le successive principali condizioni di stazionamento basso.

E' stata osservata una buona corrispondenza tra alcuni eventi stratigrafici registrati nei primi 300 m di sottosuolo, evidenziati da KENT *et alii* (2002) e da MASSARI *et alii* (2004), e gli acquiferi/aquitard il cui modello di sviluppo è stato elaborato attraverso l'analisi di centinaia di stratigrafie di carotaggi e calibrato, negli anni '70, proprio mediante lo studio dei pozzi *Marghera 1*, *Venezia 1 - CNR* e *Lido 1*. Poiché tali acquiferi/aquitard hanno una buona continuità laterale è stato fatto il tentativo di estendere le conoscenze inerenti gli eventi deposizionali così individuati anche alle zone limitrofe al sondaggio *Venezia 1 - CNR* (BRAMBATI *et alii*, 2003) (Fig. 9).

Studi condotti da FAVERO (1987) indicano che nel corso dell'ultima fase interglaciale tirreniana le aree corrispondenti alle città di Treviso e Padova rimanevano emerse ed il cuneo trasgressivo raggiungeva una posizione intermedia tra queste e l'attuale margine lagunare. Le fonti di informazione fino ad ora disponibili per

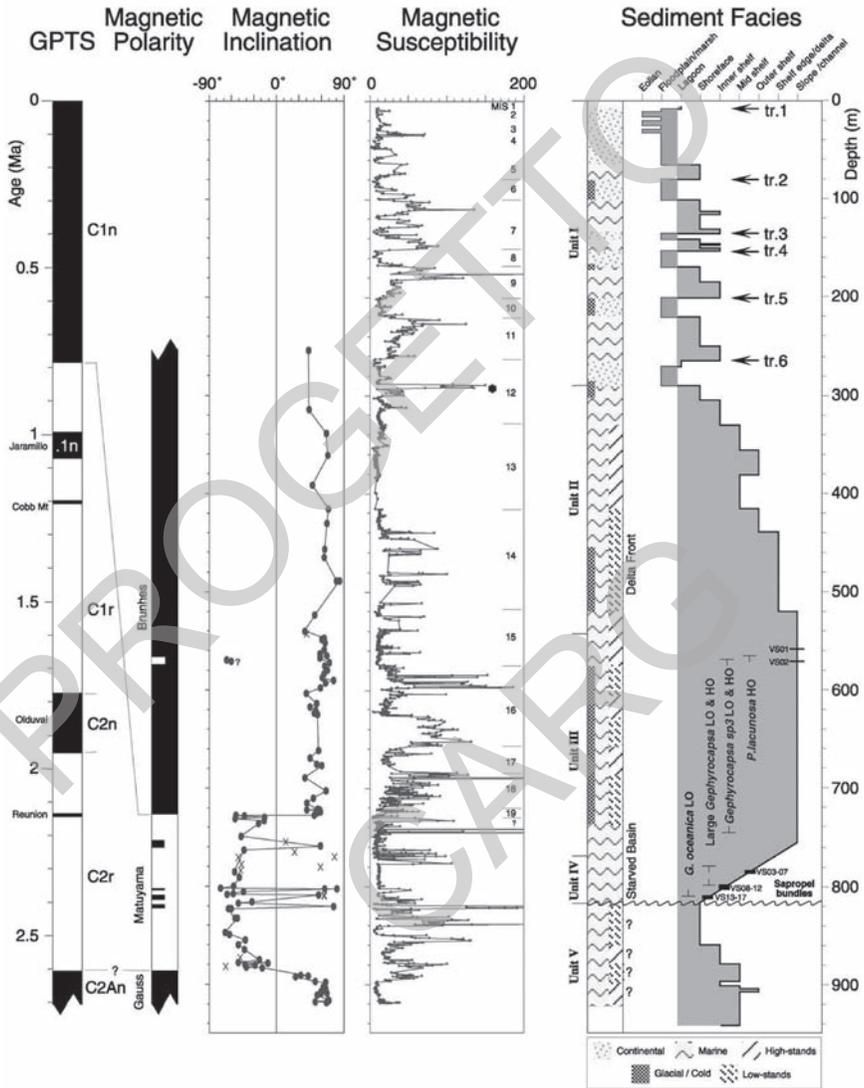


Fig. 8 - Polarità magnetica, suscettibilità magnetica, facies dei sedimenti e biostratigrafia del plancton calcareo della carota del sondaggio Venezia 1- CNR (da KENT et alii, 2002 e MASSARI et alii, 2004).

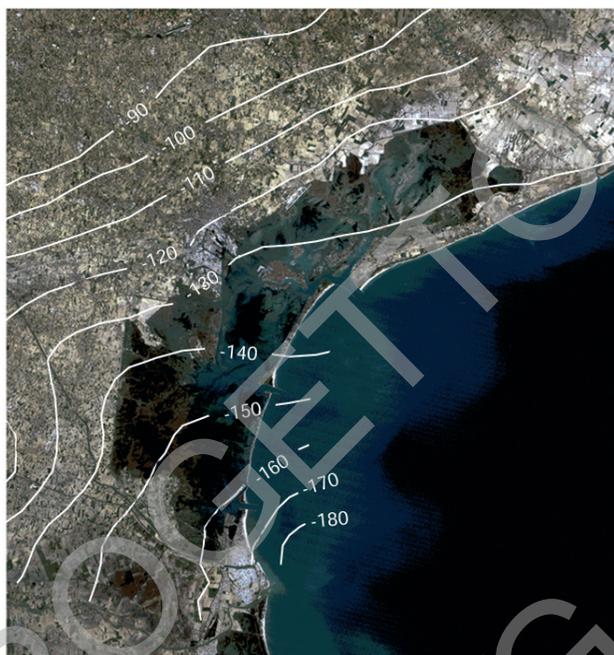


Fig. 9 - Mappa delle isobate (m s.l.m.) del tetto del 5° acquifero, sovrapposta ad una immagine Landsat TM (da BRAMBATI et alii, 2003). Le isobate potrebbero corrispondere alla profondità della tr.6 riportata in Fig. 8 e descritta in KENT et alii, 2002).

ricostruzioni di questo tipo sono non solo quantitativamente ridotte, ma anche di scarsa qualità, in quanto la maggior parte di esse proviene da terebrazioni di pozzi per acqua, mentre i dati analitici sono molto sporadici. La prima descrizione del contenuto micropaleontologico e della malacofauna dei depositi relativi all'intervallo di tempo esteso dall'Eemiano al *Last Glacial Maximum* (LGM) è stata data da ACCORDI & SOCIN (1950), che hanno studiato un sondaggio terebrato nel 1934 in un settore posto al margine sud-occidentale dell'area veneziana, nei pressi di Correzzola (PD), il quale raggiunse i 185 m di profondità.

Man mano che si procede verso i sedimenti superficiali i dati disponibili aumentano. In particolare risultano ben documentati gli eventi deposizionali relativi agli ultimi 30.000 anni, grazie alle centinaia di carotaggi effettuati per scopi diversi, mediamente spinti fino a 25-30 m sotto il piano campagna, sui quali sono state effettuate numerose indagini e studi multidisciplinari.

Entro i primi 30 m di sottosuolo è possibile riconoscere tre principali fasi deposizionali che rappresentano le situazioni ambientali del tardo-Pleistocene e del successivo Olocene, riconducibili alle variazioni globali del livello del mare: i depositi di stazionamento basso (*Lowstand Systems Tract* o semplicemente LST),

i depositi trasgressivi olocenici (*Transgressive Systems Tract* - TST) ed i depositi di stazionamento alto (*Highstand Systems Tract* - HST).

Durante lo stazionamento basso del mare, verificatosi nel corso dell'ultima glaciazione, l'area in esame si presentava come una vasta pianura alluvionale solcata da diversi fiumi, i cui numerosi paleoalvei, oggi sepolti o subaffioranti, sono stati evidenziati dalle indagini sismiche ad alta risoluzione (STEFANON, 1984; MC CLENNEN *et alii*, 1997). In questo periodo il livello del mare era circa 110-120 metri più basso dell'attuale (MOSETTI & D'AMBROSI, 1966; VAN STRAATEN, 1967; D'AMBROSI, 1969; LEONARDI, 1970; TRINCARDI *et alii*, 1994; CORREGGIARI *et alii*, 1996a; CORREGGIARI *et alii*, 1996b) e la linea di costa, posizionata circa all'altezza di Pescara, era quasi coincidente con il bordo della Fossa del Pomo. Il clima glaciale secco e successivamente arido (BORTOLAMI *et alii*, 1977) provocò un notevole abbassamento del livello di base, con conseguenti erosione ed approfondimento degli alvei fluviali. I depositi sommitali di questa fase, datati intorno a 18.000 anni B.P., presentano evidenti segni di prolungata esposizione subaerea e sono discordanti rispetto a quelli sovrastanti a causa di una lacuna stratigrafica di ampiezza temporale variabile a seconda dei settori da 7.000 a 13.000 anni. Questa lacuna, che comprende quindi il post-Glaciale ed in parte anche l'Olocene, è principalmente dovuta alla ridotta deposizione, in quanto all'inizio della deglaciazione gran parte dei sedimenti veniva convogliata nei solchi vallivi presenti nelle aree alpine ed appenniniche. Il limite con i depositi olocenici coincide con una superficie erosiva; tale superficie spesso costituisce il tetto di un'argilla pleistocenica, localmente nota come *caranto*, ritenuta essere da alcuni Autori un paleosuolo, che, per l'esposizione subaerea ed il clima freddo secco, ha subito un processo di sovraconsolidazione.

Il limite tra i depositi pleistocenici e quelli olocenici nei settori marino e lagunare orientale è macroscopicamente evidente grazie alle differenti caratteristiche sedimentologiche dei depositi, mentre, man mano che ci si avvicina al margine continentale della laguna centrale o si procede verso l'entroterra, la sua individuazione può richiedere determinazioni più approfondite, in particolare nelle situazioni di contatto tra ambienti continentali.

Una prima ricostruzione dell'andamento della superficie-limite Pleistocene-Olocene è stata proposta da GATTO & PREVIADELLO (1974) (Fig. 10).

Successivi aggiornamenti e miglioramenti hanno evidenziato la variabilità di tale passaggio ed in particolare la presenza di due aree depresse separate da un alto morfologico in corrispondenza dell'attuale Bocca di Lido (GATTO, 1984); essi, inoltre, hanno permesso di definire un primo modello di architettura dei sistemi deposizionali dalla terraferma all'Adriatico (BONARDI *et alii*, 2006) (Fig. 11).

Una ricostruzione schematica delle diverse profondità alle quali si trova tale limite nel comprensorio veneziano è stata proposta da BRAMBATI *et alii* (2003) e fa intravedere l'assetto morfologico della paleopianura antecedente la trasgressione marina olocenica (Fig. 12).

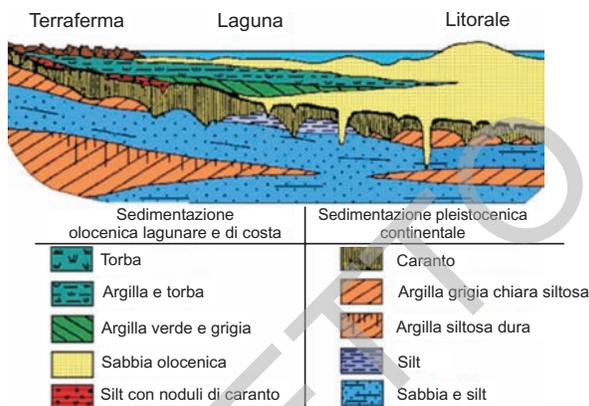


Fig. 10 - Schema stratigrafico dei depositi olocenici e pleistocenici (Last Glacial Maximum) lungo una sezione che attraversa la parte centrale della Laguna di Venezia (da GATTO & PREVIATELLO, 1974).

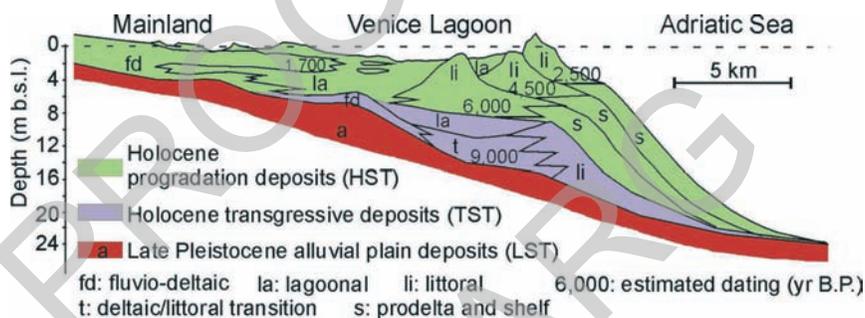


Fig. 11 - Modello schematico dei sistemi deposizionali del settore meridionale della Laguna di Venezia (da BONARDI et alii, 2006).

Durante la fase iniziale di questo evento trasgressivo le sabbie marine riempirono i solchi erosivi (FONTES & BORTOLAMI, 1973) e si formarono apparati litorali (con probabili lagune primordiali alle spalle) che progressivamente arretrarono verso NO. E' stato ipotizzato che locali livelli di limi sabbiosi, aventi struttura interna caotica e rimaneggiata e contenenti breccie di argille pleistoceniche, possano essere il risultato di intensi processi dinamici dovuti ai fenomeni di sovralluvionamento fluviale conseguenti alla deglaciazione ed alla trasgressione marina e pertanto definiti di "esondazione". La deposizione trasgressiva, durata circa 5.000 anni, avvenne in condizioni di rapido innalzamento eustatico: essa fu caratterizzata da un ridotto apporto sedimentario ed accompagnata da un tasso di subsidenza che, stimato con le radiodazioni eseguite su materiali organici campionati a varie profondità, poteva raggiungere i 3 mm/anno (BORTOLAMI et



Fig. 12 - Profondità del livello Pleistocene-Olocene (m s.l.m.) disegnata sulla base di analisi di carote e della sismica ad alta risoluzione (da BRAMBATI et alii, 2003). Questa superficie concorda con il tr.1 di KENT et alii (2002). La linea tratteggiata delimita l'area marina dove i depositi olocenici sono molto sottili o sono stati erosi.

alii, 1984). La fase trasgressiva si concluse con la massima ingressione marina, durante la quale la linea di costa venne a trovarsi all'interno della laguna attuale (FAVERO & SERANDREI BARBERO, 1978).

Raggiunto l'*optimum* climatico, circa 5-6.000 anni B.P., l'innalzamento eustatico divenne più lento ed iniziò la fase di stazionamento alto che comportò la regressione deposizionale, e quindi la progradazione, degli apparati costieri, grazie ai cospicui apporti solidi provenienti dai fiumi Piave, Brenta, Bacchiglione, Adige e Po ed ai tassi di subsidenza ridotti a valori medi di 1 mm/anno (GATTO & CARBOGNIN, 1981; BORTOLAMI *et alii*, 1984).

Nella fascia di transizione mare-terraferma iniziarono a formarsi, a seconda del processo prevalente, ambienti più differenziati rispetto a quanto era avvenuto in precedenza, a loro volta caratterizzati da diversi tipi di sotto-ambienti.

In generale nell'area litoranea il comportamento evolutivo del settore meridionale è stato diverso da quello della parte centro-settentrionale, soprattutto a causa dei processi fluviali.

Un modello di evoluzione della linea di costa, realizzato attraverso una serie di indagini paleoecologiche e radiometriche su sedimenti del sottosuolo litoraneo, è stato riportato da TOSI (1994c); secondo tale ricostruzione nell'area centro-settentrionale sarebbe prevalsa la tendenza trasgressiva marina fino a quando venne ricoperto anche l'alto morfologico individuato presso la Bocca di Lido e l'aggradazione dei depositi sarebbe legata al graduale esaurimento di un grosso ramo fluviale della Brenta le cui tracce sono tutt'oggi riconoscibili (Fig. 13).

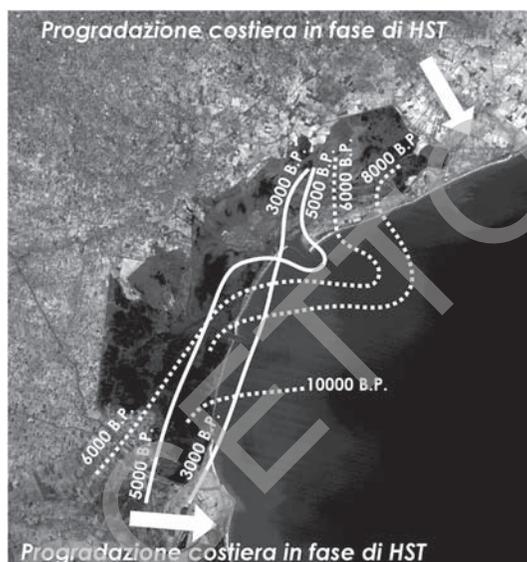


Fig. 13 - Modello schematico dell'evoluzione olocenica del litorale di Venezia (da Tosi, 1994c, modificata). Le frecce indicano la direzione di avanzamento della linea di costa causata dalla progradazione delle foci dei fiumi durante la fase di stazionamento alto.

A sud, invece, la tendenza progradazionale della linea di costa iniziò dopo che venne raggiunta la massima ingressione marina; ciò si spiega in quanto il cospicuo apporto solido dei fiumi Adige, Brenta e Bacchiglione non fu più equilibrato dall'innalzamento eustatico, per cui iniziarono ad avanzare i loro apparati di foce.

Nelle aree retrostanti il cordone litorale ed in quelle di margine lagunare, non direttamente interessate dagli apporti detritici, la subsidenza geologica portò all'ampliamento degli specchi d'acqua lagunari verso la terraferma.

All'interno della sequenza olocenica sono state trovate evidenze di rapidi eventi regressivi-trasgressivi secondari, forse collegati a variazioni climatiche minori che hanno influito sui processi di apporto, di sedimentazione e di eustatismo e che quindi hanno comportato variazioni del livello marino relativo. Ne costituisce un esempio il ritrovamento in laguna di paleobarene sopra i depositi lagunari olocenici di stazionamento alto, sulle quali, in età romana e medioevale, si sono sviluppati insediamenti antropici (BONARDI *et alii*, 1997; SERANDREI BARBERO *et alii*, 1997; SERANDREI BARBERO *et alii*, 2004); questi, a loro volta, sono coperti da sedimenti di ambiente lagunare, che nella parte sommitale spesso terminano con evidenze di barena. Il tetto del livello di età romana è marcato da una superficie di discontinuità che si estende lateralmente nel comprensorio veneziano: essa sembra corrispondere a quella già individuata nel Ravennate ed attribuita al IV-VI

sec. d.C., che è stata fatta coincidere con una superficie di erosione fluviale correlata lateralmente a dei suoli (AMOROSI, 1999; REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1999).

Soprattutto dopo il 1000 l'evoluzione geologica del comprensorio veneziano è stata notevolmente condizionata dagli interventi antropici: primi fra tutti le estromissioni delle foci fluviali dalla laguna che, come è noto, in parte per l'aumento di carico sospeso, in parte per la diminuzione del tasso di crescita del livello del mare, era soggetta al processo di interrimento. Questi interventi, se da un lato hanno limitato il riempimento del bacino lagunare, dall'altro ne hanno favorito l'approfondimento e quindi l'espansione verso la terraferma, principalmente a causa dell'incremento dei tassi di subsidenza (geochimica) indotta dalla salinizzazione delle aree di foce, prima caratterizzate da ambienti dulcicoli.

Le opere antropiche effettuate nel secolo scorso, quali ad esempio la costruzione delle dighe foranee e lo scavo del Canale dei Petroli, hanno ulteriormente modificato l'idrodinamica litoranea e lagunare e quindi i processi di risospensione, trasporto e deposizione dei sedimenti.

2. - CENNI DI GEOMORFOLOGIA REGIONALE

(A. Bondesan, M. Meneghel)

L'area relativa al foglio in esame è costituita da parte della bassa pianura attraversata dai fiumi Brenta e Bacchiglione e dal comprensorio centro-meridionale lagunare e litorale.

2.1. - LA BASSA PIANURA DEI FIUMI BRENTA E BACCHIGLIONE

Il tratto di pianura ad ovest dalla conterminazione lagunare rappresenta la porzione terminale del sistema deposizionale olocenico del Brenta (FAVERO & SERANDREI BARBERO, 1978; 1980; CASTIGLIONI, 1982; 1989; CASTIGLIONI *et alii*, 1987; BASSAN *et alii*, 1994; MURST, 1997; BONDESAN *et alii*, 2002). Esso confina a nord con il sistema tardo-pleistocenico del Brenta (*megafan* di Bassano) ed a sud con quello olocenico dell'Adige. L'attività morfogenetica del Bacchiglione è costretta all'interno dell'ampio avvallamento creatosi dalla giustapposizione del sistema del Brenta con quello dell'Adige e quindi apparentemente limitata all'intorno delle direttrici di deflusso attuali e subattuali (Fig. 14).

Nell'area si osserva una grande abbondanza di tracce di origine fluviale e l'assenza di elementi relitti del sistema lagunare, nonostante ampi tratti di pianura posti a ridosso della laguna si trovino attualmente sotto al livello marino e siano mantenuti asciutti solo grazie all'opera di bonifica con scolo meccanico delle acque. Questo particolare assetto geomorfologico è spiegabile considerando che circa 5 secoli fa

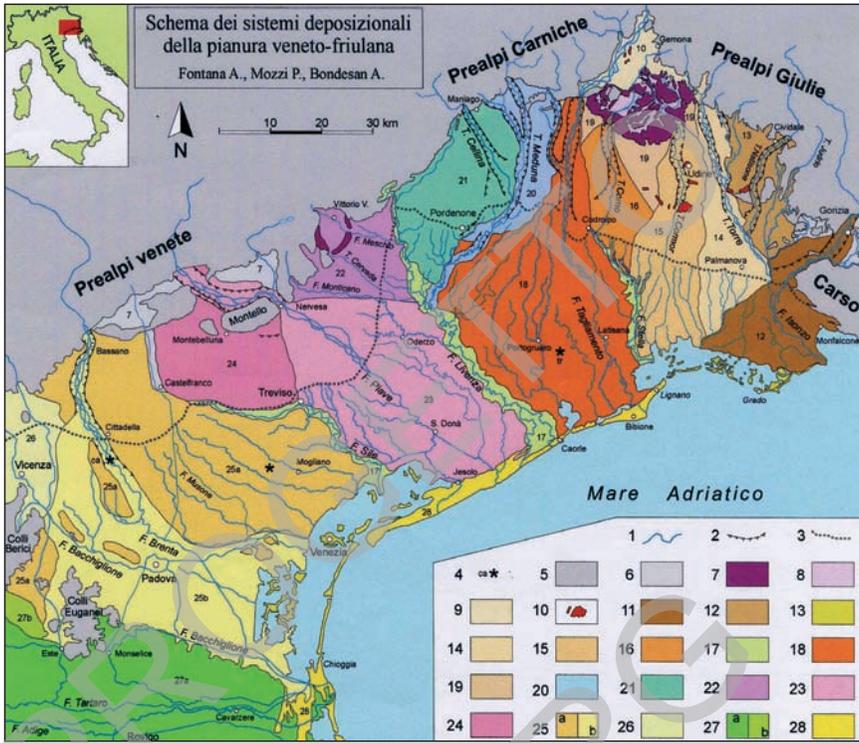


Fig. 14 - Schema dei sistemi deposizionali della pianura veneto-friulana (da BONDESAN & MENEGHEL, 2004). Legenda semplificata: 13) isole lagunari; 17) sistemi dei principali fiumi di risorgiva (Stella, Livenza e Sile); 23) megafan del Piave di Nervesa; 24) megafan del Piave di Montebelluna; 25) sistema del Brenta: a) settore pleistocenico (megafan di Bassano), b) pianura olocenica del Brenta con apporti del Bacchiglione; 26) conoide dell' Astico; 27) sistema dell' Adige: a) pianura olocenica con apporti del Po, b) pianura pleistocenica; 28) sistemi costieri e deltizi.

la posizione del margine interno lagunare era spostata verso mare di alcuni chilometri, come si evince dalla cartografia cinquecentesca. La pianura alluvionale che si estendeva su gran parte della laguna meridionale è stata dunque invasa dalle acque salmastre in età rinascimentale e moderna. A partire dal 1610 i Veneziani intrapresero la costruzione della “conterminazione lagunare”, un’arginatura del margine interno lagunare che fu terminata nel 1791 e che tuttora separa nettamente la laguna dalla terraferma. Questi argini hanno difeso l’attuale terraferma dall’ingressione marina degli ultimi secoli, impedendo il sovrapporsi di forme lagunari sul substrato alluvionale.

Un quadro sintetico delle possibili età di formazione di alcune tra le principali strutture geomorfologiche di questo settore di pianura, nonché dei tratti salienti della paleoidrografia del basso Brenta durante gli ultimi 3.000 anni, è riportato in Fig. 15.



Fig. 15 - Le principali direttrici di deflusso oloceniche del Brenta nell'area compresa tra Naviglio Brenta e Bacchiglione (da BONDESAN & MENEGHEL, 2004). Legenda semplificata: 1) e 2) margine interno lagunare e linea di costa da cartografia storica, XVI sec. (1) e XVIII sec. (2); 3) limite della spiaggia intertidale da cartografia storica (anno 1763); 4) antico corso fluviale da cartografia storica (XVI e XVII sec.); 5) dossi del Brenta (Olocene); 6) dosso fluviale in laguna da cartografia storica; 7) dossi dell'Adige e del Po; 9) direttrici di deflusso; 10) datazioni ^{14}C : "a" - 2.640 ± 70 anni ^{14}C B.P., 1000-625 a.C. e 1.380 ± 100 anni ^{14}C B.P., 450-860 d.C. (CASTIGLIONI et alii, 1987); "b" - 1.730 ± 80 anni ^{14}C B.P., 89-531 d.C. e 1.140 ± 80 anni ^{14}C B.P., 688-1025 d.C. (PIRAZZOLI et alii, 1981); "c" - 2.640 ± 60 anni ^{14}C B.P., 968-544 a.C. (LEVRATO, 2002).

Il tratto di pianura delimitato a nord dal corso del Naviglio Brenta ed a sud dal Bacchiglione si è formato a seguito di divagazioni del Fiume Brenta connesse con un tracciato passante a NE di Padova per Vigodarzere e Ponte di Brenta. Complessivamente si presume che la sua età di formazione sia tardo-olocenica, in quanto esso rappresenta la continuazione verso valle del decorso per Carturo e Piazzola attivo nel I millennio a.C.

I dossi di Tombelle, Fossò, Vigonovo e Campagna Lupia costituiscono gli elementi morfologici più antichi dell'intero tratto di pianura situato tra il Naviglio Brenta ed il Bacchiglione.

A Noventa dal dosso di Stra si stacca un sistema dossivo che prosegue per Camin, Saonara e Sant'Angelo, corrispondente ad un'antica diramazione del Brenta. Questo ramo è stato attivo nella prima metà del I millennio a.C., in età Romana e tra il V e il IX secolo d.C. (MOZZI in BONDESAN & MENEGHEL, 2004).

L'antico tracciato del "Fiume Brentone" viene indicato come il percorso più meridionale del sistema Brenta-Bacchiglione. È possibile che questa direttrice di deflusso possa corrispondere ad uno dei percorsi medievali del fiume, prima della deviazione operata nel 1143.

Presso Sant'Angelo il percorso proveniente da Saonara si biforca in due rami, uno dei quali prosegue verso Lova formando il dosso di Boion, corrispondente ad un corso d'acqua attivo nel I millennio a.C. che collegava questo settore di pianura con l'entroterra patavino.

Il ramo occidentale della diramazione di Saonara prosegue prima verso sud, in direzione di Brugine, e poi devia verso est per Arzergrande, dando luogo al dosso omonimo, le cui fasi iniziali di formazione sono comprese tra il 968-544 a.C.; evidenze archeologiche attestano la presenza di un fiume di grandi dimensioni, presumibilmente il Brenta, in corrispondenza di questo dosso in epoca romana imperiale (I-II secolo d.C.) (FURLANETTO in BONDESAN & MENEGHEL, 2004).

PIRAZZOLI *et alii* (1981) indicano lo sfociare di un corso d'acqua in laguna nella zona situata tra Torson ed il margine lagunare in un intervallo di tempo compreso tra 89-531 d.C. e 688-1025 d.C. Questo suggerisce l'esistenza di periodi di attività del dosso di Stra in epoca romana-tardoromana ed alto-medievale; le acque del Brenta si potevano riversare in laguna attraverso le diramazioni costituenti il dosso di Lugo ed il dosso delle Giare.

Il tratto finale del dosso di Stra tra Mira e Oriago e la sua prosecuzione per Fusina (dosso di Malcontenta) sembrano essersi originati solo in epoca medievale, successivamente alla deviazione del Brenta avvenuta nel 1143.

2.2. - LA LAGUNA MERIDIONALE ED IL LITORALE

I primi dati riguardanti la formazione del settore meridionale della Laguna

di Venezia sono riassunti nel lavoro di FAVERO & SERANDREI BARBERO (1980). La formazione del bacino lagunare sarebbe avvenuta in seguito all'ingressione marina, iniziata alla fine dell'ultimo periodo glaciale, che raggiunse l'acme verso la metà del periodo Atlantico, circa 6.000 anni B.P.. Le tracce della linea di massima ingressione olocenica (Fig. 16) non sono visibili in superficie, ma sono date dalla presenza di sabbie di ambiente marino-litorale situate attualmente a circa 7 m di profondità (FAVERO & SERANDREI BARBERO, 1978). Nelle aree retrostanti la linea di massima ingressione si sono formate paludi e torbiere per il susseguirsi di episodi di inondazione e di ristagno delle acque dolci, a causa della maggiore difficoltà di drenaggio che si stava instaurando; FAVERO & SERANDREI BARBERO (1980) ritengono che questi sedimenti palustri siano stati depositi in un intervallo di tempo compreso tra 6.000 e 5.000 anni dal presente.

Dopo la massima ingressione marina, a partire dall'Atlantico superiore, è iniziata una fase di arretramento del mare: circa 5.000 anni fa, in un intervallo di tempo relativamente breve, la linea di costa si è portata fino all'allineamento Motte Cucco - Peta de Bo - Val Grande. La migrazione della linea di costa è stata probabilmente favorita dall'apporto di sedimenti da parte del Brenta nel settore meridionale della laguna e, più a sud, da parte dell'Adige e del Po.

Il Lido di Sottomarina, che costituisce l'ultimo tratto verso sud del litorale della Laguna di Venezia, si è formato negli ultimi 500 anni. A seguito della diversione del Brenta, che nel 1540 fu portato a sfociare a Brondolo unitamente al Bacchiglione, ebbe luogo un notevole accrescimento del litorale fino alla posizione attuale, causato dalla deposizione delle alluvioni dei due fiumi a cui si unirono anche gli apporti dell'Adige.

Nella parte interna del bacino lagunare le appendici sabbiose emerse comprese tra il Canale Lombardo e il Lago Lusenzo a sud di Chioggia sono state interpretate da FAVERO in BASSAN *et alii* (1994), per la loro direzione di sviluppo e per la tessitura dei sedimenti superficiali, come l'ala sinistra di un apparato deltizio che trova la sua continuità in quei cordoni dunosi localizzati ad est del Canale delle Bebbe, interpretati a loro volta come l'ala destra di un apparato deltizio del Po (FAVERO & SERANDREI BARBERO, 1980).

La relazione tra le principali direttrici di deflusso a sud del Bacchiglione e gli apparati costieri è riportata in Fig. 17.



Fig. 16 - Le variazioni della linea di costa nel settore meridionale della Laguna di Venezia (da BONDASAN & MENEGHEL, 2004). Legenda - Linea A: limite della massima ingressione olocenica, tratto da FAVERO & SERANDREI BARBERO (1980); linea B: linea di costa San Pietro di Cavarzere - Motte Cucco - Motta Palazzetto - Peta de Bo; linea C: linea di costa Cavanella d'Adige - Sant'Anna - Chioggia; linea D: linea di costa attuale; 1) e 2): margine interno lagunare e linea di costa desunti da cartografia storica, secolo XVI (1) e secolo XVIII (2); 3) limite della spiaggia intertidale desunto da cartografia storica (anno 1763); 4) cordone litoraneo e complesso dunoso fossile spianato o rilevato; cordone litoraneo antico desunto da: 5) cartografia storica, 6) immagini satellitari, 7) rilevamento (E. Canal); "a" e "b": antichi apparati delti.

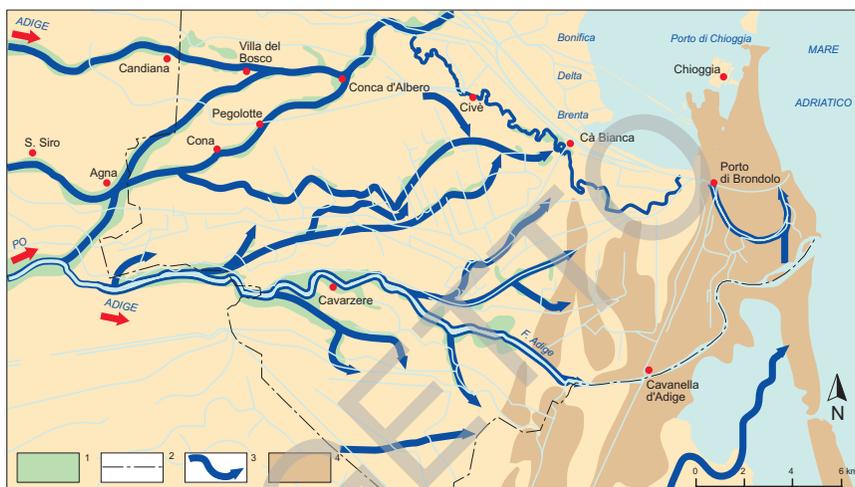


Fig. 17 - Le principali direttrici di deflusso a sud del Bacchiglione. Legenda: 1) dossi di Adige e Po; 2) limite provinciale; 3) principali direttrici di deflusso; 4) antiche linee di costa e sistemi di apparati deltizi (da BONDESAN & MENEGHEL, 2004).

PROGETTO
CARG

III - IL METODO INTEGRATO DI RILEVAMENTO ED ANALISI

Il rilevamento geologico del territorio esaminato è stato effettuato mediante l'applicazione di diverse metodologie di indagine: studi condotti direttamente in sito sono stati accompagnati da analisi di laboratorio (micropaleontologiche, mineralogiche, geochimiche e radiocronologiche) e dal telerilevamento.

In sito sono state condotte osservazioni dirette sul terreno e prelevati campioni di sedimento mediante l'utilizzo di metodiche a volte complesse. In particolare, nelle aree lagunari sommerse, spesso caratterizzate da bassi fondali, ci si è avvalsi di tecniche di carotaggio manuale appositamente concepite per sedimenti aventi varia consistenza e tessitura e di una metodologia di indagine sismica ad altissima risoluzione.

Le Sezioni della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 sono state utilizzate come basi topografiche di rilevamento.

La distribuzione dei siti di indagine è stata scelta in funzione delle diverse caratteristiche delle unità da cartografare: trattandosi di un ambiente di transizione particolarmente eterogeneo, si è reso necessario eseguire i rilievi in punti disposti secondo una griglia costituita da maglie fitte e talora irregolari.

In generale, nel corso dei campionamenti sono stati seguiti i seguenti criteri: a) utilizzo di metodologie di prelievo semplici, abbastanza speditive e non distruttive, b) uso di strumentazioni recenti, dotate di un buon livello di automazione, tale da fornire in breve tempo dati analitici affidabili, c) possibilità di duplicare le analisi sullo stesso campione, ed in condizioni strumentali simili, al fine di poter confermare i risultati precedentemente ottenuti e di integrarli, se necessario, con altri nuovi.

Lo studio del territorio è iniziato con la raccolta, la revisione e l'omogeneiz-

zazione di tutti i dati e le informazioni dedotte da studi pregressi; in seguito, attraverso l'osservazione delle fotografie aeree, l'esame della cartografia storica e del microrilievo ed il rilevamento diretto sul terreno, sono stati individuati i principali lineamenti geomorfologici.

Durante la realizzazione dei prodotti cartografici una delle fasi fondamentali è stata quella di individuare il deposito rappresentativo di ciascuna unità da mappare, ovvero il livello di sedimenti affioranti o subaffioranti in terraferma o in ambiente marino-lagunare che, nel contesto di una lettura cartografica, fosse in grado non solo di fornire un quadro interpretativo dell'assetto geologico del territorio, ma anche di aiutare a comprendere l'evoluzione degli ambienti deposizionali. A tal fine è stato dunque scelto, di volta in volta, il livello di adeguato spessore, presente ad una profondità non superiore a 1,5 m dal piano campagna, che in base alle proprie caratteristiche meglio potesse rappresentare l'età, l'ambiente di deposizione e la tessitura dei sedimenti costituenti. Poiché in terraferma i primi 40-50 cm di sottosuolo in genere costituiscono l'orizzonte di suolo lavorato, caratterizzato da mescolanza di tessiture o da riporti, nel corso della classificazione delle unità deposizionali è stato valutato, caso per caso, se fosse opportuno considerare anche questo strato superficiale.

1. - I CAMPIONAMENTI

Nonostante siano state raccolte ed informatizzate (Cap. III-7) migliaia di dati relativi ai depositi superficiali e sepolti, disponibili in pubblicazioni e ricerche pregresse, si è resa indispensabile l'esecuzione di nuovi campionamenti ed analisi.

Infatti la maggior parte delle informazioni raccolte è di tipo litologico e geotecnico e spesso manca di informazioni inerenti l'eventuale presenza dei principali indicatori ambientali, quali ad esempio le conchiglie e/o le strutture sedimentarie; per tali motivi, quindi, i dati disponibili non consentivano un'interpretazione dei paleoambienti e delle unità da cartografare, requisito di base per questo lavoro.

I numerosi campioni di sedimento sottoposti ad analisi per la realizzazione della Carta Geologica possono essere classificati in due gruppi.

Il *gruppo A* comprende i campioni ottenuti da carotaggi messi a disposizione dal Magistrato alle Acque di Venezia, dall'Istituto di Scienze Marine (ex ISDGM Venezia) del CNR e dal Progetto ISES, aventi in comune con il CARG la necessità di caratterizzare il sottosuolo. L'ubicazione di tali carotaggi è riportata in Fig. 18.

Al *gruppo B* appartengono invece i campioni derivanti dalle campagne di rilevamento CARG, programmate in funzione della qualità delle informazioni ricavate dalla banca dati e condotte sull'intero territorio nel periodo 2002-2004. Questi campioni sono stati raccolti nel corso di carotaggi più o meno profondi,

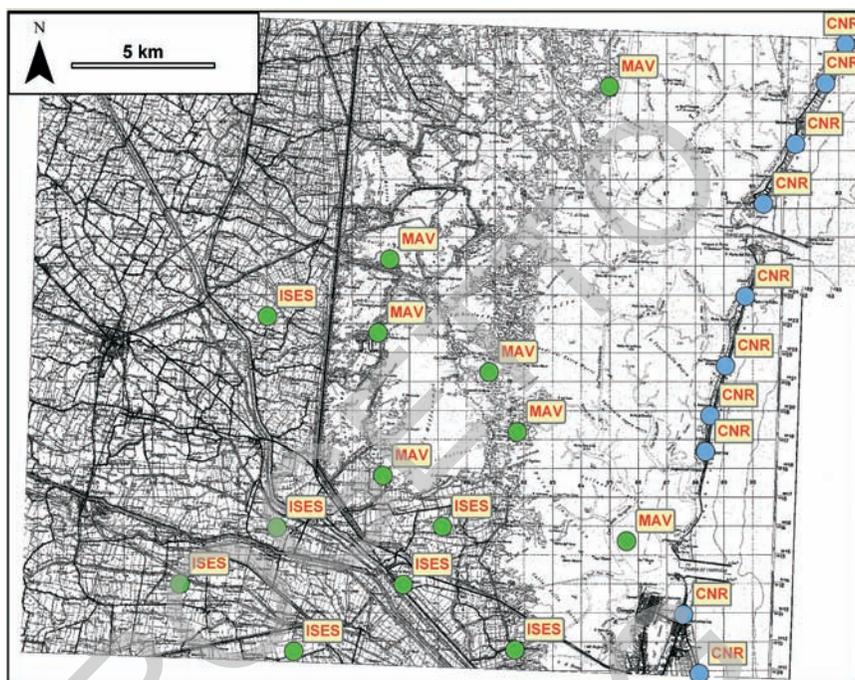


Fig. 18 - Ubicazione dei carotaggi dai quali sono stati prelevati i campioni del gruppo A. ISES: Progetto "Intrusione Salina e Subsidenza"; MAV: Magistrato alle Acque di Venezia; CNR: Istituto di Scienze Marine (ex ISDGM) di Venezia.

trivellate e bennate. In particolare, per poter acquisire nuovi dati stratigrafici e campioni di sottosuolo da sottoporre ad analisi di laboratorio e calibrare le nuove indagini geofisiche e le informazioni dedotte da sondaggi esistenti, sono state effettuate campagne di sondaggi a carotaggio continuo. Nel marzo/aprile 2002 è stata eseguita la perforazione di un primo carotaggio in località Valle Averno del Comune di Campagna Lupia (VE), profondo 94,5 metri, con i mezzi ed il personale del Servizio Forestale Regionale di Belluno della Direzione Foreste ed Economia Montana. Il sondaggio è stato completato con un tubo piezometrico per poter effettuare le misure di falda. Nel luglio-agosto 2004 è stata effettuata la seconda campagna di carotaggi a profondità comprese fra 20 e 30 m, sia a terra che, con l'ausilio del pontone, in laguna, al fine di affinare la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.

Nelle terre emerse i sedimenti sono stati estratti anche mediante trivellate manuali, mentre nelle zone lagunari e marine attraverso sondaggi superficiali e bennate. In particolare, per il prelievo di sedimenti nei bassifondi lagunari è stato creato un carotiere con teste differenti in funzione delle litologie da campionare, da utiliz-

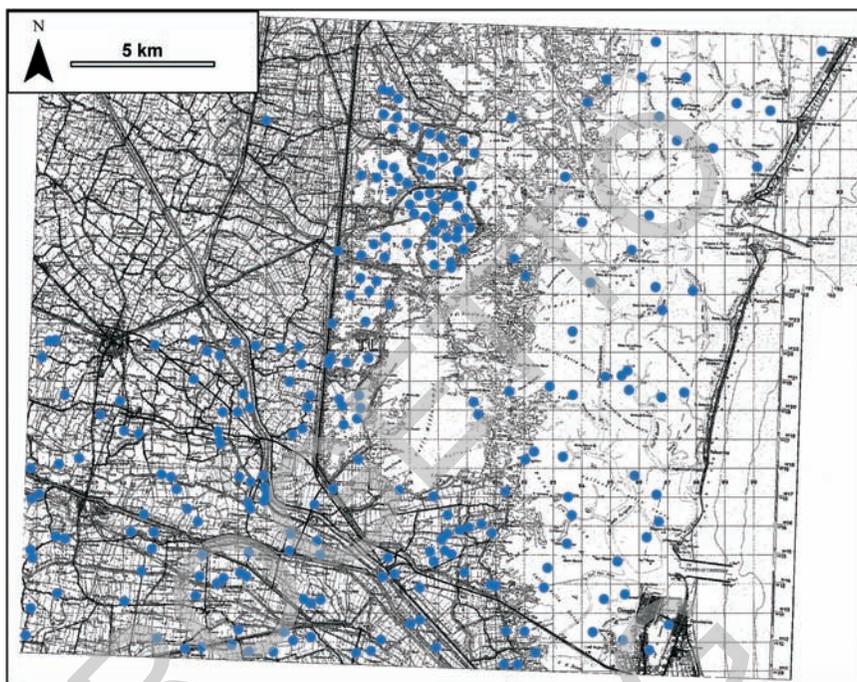


Fig. 19 - Ubicazione dei nuovi campionamenti CARG (gruppo B: corotaggi, trivellate, bennate).

zare direttamente da imbarcazione per l'estrazione manuale di carote lunghe 1-1,5 m. In Fig. 19 è riportata la mappa con l'ubicazione dei nuovi campionamenti.

2. - INDAGINI GEOMORFOLOGICHE

Un valido supporto alla realizzazione della Carta Geologica è stato fornito dalle indagini geomorfologiche condotte sul territorio; esse hanno contribuito ad identificare i diversi tipi di ambiente deposizionale, a distinguere le varie *facies* ed a ricostruire l'evoluzione tardo-pleistocenica ed olocenica dell'area esaminata.

Lo studio, iniziato con la raccolta e l'interpretazione delle informazioni disponibili dedotte da fonti bibliografiche e dalla cartografia storica e recente, è stato svolto principalmente mediante l'osservazione di fotografie aeree, l'analisi altimetrica, il rilevamento diretto sul terreno e le indagini sedimentologiche.

Per quanto riguarda la fotointerpretazione, sono state osservate numerose immagini a diversa scala, sia a colori che in bianco e nero, tratte da strisciate scattate a partire dal 1955 fino al 1999. Esse sono state fornite da vari Enti, in particolare dalla Regione del Veneto, dalla Provincia di Venezia (Settore Protezione

Civile e Difesa del Suolo, Servizio Geologico), dalla Provincia di Padova (Settore Ambiente) e dall'Istituto di Scienze Marine del CNR di Venezia.

L'analisi e l'elaborazione dei dati altimetrici di terraferma e di quelli batimetrici dei fondali lagunari e dell'Alto Adriatico hanno fornito indicazioni utili per poter meglio definire le caratteristiche morfologiche del territorio; per evitare gravi errori di interpretazione non sono state considerate le quote presenti in corrispondenza di manufatti e di aree in cui gli effetti degli interventi antropici erano evidenti. Limitatamente alle terre emerse è stata consultata anche la Carta Altimetrica fornita dalla Provincia di Venezia, nella quale le isoipse sono state tracciate con equidistanza pari a 0,5 m. Nelle zone sommerse, invece, un valido contributo all'individuazione dei lineamenti geomorfologici subaffioranti o sepolti è stato fornito dai risultati ottenuti mediante l'esecuzione di indagini sismiche ad alta risoluzione (Cap. III-6.1).

In seguito tutti gli elementi individuati nel corso delle precedenti fasi della ricerca sono stati confermati e definiti con maggiore dettaglio mediante il rilevamento diretto sul terreno e lo studio sedimentologico e stratigrafico dei depositi superficiali.

I lineamenti sono stati inizialmente cartografati alla scala 1:10.000; successivamente, sulle carte geologiche alla scala 1:25.000 e 1:50.000 sono stati invece riportati solo quelli più evidenti ed utili per poter distinguere le varie *facies*, attribuire ciascuna delle unità geomorfologiche riconosciute al relativo sistema deposizionale di appartenenza e definire l'evoluzione geologica del territorio. Pertanto si è ritenuto opportuno indicare i dossi fluviali, le tracce dei corsi d'acqua estinti, dei paleocanali lagunari e degli antichi cordoni litoranei e la posizione delle antiche bocche lagunari. Altri elementi sono stati volontariamente omessi per evitare di ottenere un prodotto cartografico finale di difficile interpretazione.

La genesi delle varie forme è stata indicata colorando con tinte diverse i simboli che le rappresentano.

3. - INDAGINI PALEONTOLOGICHE

Nell'area interessata dal Foglio "Chioggia-Malamocco" sono state eseguite le analisi micropaleontologiche di 85 carote superficiali, 8 trivellate, 9 bennate e 17 sondaggi spinti a profondità compresa tra 5 e 100 metri, distribuiti sia nelle aree a terra che nella porzione di foglio interessata da aree lagunari. L'ubicazione dei siti di indagine è riportata in Fig. 20.

La determinazione dei paleoambienti è stata ottenuta attraverso l'analisi di 385 campioni, dai quali è stato prelevato un volume fisso di sedimento pari a 20 cm³, che è stato pesato, lavato su un setaccio avente apertura netta pari a 0,063 mm, asciugato in stufa a 50°C, ripesato per la quantificazione della frazione limosa ed argillosa dispersa dal lavaggio e quindi esaminato al microscopio. La

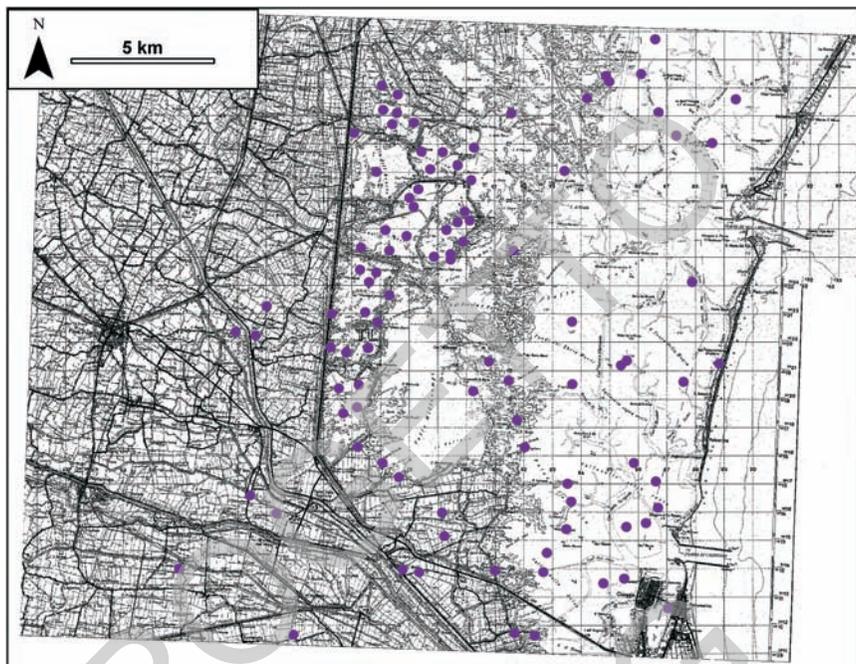


Fig. 20 - *Mapa dell'ubicazione dei siti di prelievo dei campioni sottoposti alle indagini micropaleontologiche.*

frazione maggiore di 0,5 mm è stata in genere utilizzata per la definizione dei paleoambienti continentali, caratterizzati dalla presenza di gusci di gasteropodi dulcicoli, di opercoli, di aggregati ferruginosi e di concrezioni carbonatiche indicative di pedogenesi. La frazione minore di 0,5 mm è stata invece usata per l'analisi quantitativa della fauna a foraminiferi bentonici, indicativa degli ambienti subtidali o intertidali attuali e dei paleoambienti marini o lagunari.

4. - INDAGINI CRONOSTRATIGRAFICHE

La cronostratigrafia dei depositi tardo-pleistocenici ed olocenici è stata effettuata avvalendosi principalmente del metodo radiometrico ^{14}C tradizionale o AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*), in funzione della quantità di materiale organico disponibile.

Inizialmente è stata eseguita una raccolta di dati editi (BONATTI, 1968; MARCELLO & SPADA, 1968; FONTES & BORTOLAMI, 1973; PIRAZZOLI *et alii*, 1981; BORTOLAMI *et alii*, 1984; MOZZI *et alii*, 2003) ed inediti, che ha portato all'acquisizione di circa 80 analisi radiometriche.

Ove non disponibile la datazione calibrata, è stato utilizzato il programma CALIB REV 4.4.2 (TALMA & VOGEL, 1993; STUIVER & VAN DER PLICHT, 1998; STUIVER *et alii*, 1998). Il programma permette la conversione delle radiodazioni ^{14}C in anni, attraverso il calcolo della distribuzione di probabilità della vera età dei campioni. Per effettuare la conversione è stata usata la curva di calibrazione Intcal98 ^{14}C , che limita la calibrazione tra 0 e 20.265 anni B.P.. Questa curva è raccomandata per la maggior parte dei campioni non marini. Essa si basa sulla media decennale delle misure di ^{14}C di anelli di alberi, di scanalature spianate di coralli marini e di varve, con una correzione di riserva di 500 anni per i dati marini più vecchi di 10.000 anni cal B.P..

Successivamente, per il Progetto CARG sono state eseguite 49 datazioni con

Tab. 1 - Radiodazioni effettuate nell'ambito del progetto CARG.

Campione	Profondità (metri dal p.c.)	Età ^{14}C (anni B.P.)		Metodo	Materiale datato
		Convenzionale	Calibrata		
42 *	-0.59	1760±40	da 1370 a 1250	AMS	Conchiglie
73	-0.45	1160±40	da 770 a 640	AMS	Conchiglie
76	-0.48	1010±40	da 650 a 520	AMS	Conchiglie
95	-0.48	1300±40	da 920 a 750	AMS	Conchiglie
96	-0.70	1630±40	da 1600 a 1420	AMS	Torba
98	-0.55	1610±60	da 1620 a 1360	Radiometrica	Torba
99	-0.56	790±50	da 780 a 660	Radiometrica	Torba
172	-1	2740±50	da 2940 a 2760	Radiometrica	Sedimento organico
253	-0.90	2470±70	da 2750 a 2340	Radiometrica	Sedimento organico
206	-0.90	1040±60	da 1060 a 880 - da 860 a 800	Radiometrica	Torba
206	-1.30	2010±70	da 2140 a 1820	Radiometrica	Torba
303	-1.10	2490±60	da 2750 a 2350	Radiometrica	Torba
312	-0.60	2360±40	da 2460 a 2330	Radiometrica	Torba
320	-1.30	920±60	da 950 a 700	Radiometrica	Sedimento organico
323	-1.10	1230±40	da 880 a 680	AMS	Conchiglie
328	-0.70	840±60	da 920 a 670	Radiometrica	Sedimento organico
341	-1.10	1580±60	da 1580 a 1330	Radiometrica	Torba
PR6	-0.58	1760±60	da 1830 a 1540	Radiometrica	Sedimento organico
S6	-0.80	1660±50	da 1700 a 1420	Radiometrica	Torba
VA6	-0.82	2240±60	da 2350 a 2120	Radiometrica	Torba
Barena D	-0.70	1150±60	da 1230 a 1210 - da 1190 a 940	Radiometrica	Torba
ISES B	-2.20	2740±60	da 2960 a 2750	Radiometrica	Torba
ISES B	-4.30	4000±70	da 4800 a 4770 - da 4630 a 4260	Radiometrica	Torba
ISES 7	-1.90	3740±40	da 4230 a 3980	AMS	Conchiglie
ISES 7	-2.90	5040±40	da 5900 a 5660	AMS	Conchiglie
ISES 7	-11.70	16320±50	da 19580 a 19340	AMS	Conchiglie
ISES 7	-13.08	20860±160		Radiometrica	Torba
ISES 26	-3.30	2580±50	da 2770 a 2710 - da 2630 a 2500	Radiometrica	Torba
ISES 33	-4.48	1040±40	da 660 a 540	AMS	Conchiglie
ISES 33	-6.85	3980±40	da 4530 a 4380	AMS	Conchiglie
ISES 33	-9.50	4820±40	da 5260 a 4970	AMS	Conchiglie
ISES 33	-10.80	4760±40	da 5130 a 4860	AMS	Conchiglie
ISES 33	-17.65	7190±40	da 8040 a 7940	AMS	Conchiglie
ISES 68	-2.05	1860±40	da 1880 a 1710	AMS	Conchiglie
ISES 68	-8.55	4370±40	da 5040 a 4850	AMS	Frammenti vegetali
ISES 68	-12.43	8710±70	da 9820 a 9540	Radiometrica	Sedimento organico
ISES 68	-17.15	18410±60	da 22350 a 21400	AMS	Conchiglie
CARG 11	-1.40	730±60	da 750 a 630 - da 600 a 560	Radiometrica	Sedimento organico
CARG 11	-2.30	1730±70	da 1820 a 1510	Radiometrica	Torba
CARG 11	-7.90	4580±70	da 5470 a 5040	Radiometrica	Legno
CARG 11	-14.45	21520±80		AMS	Conchiglie
CARG 11	-27.35	26990±180		Radiometrica	Torba
1 L	-0.80	2170±70	da 2340 a 1990	Radiometrica	Torba
1 L	-19.40	19930±170		Radiometrica	Torba
1 L	-23.70	23130±160		Radiometrica	Torba
3 L	-13.90	19380±130	da 23670 a 22340	Radiometrica	Torba
Lito 1	-22.85	17860±80	da 21160 a 20160	AMS	Conchiglie
Lito 5	-16.25	15730±100	da 19310 a 18280	AMS	Frammenti vegetali
Lito 5	-17.20	20860±100		AMS	Conchiglie

metodo ^{14}C , di cui 28 convenzionali e 21 AMS, calcolando anche il rapporto $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ e l'età calibrata (Tab. 1).

Le informazioni dedotte dagli studi geoarcheologici compiuti sul territorio hanno offerto un utile contributo per la distinzione delle unità oloceniche pre- e post-romane. Anche in questo caso le età sono state determinate mediante radiodatazione di materiale organico presente nei sedimenti o, in alcuni casi, di pali di fondazione.

Inoltre, per la cronologia relativa delle unità tardo-pleistoceniche ed oloceniche sono stati considerati i rapporti stratigrafici tra i corpi sedimentari affioranti e sepolti e la reciproca disposizione degli elementi geomorfologici antichi riconosciuti nell'area, in particolare i percorsi fluviali estinti, gli antichi canali lagunari e le paleolinee di costa.

Per la cronostratigrafia dei depositi tirreniani non è stato possibile utilizzare il metodo del radiocarbonio, poiché l'età di questi sedimenti ne supera il limite di applicazione. La loro datazione è stata effettuata pertanto attraverso lo studio paleontologico e biomagnetostratigrafico del sondaggio *Venezia I - CNR* (MÜLLENDERS *et alii*, 1996; KENT *et alii*, 2002).

5. - INDAGINI MINERALOGICHE

Le indagini mineralogiche, geochimiche, petrografiche e tessiturali dei sedimenti del comprensorio veneziano sono complementari a quelle paleontologiche e geomorfologiche per lo studio paleoevolutivo e l'interpretazione dei processi genetici e diagenetici avvenuti nei diversi ambienti deposizionali.

Le informazioni di carattere mineralogico dedotte da studi precedenti sono prevalentemente concentrate in laguna e di conseguenza, per estendere le indagini al bacino scolante, si è reso necessario eseguire nuove analisi.

L'esperienza maturata nel corso degli studi effettuati nel comprensorio lagunare ha suggerito di dare maggiore importanza alla caratterizzazione mineralogica rispetto a quelle geochimica e petrografica. Le indagini geochimiche e petrografiche sono state impiegate solo per una caratterizzazione generale, in quanto le prime sono particolarmente influenzate dagli apporti di inquinanti di origine antropica, mentre le seconde sono poco speditive e forniscono prevalentemente informazioni qualitative.

Per l'analisi mineralogica dei campioni sabbiosi è stata usata una microsonda elettronica (*Electron Microprobe*) dotata di uno spettrometro a dispersione di energia (*Energy Dispersion Spectrometer*) (EMP-EDS) che ha permesso rapidità, qualità e ripetibilità analitica, nonché la conservazione del campione. I minerali determinati sono stati dolomite, ankerite, calcite, aragonite, quarzo, albite, ortoclasio, clinocloro, muscovite, biotite, enstatite, hastingsite, laumontite, titanomagne-

tite, gesso, vermiculite e bassanite. Sui minerali di dubbia identificazione è stata eseguita l'analisi geochimica per effettuare il riconoscimento.

In Fig. 21 è riportata l'ubicazione dei siti presso i quali sono disponibili i dati mineralogici dei sedimenti sabbiosi; essi sono stati distinti in dati CARG e dati progressi, questi ultimi tratti da VENZO & STEFANINI (1967), GAZZI *et alii* (1973), BARILLARI & ROSSO (1975), BARILLARI (1978; 1981), DONAZZOLO *et alii* (1984), PERIN *et alii* (1997) e MAGISTRATO ALLE ACQUE & CONSORZIO VENEZIA NUOVA (1999).

Hanno fornito utili indicazioni anche i lavori di ALBANI *et alii* (1989; 1995), RICKWOOD *et alii* (1992), ALBANI & SERANDREI BARBERO (2001) e RAVAIOLI (2003). La determinazione semi-quantitativa della composizione mineralogica dei sedimenti argillosi è stata ottenuta mediante un diffrattometro a raggi X (XRD) ed un apposito *software*. Le analisi sono state eseguite sul campione totale e, in alcuni casi, anche sulla sola frazione argillosa ($\varnothing < 2 \mu\text{m}$), opportunamente separata per centrifugazione e montata su sezioni sottili. I minerali più frequenti individuati sono stati clorite, illite/mica, smectite, quarzo, plagioclasio, K-feldspato, calcite, dolomite, caolinite e minerali argillosi a strati misti.

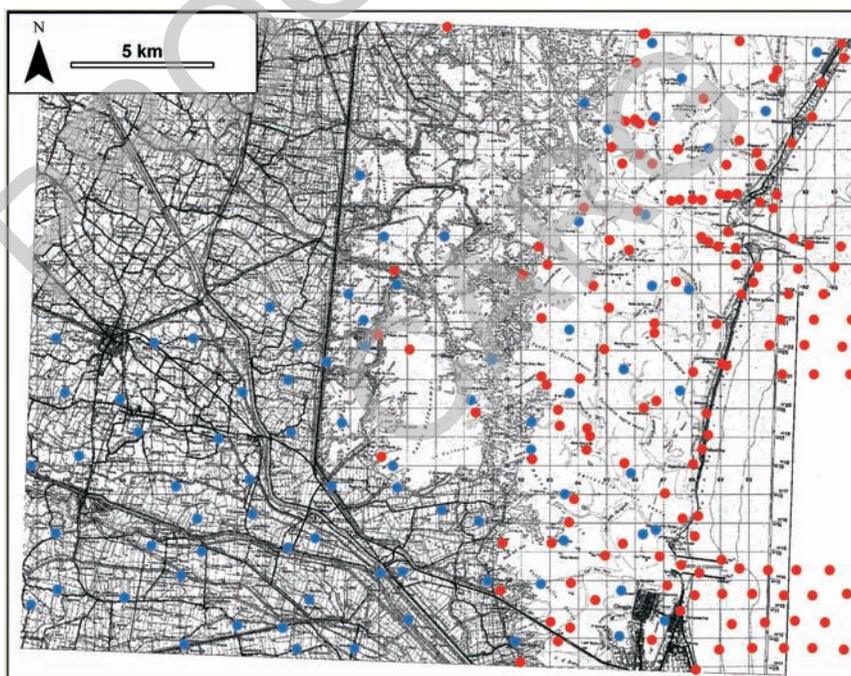


Fig. 21 - Ubicazione dei siti di cui si dispone di dati mineralogici relativi alla frazione sabbiosa. Dati progressi: cerchi rossi; dati CARG: cerchi azzurri.

Infine, per la determinazione dei bacini di provenienza ci si è basati principalmente sui lavori di JOBSTRAIBIZER & MALESANI (1973) e di GAZZI *et alii* (1973), nonché sulle analisi di alcuni campioni prelevati nell'alveo dei fiumi Brenta e Bacchiglione a qualche chilometro dalle foci. Le percentuali medie di riferimento dei principali minerali presenti nelle sabbie di Piave, Brenta e Bacchiglione sono riportate in Fig. 22 e Fig. 23.

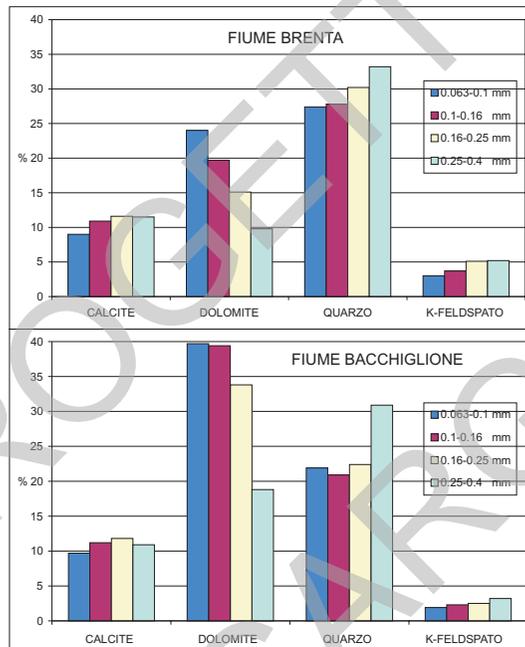


Fig. 22 - Percentuali medie dei minerali maggiori nei sedimenti dei fiumi Brenta e Bacchiglione (dati in JOBSTRAIBIZER & MALESANI, 1973).

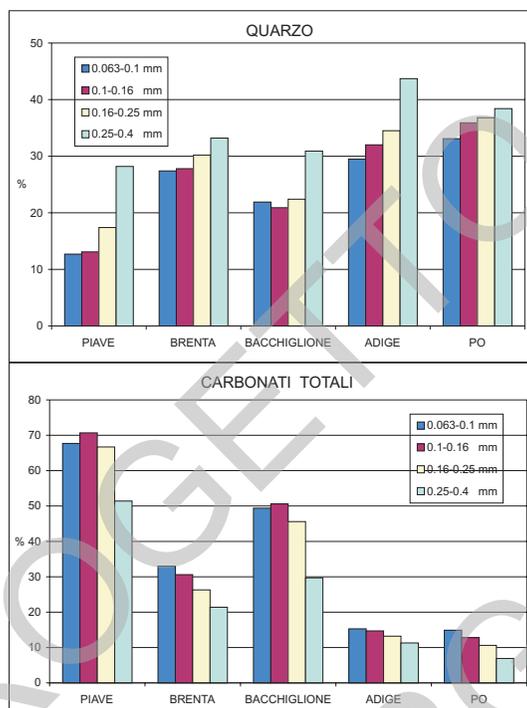


Fig. 23 - Percentuali medie di quarzo e carbonati totali (calcite, aragonite, dolomite, ankerite) nei principali fiumi che interessano l'area veneziana (dati in JOBSTRAIBIZER & MALESANI, 1973).

6. - RILIEVI GEOFISICI

Gran parte dell'area in esame è caratterizzata dalla presenza degli ambienti lagunare e marino poco profondo e pertanto da situazioni che richiedono ingenti risorse per la terebrazione di sondaggi meccanici, i quali, data l'eterogeneità dei depositi, dovrebbero essere relativamente numerosi. Il rilievo sismico in acqua è sicuramente uno strumento che fornisce, con costi contenuti, un valido supporto per poter estendere arealmente le principali informazioni sedimentologiche e stratigrafiche fornite dalle indagini compiute sui carotaggi.

Per quanto riguarda le aree emerse, è stato eseguito un carotaggio *gamma ray log* che, integrato con altri tre effettuati in passato, ha contribuito all'interpretazione stratigrafica del sottosuolo.

6.1. - SISMICA AD ALTISSIMA RISOLUZIONE

(G. Brancolini, L. Baradello, F. Donda, F. Fanzutti, D. Nieto, J. Centonze)

Per permettere l'identificazione dei depositi tardo-pleistocenici ed olocenici dell'area in esame, si è reso necessario mettere a punto una metodologia in grado di soddisfare due requisiti fondamentali: la risoluzione verticale dell'ordine decimetrico e la necessità di indagare anche in fondali molto bassi, fino a 3-4 m.

L'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste, congiuntamente all'Istituto di Scienze Marine (ISMAR) di Venezia, nel periodo 2001-2003 ha perfezionato ed applicato un metodo di acquisizione sismica ad altissima risoluzione, adatto allo scopo, nella Laguna di Venezia e nella zona litorale antistante (Fig. 24).

I rilievi sono stati effettuati sia nell'area lagunare che in quella marina antistante. I principali obiettivi sono stati: la caratterizzazione lito-stratigrafica delle *facies* sismiche e la loro corrispondenza con livelli stratigrafici calibrati su sondaggi esistenti, mediante la restituzione su sezioni sismiche; la realizzazione di sezioni sismiche interpretate, alla scala 1:10.000, e di sintesi, alla scala 1:25.000 e 1:50.000, nelle quali si è dato particolare risalto al passaggio tra la deposizione pleistocenica continentale e quella olocenica marino-lagunare, indicando la presenza delle principali strutture sepolte (paleoalvei, cordoni, dislocazioni); la mappatura delle isobate del passaggio tra la deposizione pleistocenica continentale e quella olocenica marino-lagunare, alle scale 1:25.000 e 1:50.000.

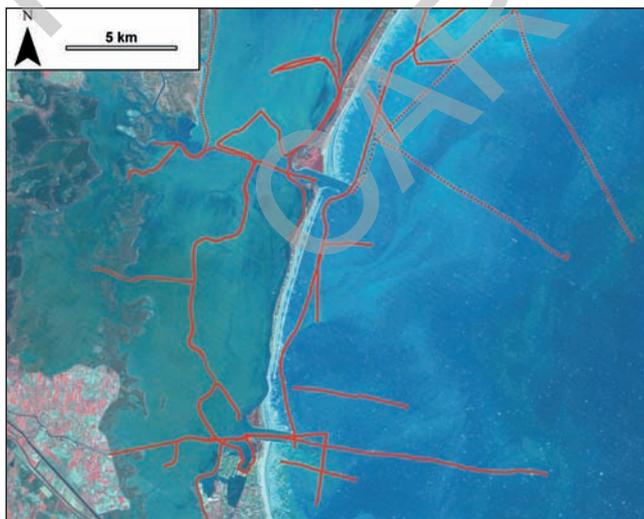


Fig. 24 - Mappa delle linee sismiche ad alta risoluzione CARG (immagine ASTER sullo sfondo).

6.1.1. - *Strumentazione e metodologia*

Per l'acquisizione sono stati utilizzati i mezzi nautici "Litus" ed "Henetus" del CNR - ISMAR di Venezia.

Il rilievo sismico è stato eseguito a traccia singola (monocanale), con sistema di energizzazione composto da un'unità di potenza con uscita 150-450 Joule/shot a 4kV e da un trasduttore elettrodinamico (piastra) montato su catamarano ed immerso in acqua a profondità di 50 cm. La sorgente offre una ottima ripetibilità e stabilità di impulso, in un *range* di frequenza compreso tra 300 e 2.400 Hz; in condizioni favorevoli queste caratteristiche hanno portato ad una risoluzione degli strati decimetrica.

Per quanto riguarda il ricevitore si è utilizzato uno *streamer* a traccia singola fissato a traino alla barca e composto da 8 idrofoni preamplificati connessi in serie, per un totale di sezione attiva di 320 cm.

I dati sono stati acquisiti da una unità DELPH II, in formato SEG Y a 16 bit, e visualizzati a *monitor* in tempo reale per permettere l'immediato controllo di qualità del segnale. Per il posizionamento delle linee sismiche si è utilizzato un sistema DGPS (*Differential Global Positioning System*), con stazione *master* installata a Chioggia o a Venezia. Durante le campagne sismiche CARG relative ai rilievi per il Foglio "Chioggia-Malamocco" sono stati acquisiti profili per oltre 150 Km.

Per estendere e completare la ricostruzione della geometria dei depositi olocenici nel settore marino esterno al foglio sono stati utilizzati anche alcuni profili acquisiti nell'ambito di altre ricerche CNR-ISMAR.

6.1.2. - *Elaborazioni*

La sequenza di elaborazione applicata è stata la seguente: bilanciamento del segnale, deconvoluzione, filtraggio passa banda (Tab. 2), ricampionamento dei dati, somma di due tracce adiacenti, ulteriore bilanciamento, *mix* di 6 tracce contigue, *mute*, produzione del *file* grafico per la stampa.

Per la conversione dei tempi in profondità, in mancanza di specifiche misure di velocità in pozzo, è stata utilizzata la velocità media di 1.550 m/s, molto simile alla velocità dell'acqua. Si tratta di una stima attendibile in quanto i sedimenti olocenici sono costituiti in generale da materiale abbastanza fine, non consolidato e saturo di acqua. La velocità sopra indicata permette infatti una conversione sufficientemente corretta tempi/profondità in corrispondenza dei sondaggi noti.

Tab. 2 - *Filtro passa banda variabile nel tempo utilizzato per attenuare il disturbo.*

	F1	F2	F3	F4
0 ms	400 Hz	800 Hz	2400 Hz	4800 Hz
80 ms	200 Hz	400 Hz	1200 Hz	2400 Hz

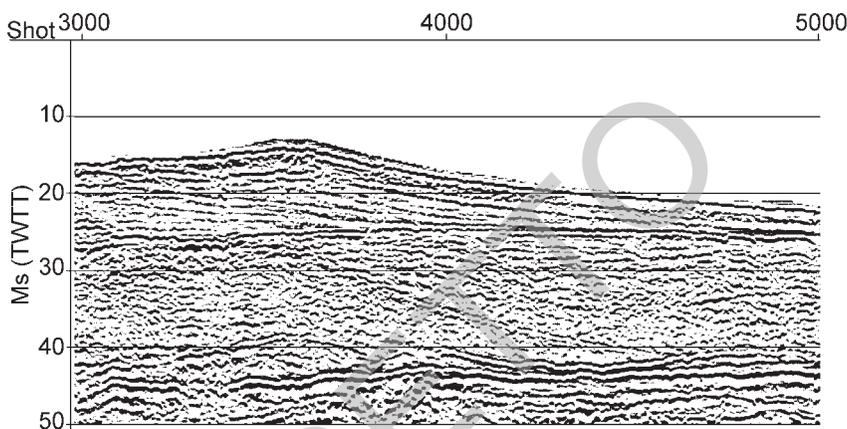


Fig. 25 - Esempio di profilo sismico elaborato.

In Fig. 25 è riportato un esempio di profilo sismico elaborato.

Gran parte delle linee acquisite in laguna è ubicata lungo i canali attuali, dove è stato possibile navigare con il dispositivo sismico al traino. Nei casi in cui il tracciato dei canali si è impostato seguendo la morfologia pleistocenica preesistente, la profondità del limite Olocene-Pleistocene può risultare leggermente superiore rispetto alle aree di argine circostanti.

6.2 - CAROTAGGI RADIOATTIVI

I carotaggi radioattivi, comunemente chiamati “*gamma ray log*”, si basano sulla misura in pozzo della radioattività naturale delle rocce e trovano applicazione per scopi litostratigrafici e sedimentologici. Nelle formazioni sedimentarie queste misure forniscono informazioni sul contenuto argilloso presente nei depositi che, per caratteristiche isotopiche, normalmente tende a dare una radioattività più alta rispetto ai sedimenti sabbiosi.

Per la correlazione a distanza dei principali orizzonti sabbiosi ed argillosi lo studio idrogeologico del sottosuolo veneziano effettuato negli anni ‘70, che ha portato alla prima ricostruzione di dettaglio del sistema acquifero profondo, si è avvalso dei carotaggi radioattivi realizzati in alcuni pozzi terebrati a Marghera, Venezia centro storico e Lido, in particolare nel *Marghera 1*, nel *Venezia 1 - CNR*, nel *Venezia Ibis - CNR*, nel *Venezia 2 - CNR* e nel *Lido 1* (ROCCABIANCA in CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, 1971; GATTO & FAVERO, 1973; GATTO, 1979).

Questa tecnica è stata utilizzata anche alla fine degli anni ‘90 per la caratteriz-

zazione lito-stratigrafica del sottosuolo sottoposto al processo di contaminazione salina dell'area veneziana. In particolare, nell'ambito del Progetto Strategico CNR "Ambiente e Territorio", per acquisire informazioni lito-stratigrafiche in settori in cui non erano disponibili stratigrafie accurate, la Regione del Veneto ha effettuato cinque carotaggi radioattivi, in pozzi in disuso, spinti a profondità variabili tra 100 e 280 m (BAGLIONI & TOFFOLETTO, 1998).

In considerazione dell'esito positivo di queste indagini, la Regione del Veneto, nel contesto del Progetto CARG, ha eseguito un *gamma ray log* fino alla profondità di circa 100 m nel foro del sondaggio stratigrafico perforato a carotaggio continuo *CARG II*, ubicato in località Valle Averno (Fig. 26).

Dall'esame di questa registrazione (Fig. 27) si nota la buona correlazione tra i valori massimi di radioattività ed i livelli prevalentemente argillosi e tra i valori minimi ed i depositi sabbiosi. La calibrazione della registrazione *gamma ray*, eseguita attraverso lo studio lito-stratigrafico di dettaglio effettuato analizzando le carote di sedimenti del sondaggio *CARG II*, fornisce una base di riferimento per le future indagini idrogeologiche.



Fig. 26 - Foto del sondaggio a carotaggio continuo *CARG II* e delle misure *gamma ray*.

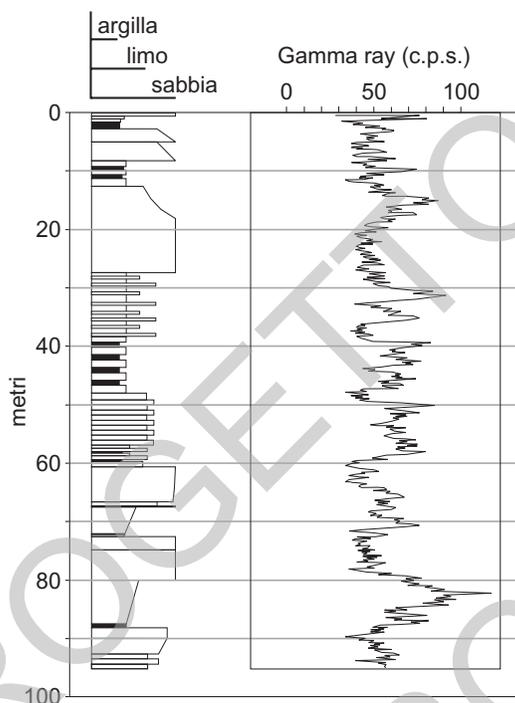


Fig. 27 - Carotaggio radioattivo effettuato nel foro del sondaggio CARG 11, affiancato alla stratigrafia dedotta dall'analisi delle carote.

7. - BANCHE DATI (R. Campania)

Il rilevamento di pianura si basa inizialmente sulla raccolta dei dati disponibili, su una loro revisione ed infine sull'esecuzione di nuove indagini opportunamente mirate.

Per quanto riguarda i sondaggi effettuati in passato, la Regione del Veneto provvede continuamente alla raccolta, alla selezione, alla conversione ed all'inserimento dei dati in una banca dati geologica.

La raccolta, il riordino, l'archiviazione e l'informatizzazione delle conoscenze stratigrafiche ed analitiche relative al suolo ed al sottosuolo è stato un passo fondamentale per la realizzazione di un prodotto cartografico rispondente a quanto richiesto dal Progetto CARG. La banca dati consente infatti la ricerca, l'interrogazione, l'estrazione e l'aggiornamento dei dati in modo rapido ed efficiente, requisito indispensabile per realizzare un progetto cartografico di qualità.

The figure consists of two screenshots of a web-based GIS application interface for the Veneto region. The top screenshot shows the 'Tipo di indagine inserita' (Type of investigation inserted) form. The bottom screenshot shows the 'Informazioni amministrative e di localizzazione dell'indagine' (Administrative and location information of the investigation) form.

Form 1: Tipo di indagine inserita

- OPERATORE: CAMPANA
- Fonte: Regione Veneto
- RIF. FONTE:
- TIPO DI COORDINATE DELLA FONTE: BVEST
- COLLOCAZIONE CARTACEA: Archivio ufficio Sismologia
- DENOMINAZIONE/TITOLO INDAGINE:
- ATTENIBILITA': Solo attendibile
- DIVULGABILITA': PREDISPOSTO a Use Pubblico
- NOTE:

Form 2: Informazioni amministrative e di localizzazione dell'indagine

- FOGLIO 1:50000
- TAVOLETTA 1:25000: 22 R SE
- CTR 1:10000: 62100
- PROVINCIA: BELLUNO
- STAT. COMUNE: PEDAVENA
- FISIOGRAFIA:
- USO DEL SUOLO:
- SCOPO DELL'INDAGINE: Scopi specifiche
- DITTA ESECUTRICE: Servizio Forestali Regionali
- RELEVATORE: Riccardo Campana
- COMITENTE:
- DATA: 23/10/2004
- LOCALITA': Passo Croce Duane
- GAUSS BOAGA X: 1718008.17
- GAUSS BOAGA Y: 5104983.07
- ABBISSURA LERICZ: Buona
- QUOTA: 1043
- PROFONDITA': 10
- NOTE:

Fig. 29 - Maschere per l'inserimento dei metadati e delle principali informazioni amministrative e di localizzazione dell'indagine.

raggruppandole in modo omogeneo in tre tabelle principali: la tabella relativa al gruppo a è in relazione 1:1 con quella comprensiva delle informazioni del gruppo b e con quella inerente la metodica d'indagine (c), mentre quest'ultima è in relazione 1:∞ con la tabella contenente le indicazioni di carattere tessiturale inerenti gli strati (gruppo d).

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

The figure consists of two screenshots of a software interface for geological data entry. The top screenshot shows the 'Caratteristiche e metodiche di realizzazione dell'indagine' form, and the bottom screenshot shows the 'dati stratigrafici' table.

Top Screenshot: Caratteristiche e metodiche di realizzazione dell'indagine

REGIONE del VENETO - Direzione Sviluppo e Città Affiliata - Servizio Geologia

ID_O470: 6210001

METADATI | DATI SOTTOGOLFO | DESCRIZ_STRAT | FILTRI | LOG_STRAT | PROVE | CAMPIONI | PALDA

ID_DESCR_STRAT: [] PRESENZA POZZO:

FILE_IMAGINE: [] DIAMETRO POZZO (mm): []

PEZZOMETRI:

METODO DI PERFORAZIONE (Algoritmo): [sondaggio continuo]

STRUMENTAZIONE DI COMPLETAMENTO: []

NOTE: []

FRONTE: [] RF_FORTE: [] DENOMINAZIONE: [] ID_DATO: []

Bottom Screenshot: dati stratigrafici

REGIONE del VENETO - Direzione Sviluppo e Città Affiliata - Servizio Geologia

ID_O470: 6210001

METADATI | DATI SOTTOGOLFO | DESCRIZ_STRAT | FILTRI | LOG_STRAT | PROVE | CAMPIONI | PALDA

quota assoluta: [] ID_STRATO_sbr: []

PROFONDITA' STRATO: [0,50]

DESCRIZIONE STRATO: [Materiale di riporto e/o vegetale argilloso bruno rossastro con elementi ghiaiosi bagnati poco consistenti]

NOTE: []

CODICE LITOL. OGICOMPRE: [] RESTI VEGETALI:

COLORE: [] CONCREZIONE: FOSSILI:

ID_STRATUMI	PROFONDITA'	PROFONDITA'	SPESORE	
33909	1	0,00	0,50	0,50 Materiale di riporto e/o veget...
33910	2	0,50	1,50	1,00 Materiale argilloso di alterazi...
33911	3	1,50	1,00	0,40 Calcare massiccio compatto (l)
33912	4	1,90	2,10	0,20 Calcare massiccio bagnato fra...
33913	5	2,10	3,20	1,10 Idem. compatto

Fig. 30 - Maschere per l'inserimento delle caratteristiche e metodiche di realizzazione dell'indagine e dei dati stratigrafici.

sistema nei corrispondenti campi e tabelle della banca dati e completati con le informazioni tessiturali.

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

7.1. - BANCHE DATI DEL FOGLIO "CHIOGGIA-MALAMOCCO"

Per la realizzazione del Foglio "Chioggia-Malamocco" è stato raccolto qualche migliaio di dati pregressi, i quali, oltre all'analisi geologica preliminare, hanno permesso la programmazione mirata delle nuove indagini CARG.

Nella banca dati CARG, oltre alle informazioni lito-stratigrafiche, sono presenti anche quelle relative ad analisi di laboratorio, quali le analisi micropaleontologiche, polliniche, mineralogiche, radiometriche e pedologiche.

In Fig. 31, Fig. 32 e Fig. 33 sono riportati alcuni esempi di visualizzazione dei punti di informazione relativi ad indagini litologiche, analisi di laboratorio e rilievi pedologici.

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 campionamenti e le analisi di laboratorio.

In Fig. 34 è riportato un esempio di visualizzazione di nuove indagini CARG (carotaggi, trivellate, bennate) programmate per integrare le informazioni esistenti.

La banca dati geologici è in continuo aggiornamento, pertanto il numero dei dati inseriti viene mensilmente incrementato. A titolo indicativo, a settembre 2004, essa conteneva, relativamente al Foglio "Chioggia-Malamocco", oltre 500 sondaggi profondi, 400 campionamenti superficiali e 1.100 trivellate e profili pedologici.

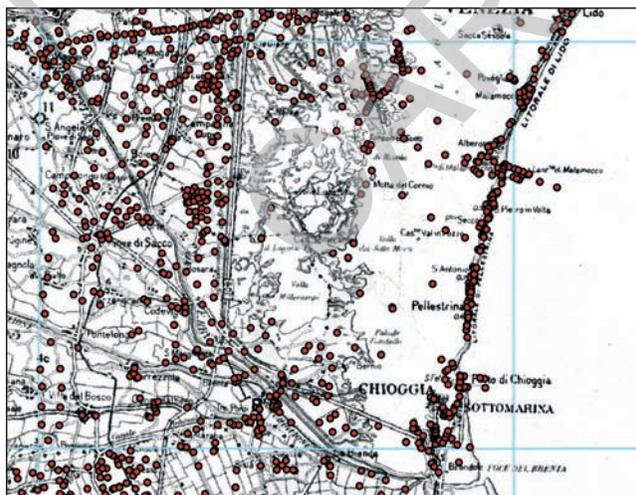


Fig. 31 - Visualizzazione dell'ubicazione di alcuni dati stratigrafici pregresse disponibili.

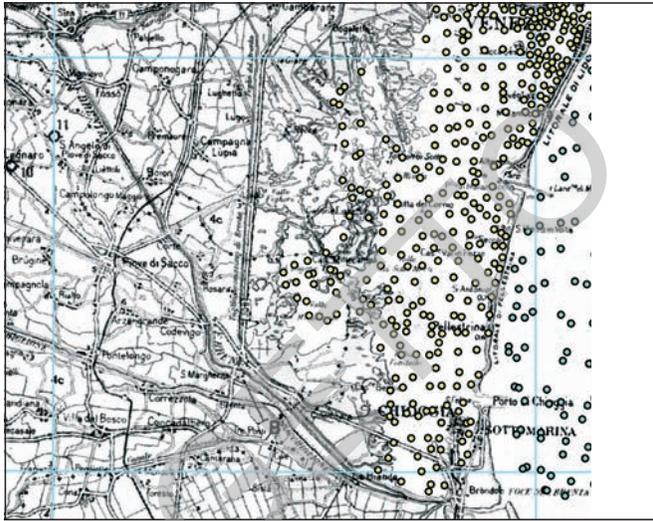


Fig. 32 - Esempio di visualizzazione dell'ubicazione di informazioni relative ad analisi micropaleontologiche e tessiturali pregresse (dati in ALBANI et alii, 1998 e ALBANI & SERANDREI BARBERO, 2001).

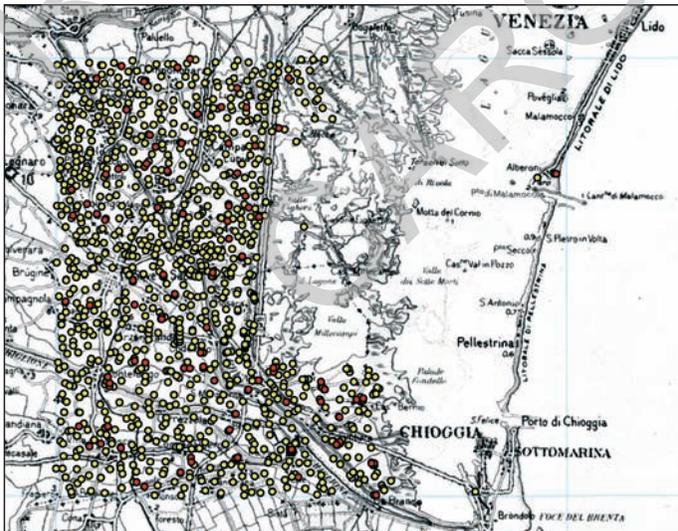


Fig. 33 - Esempio di visualizzazione dell'ubicazione di informazioni pedologiche pregresse. In rosso: profili pedologici; in giallo: trivellate manuali.

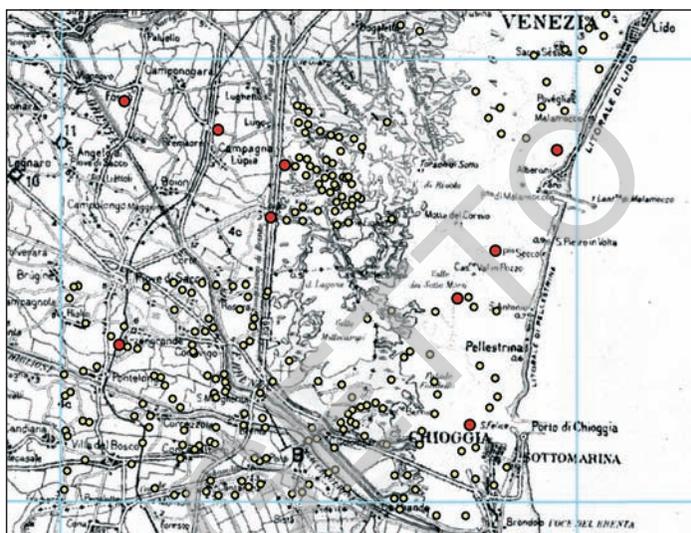


Fig. 34 - Visualizzazione delle ubicazioni di nuovi campionamenti realizzati per il progetto CARG. In rosso sono indicati i sondaggi eseguiti a profondità comprese tra 20 e 100 m, in giallo trivellate e carote che raggiungono profondità pari a circa 1,5 m.

IV - STRATIGRAFIA

1. - DETERMINAZIONE DEGLI AMBIENTI DEPOSIZIONALI

Seguendo in gran parte un criterio di classificazione basato sulle indicazioni proposte da RICCI LUCCHI (1978), si è ritenuto opportuno rappresentare sulla Carta Geologica quattro diversi tipi di ambiente: alluvionale (o fluviale), deltizio, litorale (entro il quale sono stati distinti depositi lagunari e depositi di spiaggia) e di piattaforma. Essi sono stati individuati mediante lo studio combinato delle associazioni faunistiche, delle strutture sedimentarie e dei lineamenti geomorfologici presenti sul territorio.

Lo scopo di tale scelta consiste nel descrivere in modo chiaro e semplice le caratteristiche di quest'area di transizione, evitando dettagli non indispensabili alla definizione delle varie unità stratigrafiche, che avrebbero appesantito inutilmente il prodotto cartografico finale, ostacolandone la lettura e la comprensione immediata.

1.1. - LE ASSOCIAZIONI A FORAMINIFERI

Nel bacino lagunare di Chioggia la distribuzione delle attuali *biofacies* a foraminiferi bentonici è stata definita da SERANDREI BARBERO *et alii* (1999) mediante l'analisi quantitativa di 95 campioni di sedimento di fondo. Per l'analisi quantitativa tutti i taxa presenti in una frazione nota del residuo al lavato sono stati identificati e contati ed i rispettivi valori di abbondanza relativa utilizzati per l'analisi delle corrispondenze (BENZÈCRI, 1980), secondo i metodi classici dell'elaborazione statistica di dati enumerativi relativi a stazioni ed a taxa (DAVIS,

1986). L'analisi delle corrispondenze fornisce i gruppi di stazioni caratterizzate da *biofacies* simili e quindi indicative di condizioni ambientali uniformi.

Ciascuna delle *biofacies* attuali identificate si caratterizza attraverso una specie chiave, non necessariamente coincidente con il taxon dominante, ma presente, comunque, con un'abbondanza significativa. La descrizione delle *biofacies* attuali e la conoscenza della loro collocazione geografica nel territorio hanno permesso la mappatura delle acque lagunari; in particolare sono stati considerati il grado di confinamento, secondo il concetto espresso da GUELORGET & PERTHUISOT (1983), l'inquinamento antropico, come ampiamente discusso da ALVE (1995), la presenza di afflussi dulcicoli (DONNICI & SERANDREI BARBERO, 2005) e di apparati intertidali (ALBANI *et alii*, 1984a; 1984b; SERANDREI BARBERO *et alii*, 2004). Uno schema dei principali fattori che controllano le *biofacies* rappresentative dei diversi biotopi lagunari è riportato in Fig. 35.

Condizioni rispettivamente di laguna esterna o interna sono indicate dalla diversa abbondanza del taxon dominante, *Ammonia beccarii* (LINNAEUS), e dal maggiore o minore numero di taxa presenti, che nel bacino di Chioggia è compreso tra 12 e 22 nelle aree lagunari a maggior influenza marina e scende a meno di 9 nelle aree interne. Nelle aree di margine urbano, in cui condizioni di inquinamento urbano o industriale si sovrappongono ai parametri naturali, diviene dominante *Haynesina*

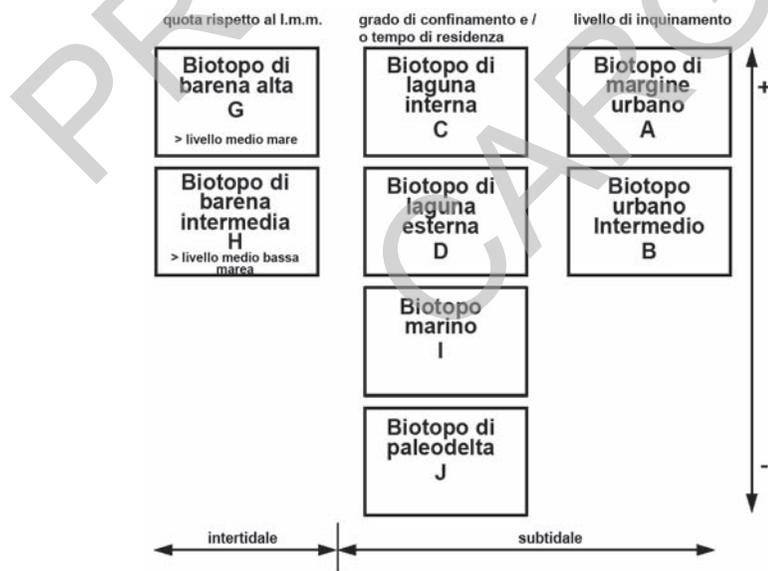


Fig. 35 - Biotopi presenti nel bacino meridionale della Laguna di Venezia e principali fattori che li controllano (da SERANDREI BARBERO *et alii*, 2003, modificata).

paucilocula (CUSHMAN) a scapito di *Ammonia beccarii*, mentre valori intermedi rappresentano ambienti di transizione tra condizioni naturali ed antropizzate. Infine abbondanze percentuali progressivamente minori di *Trochammina inflata* (MONTAGU) sono tipiche di apparati intertidali posti a quote più o meno alte rispetto al livello medio del mare (ALBANI *et alii*, 1984a; 1984b). Il contenuto percentuale dei principali taxa presenti nei biotopi identificati nei 95 campioni prelevati nel bacino idrografico meridionale della Laguna di Venezia (SERANDREI BARBERO *et alii*, 1999) e nei 273 campioni raccolti in quello centrale e nel settore a sud di Venezia del bacino settentrionale (ALBANI *et alii*, 1991) è riportato nella Tab. 3.

Nella zona costiera adriatica al largo di Chioggia e del litorale di Pellestrina la distribuzione delle attuali *biofacies* è nota attraverso il lavoro di ALBANI *et alii* (1998). La conoscenza della loro estensione (biotopi) ha permesso la mappatura delle acque costiere, con particolare riferimento ai limiti delle zone di mescolamento tra le acque lagunari e le acque marine, aree cioè caratterizzate dalla dominanza di taxa lagunari a scapito dei taxa neritici, che sono invece dominanti al di

Tab. 3 - *Contenuto percentuale dei principali taxa nei biotopi identificati nella laguna meridionale (bacino idrografico di Chioggia) e centrale (bacino idrografico di Malamocco e settore a sud di Venezia del bacino idrografico di Lido).*

Biotopo	A		B		C		D		F	
	media	min-max	media	min-max	media	min-max	media	min-max	media	min-max
Laguna centrale										
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	0,9	0,5 - 1,6	1,2	0,3 - 2,9	1,6	0,2 - 7,6	0,4	0,2 - 1,1	-	-
<i>Haynesina paucilocula</i> (Cushman)	48,1	30,9 - 66,0	23,8	17,9 - 31,7	13,2	4,7 - 38,6	6,8	0,9 - 18,1	-	-
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne)	38,7	27,7 - 51,0	59,1	53,8 - 62,6	61,5	39,0 - 73,7	74,7	55,7 - 90,5	-	-
<i>Cibicides granosus</i> (d'Orbigny)	7,1	1,1 - 20,6	8,4	3,2 - 14,7	9,7	0,3 - 24,7	5,0	0,3 - 16,7	-	-
altre specie	5,6	2,6 - 10,4	7,6	2,5 - 12,9	15,1	5,2 - 29,7	13,4	4,5 - 32,2	-	-
numero di specie	13		13		58		60			
numero di stazioni	8		6		91		156			
% area settore lagunare	4,2		3,1		47,6		81,7			
% area totale lagunare	1,4		1,1		16,3		27,9			
Laguna meridionale										
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	-		0,3	0,3 - 0,3	1,7	0,3 - 4,7	1,0	0,3 - 5,3	-	-
<i>Haynesina paucilocula</i> (Cushman)	-		17,8	16,3 - 19,3	9,5	1,3 - 35,0	3,9	0,3 - 10,0	-	-
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne)	-		46,8	43,0 - 50,7	69,6	58,3 - 81,7	82,1	63,0 - 93,0	-	-
<i>Cibicides granosus</i> (d'Orbigny)	-		12,5	9,7 - 14,7	5,3	0,3 - 13,0	2,8	0,3 - 13,0	-	-
altre specie	-		23,0	20,0 - 26,0	15,1	4,3 - 23,7	11,5	4,0 - 22,7	-	-
numero di specie			14		32		36			
numero di stazioni			2		21		61			
% area settore lagunare			2,1		22,1		64,2			
% area totale lagunare			0,4		3,8		10,9			
Biotopo										
Laguna centrale										
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	34,3	28,8 - 39,8	8,3	1,4 - 13,4	-	-	0,3	0,3 - 0,3	A- Margine urbano	
<i>Haynesina paucilocula</i> (Cushman)	6,7	5,6 - 7,7	10,3	5,2 - 16,7	3,6	2,2 - 5	19,7	19,0 - 20,3		
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne)	50,4	49,4 - 51,3	67,1	64,1 - 71,1	55,6	52,5 - 58,7	71,0	69,4 - 72,6	B-Urbano intermedio	
<i>Cibicides granosus</i> (d'Orbigny)	2,9	2,9 - 2,9	3,9	0,9 - 8,1	7,8	5,4 - 10,2	3,9	2,1 - 5,6		
altre specie	7,3	5,2 - 9,3	11,8	3,8 - 22,7	33	32,3 - 33,7	5,4	5,0 - 5,7	C- Laguna interna	
numero di specie	9		21		27		7		D-Laguna esterna	
numero di stazioni	2		6		2		2			
% area settore lagunare	1,0		3,1		1,0		1,0		F-Laguna chiusa	
% area totale lagunare	0,4		1,1		0,4		0,4		G-Barena alta	
Laguna meridionale										
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	18,5	17,7 - 19,3					0,3	0,3 - 0,3	H-Barena intermedia	
<i>Haynesina paucilocula</i> (Cushman)	4,7	4,0 - 5,3	21,0	21,0 - 21,0	3,7	2,7 - 4,7	10,5	0,7 - 17,3		
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne)	57,8	55,3 - 60,3	71,7	71,7 - 71,7	50,2	48,7 - 51,7	68,8	57,1 - 78,0	I-Marino	
<i>Cibicides granosus</i> (d'Orbigny)	0,7	0,7 - 0,7	0,7	0,7 - 0,7	10,2	10,0 - 10,3	2,2	0,8 - 6,0		
altre specie	18,7	16,3 - 21,0	6,7	6,7 - 6,7	36,0	33,7 - 38,7	19,2	13,3 - 24,8	J-Pa'vodella	
numero di specie	13		5		29		10			
numero di stazioni	2		1		2		6			
% area settore lagunare	2,1		1,1		2,1		6,3			
% area totale lagunare	0,4		0,2		0,4		1,1			

Tab. 4 - Composizione media dei biotopi a foraminiferi presenti nel Golfo di Venezia fino all'isobata di -18 m.

Biotopo	Litorale interno ad influenza lagunare		Litorale esterno ad influenza lagunare		Litorale marino	
	media	min-max	media	min-max	media	min-max
<i>Textularia agglutinans</i> d'Orbigny	1,37	0,10 - 5,30	8,71	3,70 - 15,40	3,27	0,30 - 9,20
<i>Textularia conica</i> d'Orbigny	0,63	0,10 - 3,00	2,74	0,30 - 7,30	2,31	0,20 - 9,20
<i>Eggerella scabra</i> (Williamson)	1,06	0,10 - 6,40	2,06	0,50 - 6,50	0,54	0,10 - 1,80
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linne)	12,51	1,60 - 31,90	11,55	7,30 - 16,80	12,83	4,60 - 20,80
<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck)	2,49	0,10 - 9,10	1,78	0,20 - 4,20	3,05	0,40 - 6,10
<i>Buccella frigida granulata</i> (di Napoli Allata)	2,01	0,10 - 7,60	1,85	0,30 - 7,30	3,46	0,50 - 9,10
<i>Armonia beccarii</i> (Linne)	45,36	30,30 - 78,10	29,18	22,60 - 37,10	25,74	13,30 - 38,50
<i>Valvulineria peticulata</i> (Heron-Allen & Earland)	6,05	0,40 - 15,50	6,72	4,90 - 9,10	9,25	0,50 - 24,50
<i>Cibicides granosum</i> (d'Orbigny)	10,77	0,70 - 28,30	5,26	3,10 - 10,50	16,00	6,50 - 29,00
<i>Cibicides translucens</i> (Natland)	0,59	0,10 - 2,40	0,98	0,30 - 1,90	1,01	0,10 - 3,20
<i>Haynesina paucilocula</i> (Cushman)	0,58	0,10 - 2,90	0,83	0,10 - 2,20	0,56	0,10 - 2,20
altre specie	18,86	8,60 - 35,20	28,85	20,00 - 39,10	23,81	12,10 - 34,40
numero di specie	47		57		54	
numero di stazioni	88		15		49	
% area	46,07		7,85		25,65	

Biotopo	Marino intermedio		Marino esterno	
	media	min-max	media	min-max
<i>Textularia agglutinans</i> d'Orbigny	13,71	2,90 - 24,20	27,64	10,60 - 42,10
<i>Textularia conica</i> d'Orbigny	4,47	0,80 - 16,50	7,74	2,10 - 28,50
<i>Eggerella scabra</i> (Williamson)	1,43	0,20 - 5,30	6,06	0,60 - 12,00
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linne)	9,15	4,90 - 12,60	12,74	5,60 - 19,00
<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck)	3,50	0,60 - 7,00	7,05	4,90 - 9,50
<i>Buccella frigida granulata</i> (di Napoli Allata)	3,75	0,50 - 7,20	1,03	0,20 - 4,10
<i>Armonia beccarii</i> (Linne)	13,07	5,60 - 22,00	2,66	0,40 - 8,00
<i>Valvulineria peticulata</i> (Heron-Allen & Earland)	2,66	0,50 - 8,30	0,73	0,10 - 3,80
<i>Cibicides granosum</i> (d'Orbigny)	9,96	4,10 - 13,50	3,15	1,60 - 7,10
<i>Cibicides translucens</i> (Natland)	1,01	0,20 - 2,60	0,28	0,10 - 0,80
<i>Haynesina paucilocula</i> (Cushman)	0,53	0,10 - 1,20	0,49	0,10 - 1,40
altre specie	37,18	28,10 - 45,60	30,56	20,70 - 41,70
numero di specie	63		63	
numero di stazioni	25		14	
% area	13,09		7,33	

fuori dei settori influenzati dalle *plume* di acque lagunari. La composizione media dei biotopi a foraminiferi identificati nel Golfo di Venezia, tra la linea di costa e l'isobata -18 m, è riportata nella Tab. 4.

La definizione degli ambienti marini e lagunari attuali, ottenuta attraverso l'analisi quantitativa della fauna a foraminiferi bentonici, è stata utilizzata per riconoscere, mediante confronto, i paleoambienti marini e lagunari di età olocenica, rappresentati dai 102 campioni di sedimento prelevati durante la realizzazione di bennate, trivellate e carote superficiali, su cui sono state effettuate analisi quantitative analoghe a quelle utilizzate per la definizione degli ambienti marini e lagunari attuali.

Per quanto riguarda i paleoambienti lagunari, le informazioni ottenute dal confronto con le faune attuali hanno evidenziato la presenza di apparati intertidali sepolti e di settori lagunari a maggiore o minore grado di confinamento rispetto alle condizioni odierne, corrispondenti, rispettivamente, ai biotopi di laguna esterna ed interna. Nelle aree di laguna presso il margine interno è stato spesso raggiunto il tetto dei depositi continentali che precedono la trasgressione lagunare, qui avvenuta in tempi relativamente recenti e talora solo pochi secoli fa (SERANDREI BARBERO *et alii*, 2005a).

Relativamente ai paleoambienti marini di età olocenica, *biofacies* di cordone litorale analoghe alle attuali, caratterizzate dalla presenza di numerosi Miliolidi,

assieme ad *Ammonia beccarii* ed *Elphidium* spp., e di taxa neritici, tra cui *Textularia* sp. e *Triloculina* sp., sono ampiamente rappresentate nella parte meridionale del foglio dove, in corrispondenza di Chioggia e dei sondaggi CARG 7, CARG 8 e Lito 1 - CNR, sono presenti fino alle profondità rispettivamente di -16 m, -18 m, -20 m e -26 m rispetto al l.m.m.

Per quanto concerne i paleoambienti di delta, le *biofacies* corrispondenti, pur contenendo specie tipiche dei diversi sottoambienti lagunari o marini, sono complessivamente più povere di individui e di specie e si mescolano ad una frazione clastica particolarmente abbondante.

Paleoambienti lagunari e marini di età olocenica sono stati riconosciuti anche in porzioni di foglio oggi appartenenti ad aree di terra; in particolare, nel sondaggio Foce Fogolana (FF47 - CVN) ubicato presso il margine meridionale della laguna, a sud di Valle Millecampi, sono presenti depositi di ambiente lagunare sotto ai depositi continentali recenti; analogamente, in Valle Millecampi *biofacies* di ambiente lagunare subtidale compaiono nei sedimenti sottostanti alle barene recenti.

La tabella con i risultati delle analisi micropaleontologiche e le determinazioni dei paleoambienti, effettuate nell'ambito del progetto CARG sulle carote più significative, è riportata in Allegato.

1.2. - LE STRUTTURE SEDIMENTARIE ED I LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

L'analisi sedimentologico-stratigrafica dei depositi e lo studio geomorfologico del territorio hanno permesso di meglio definire gli ambienti deposizionali individuati mediante le indagini paleontologiche e di stabilirne i limiti, considerando che spesso il passaggio tra ambienti contigui avviene in modo graduale, attraverso una fascia di transizione di estensione variabile.

1.2.1. - Depositi alluvionali o fluviali

I principali lineamenti geomorfologici riconosciuti nelle aree di pianura costiera, considerati ottimi indicatori di ambiente alluvionale, sono stati le tracce dei corsi d'acqua estinti ed i dossi fluviali; sono stati individuati anche ventagli di rotta, alcuni dei quali particolarmente estesi, in grado di giustificare la presenza di depositi sabbioso-limosi in zone di piana inondabile dove generalmente prevalgono sedimenti pelitici. Infatti sabbie limose e limi sabbiosi costituiscono soprattutto depositi di canale attivo e di dosso fluviale, all'interno dei quali si possono riconoscere sequenze gradate, laminazioni incrociate e piano-parallele, tasche di erosione ed inclusi pelitici.

Allontanandosi dall'alveo, con passaggio più o meno graduale, le precedenti

unità vengono sostituite da litologie granulometricamente più fini: si tratta di depositi di tracimazione fluviale costituiti da sedimenti limoso-argillosi talora contenenti sottili intercalazioni sabbiose, in cui a volte si notano strutture trattive e livelli gradati. Argille ed argille limose, spesso organiche, si rinvengono quasi esclusivamente in bacini di piena, ovvero aree di esondazione situate in posizione distale rispetto al corso d'acqua, dove sono prevalsi i processi di decantazione. Quando compaiono in corrispondenza delle tracce degli antichi alvei, costituiscono invece l'evidenza di depositi di riempimento che si sono formati per abbandono del canale. *Facies* palustri, evolutesi in zone depresse interfluviali, sono testimoniate invece dalla presenza di torbe.

Evidenti segni di pedogenesi subaerea caratterizzano frequentemente i vari tipi di depositi alluvionali descritti.

1.2.2. - *Depositi deltizi*

Sono stati definiti deltizi tutti quei depositi associati ad apparati di foce riconosciuti principalmente in base alla presenza di indicatori geomorfologici, in particolare l'evidenza dello sbocco di antichi corsi d'acqua in laguna.

Essendosi sviluppati in un ambiente costiero di transizione, spesso i corpi deltizi presentano caratteristiche comuni o molto simili a quelle delle adiacenti unità di ambiente alluvionale e litorale, rispetto alle quali, pertanto, la distinzione è risultata talora problematica.

Sono stati individuati corpi deltizi endolagunari di limitata estensione, aventi forma generalmente lobata con contorni variamente irregolari. Verso l'entroterra i relativi depositi si confondono con quelli fluviali, di cui costituiscono la naturale prosecuzione, e verso mare si interdigitano con quelli litorali. Considerazioni di carattere geomorfologico si sono rese necessarie per distinguere i sedimenti alluvionali da quelli deltizi, principalmente in tutti quei casi in cui gli indicatori paleontologici non hanno permesso di stabilire il passaggio tra questi due diversi tipi ambiente. A tal fine, quindi, è stata considerata la presenza e la disposizione di canali distributori ramificati (a volte sviluppati in corrispondenza di stretti e modesti corpi sabbioso-limosi da cui possono avere avuto origine piccoli ventagli di rotta) e di bacini palustri.

Dal punto di vista litologico i depositi di ambiente deltizio risultano molto diversificati. Sabbie, sabbie limose e/o argillose solitamente sono deposte in prossimità dei canali distributori, accumulate in argini naturali dopo essere state trasportate da correnti idriche ad alta energia; pertanto possono presentare strutture trattive. Limi, limi sabbiosi e/o argillosi, a volte contenenti sostanza organica, costituiscono le aree di piana deltizia inondabile; in essi talora si riconoscono laminazioni incrociate e piano-parallele. Argille, argille limose e/o sabbiose,

spesso organiche e talvolta con evidenze di bioturbazione, sono state deposte per decantazione in zone situate in posizione distale rispetto ai canali, dove l'energia delle correnti è molto bassa; possono presentarsi sottilmente laminate e contenere veli limosi o più raramente sabbiosi. Le torbe, frequentemente miste a sedimenti limoso-argillosi (terreni organici), si trovano in corrispondenza di depositi palustri sviluppatosi in aree depresse di convergenza e raccolta delle acque di esondazione fluviale (bacini interdistributori) ed al passaggio con l'adiacente ambiente lagunare.

1.2.3. - *Depositi litorali*

Facendo riferimento alle definizioni proposte da RICCI LUCCHI (1978), il territorio lagunare veneziano può essere considerato un sistema di spiaggia-barriera-laguna in cui l'ambiente litorale si identifica con la presenza di una costa complessa, caratterizzata da una spiaggia situata al largo ed associata ad un cordone sabbioso emerso (lido, freccia litoranea) che costituisce una barriera discontinua tra il mare aperto e la retrostante zona protetta (laguna). Pertanto all'interno dell'ambiente litorale si è ritenuto opportuno distinguere i depositi di spiaggia (includendo in questo gruppo quelli di spiaggia emersa, intertidale e sottomarina) da quelli lagunari.

Nell'area esaminata, a partire dal Pleistocene, simili condizioni si sono ripetute più volte, in risposta agli eventi marini trasgressivi conseguenti alle deglaciazioni.

Nel corso delle indagini geomorfologiche sono state individuate numerose tracce di antichi cordoni litoranei e di paleocanali lagunari, che hanno permesso di distinguere, in modo preliminare, zone caratterizzate dalla presenza di depositi di spiaggia e settori più ampi in cui invece le *facies* di laguna sembrano essere dominanti. Successivamente i limiti tra le due diverse unità riconosciute all'interno dell'ambiente litorale sono stati definiti con precisione mediante la realizzazione di analisi sedimentologico-stratigrafiche e paleontologiche.

I depositi di spiaggia, sviluppati in corrispondenza di cordoni litoranei più o meno rielaborati dai processi eolici, sono costituiti da sabbie spesso ben classate, sabbie limose e limi molto sabbiosi; in essi talora si distingue una laminazione incrociata, mentre frequenti sono le sequenze granulometriche gradate. Tra cordoni o successivi allineamenti di dune si possono trovare limitati corpi limoso-argillosi, a volte contenenti sostanza organica.

Rispetto ai depositi di spiaggia le unità lagunari sono caratterizzate invece da litologie generalmente più fini ed assai più differenziate. Infatti limi, limi argillosi e/o sabbiosi sono dominanti, mentre sabbie più o meno limose si rinvencono solo in corrispondenza delle bocche lagunari, dei bassifondi e dei canali sottoposti ad elevata energia. La loro presenza in ambiente lagunare può anche essere dovuta al rimaneggiamento di sedimenti di spiaggia.

Argille, argille limose e/o sabbiose, spesso organiche, si trovano in aree in cui la scarsa circolazione idrica favorisce i processi di decantazione e la tendenza all'impaludamento. In simili condizioni, che in genere si sviluppano presso il margine lagunare interno, si rinvengono anche depositi torbosi.

I sedimenti pelitici assai di frequente appaiono fittamente laminati e bioturbati.

Ottimi indicatori di barena, all'interno delle sequenze lagunari, sono orizzonti ossidati, contenenti concrezioni, aggregati limoso-argillosi e resti vegetali che spesso conservano l'originaria posizione di crescita.

1.2.4. - *Depositi di piattaforma*

Trattasi di depositi di mare basso costituiti generalmente da sedimenti fini.

Sono stati riconosciuti su base sedimentologico-stratigrafica e considerando i risultati delle analisi paleontologiche condotte sui relativi campioni.

2. - UNITA' STRATIGRAFICHE DI RIFERIMENTO

La Carta Geologica ha lo scopo di rappresentare le unità stratigrafico-deposizionali affioranti e subaffioranti nelle loro tre dimensioni spaziali, definirne la distribuzione, i reciproci rapporti e le caratteristiche litologiche e di *facies* che le contraddistinguono.

Negli anni '90 le linee guida per la cartografia geologica dei depositi quaternari nelle aree di pianura e marine stabilivano che questi venissero classificati sotto forma di unità allostratigrafiche (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1999), ovvero mediante la mappatura di "corpi stratificati definiti ed identificati sulla base delle discontinuità che li limitano" (NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE, 1993), nonostante già il Quaderno 1, serie III, del SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1992) privilegiasse le *Unconformity Bounded Stratigraphic Units* (UBSU)(CATALANO *et alii*, 1996).

Nel Foglio "Chioggia-Malamocco", invece, seguendo le indicazioni espresse in un recente documento relativo al rilevamento del Quaternario continentale ed emesso dal SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (2001) per la realizzazione della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, e le "Nuove linee guida per il rilevamento delle aree marine alla scala 1:50.000" (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE 2004) si è fatto riferimento alle UBSU, definite unicamente in base alla presenza di due discontinuità limite significative e dimostrabili; pertanto ciascuna unità può essere estesa lateralmente solo se entrambe le discontinuità sono visibili ed identificabili.

Nel territorio veneziano lo studio dei depositi quaternari è stato reso possibile dalla realizzazione dei sondaggi a carotaggio continuo *Venezia 1 - CNR* (l'unico

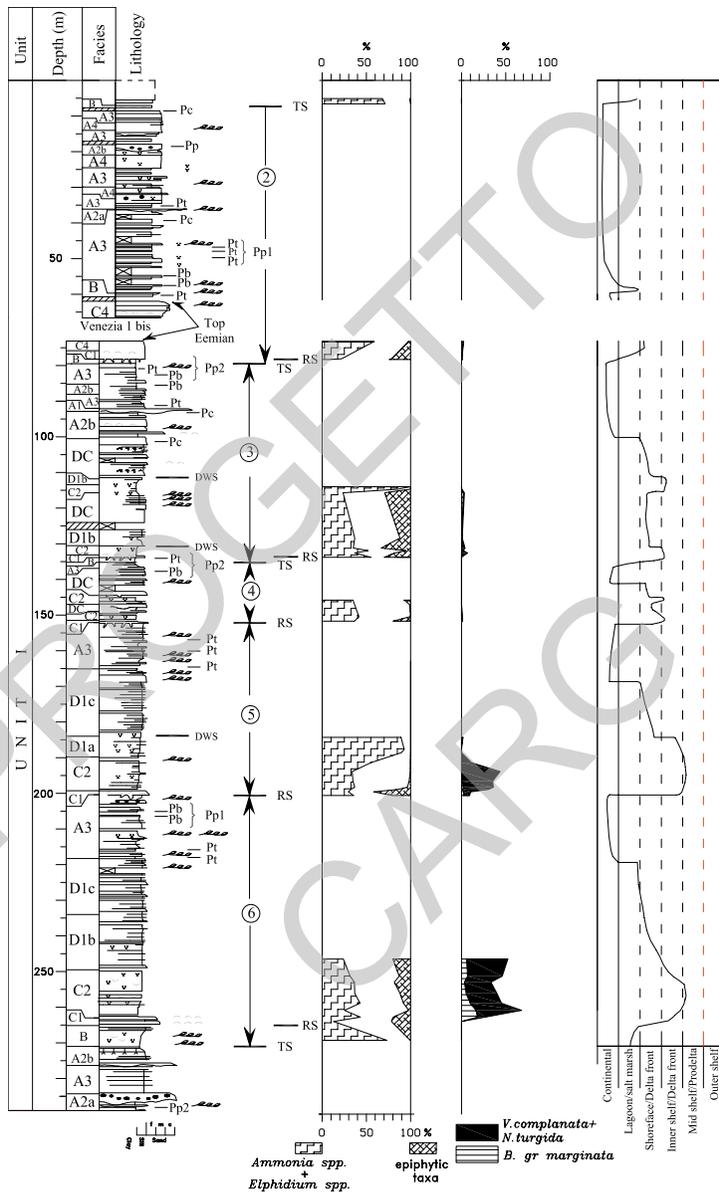


Fig. 36 - Stratigrafia della parte superiore del pozzo Venezia 1 - CNR (da KENT et alii, 2002 e MASSARI et alii, 2004). Le sequenze indicate con Pb, Pt, Pc, Pp1 e Pp2 sono paleosuoli, mentre Pa rappresenta livelli di torba.

a carotaggio continuo spinto fino alla sommità dei depositi pliocenici) (Fig. 36) e *Venezia 2 - CNR* (CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, 1971 ; FAVERO *et alii*, 1973; SERANDREI BARBERO, 1975; FAVERO *et alii*, 1979; FAVERO & PASSEGA, 1980; BELLET *et alii*, 1982; MÜLLENDERS *et alii*, 1996; MASSARI *et alii*, 2004) (Cap. II).

Per la realizzazione della Carta Geologica del Foglio “Chioggia-Malamocco”, considerato l’obiettivo, sono stati effettuati soprattutto sondaggi che permettesero di esplorare i primi 20-30 m di sottosuolo, ovvero le unità appartenenti ai depositi sommitali del *Last Glacial Maximum* (LGM) ed olocenici. E’ stato anche eseguito un carotaggio profondo 94,5 m (*CARG 11*), mentre un secondo, lungo 100 m, è stato messo a disposizione dal Progetto ISES; questi, assieme al sondaggio *Venezia 1 - CNR* e ad altri due realizzati rispettivamente nei pressi di Malamocco e di Correzzola, hanno permesso di ricostruire, per correlazione, l’assetto stratigrafico generale dei depositi relativi alla fase marina tirreniana nel territorio compreso nel presente foglio.

In base alle normative inerenti la realizzazione della cartografia geologica alla scala 1:50.000, le unità riferibili al Pleistocene superiore sono state attribuite al *Supersistema di Mestre* ed in parte al *Supersistema di Venezia*, a loro volta costituiti da diversi sistemi deposizionali (*systems tracts*) (Fig. 37).

Il *Sistema del Po*, corrispondente all’*Allombro di Ravenna* cartografato

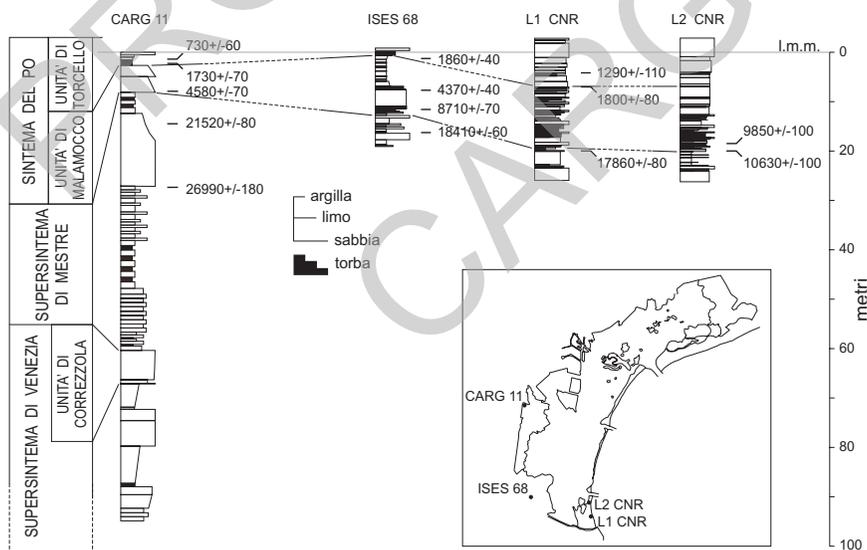


Fig. 37 - Schema dei rapporti stratigrafici del Supersistema di Venezia, del Supersistema di Mestre e del Sistema del Po. A lato sono riportate le litologie prevalenti di quattro carotaggi ed alcune radiodattazioni (anni B.P. non calibrate).

nel Foglio 223 “Ravenna” (AMOROSI, 1999), nel Foglio “Chioggia-Malamocco” rappresenta depositi di età olocenica ascrivibili all’evento trasgressivo successivo all’ultima glaciazione. In esso sono state individuate due unità, l’*Unità di Torcello* di età post-romana, che ne costituisce la parte sommitale e che coincide con l’*Unità di Modena* indicata nello stesso Foglio 223, e l’*Unità di Malamocco* che invece comprende i sedimenti sottostanti. La superficie limite che separa le due unità corrisponde al piano topografico sepolto di età romana; soprattutto a causa dello scarso dettaglio talora offerto dalle informazioni stratigrafiche disponibili, non sempre è stato possibile individuare con certezza, e quindi estendere lateralmente, tale discontinuità.

L’unità stratigrafica più antica considerata nel Foglio “Chioggia-Malamocco” è il *Supersintema di Venezia*, la cui parte sommitale è rappresentata dall’*Unità di Correzzola*, che identifica i depositi marini tirreniani; segue verso l’alto il *Supersintema di Mestre*, comprensivo delle unità alluvionali che si chiudono con i depositi del *Last Glacial Maximum*.

3. - SUPERSINTEMA DI VENEZIA

Il *Supersintema di Venezia*, non affiorante, comprende le unità post-messiniane deposte a partire dal Pliocene fino al Pleistocene superiore; i sedimenti sommitali, relativi alla trasgressione tirreniana, sono stati attribuiti all’*Unità di Correzzola* (CRZ).

Il limite inferiore coincide, quindi, con la discontinuità messiniana, mentre quello superiore, che lo separa dal soprastante *Supersintema di Mestre*, è stato posto in corrispondenza del passaggio da unità di ambiente lagunare-deltizio ai successivi depositi di tipo alluvionale.

Le informazioni sedimentologiche e degli ambienti deposizionali relative al *Supersintema di Venezia* sono limitate alle interpretazioni delle analisi dei campioni provenienti da cinque sondaggi: *Correzzola* (ACCORDI & SOCIN, 1950), *ISES B - CARG 13* (CARBOGNIN & TOSI, 2003), *CARG II* (DONNICI & SERANDREI BARBERO, 2004), *Malamocco* (CALDERONI *et alii*, 1998; 2000), *Venezia 1 - CNR* e *Venezia 2 - CNR* (FAVERO *et alii*, 1973; SERANDREI BARBERO, 1975; FAVERO *et alii*, 1979; FAVERO & PASSEGA, 1980; BELLET *et alii*, 1982; MÜLLENDERS *et alii*, 1996; MASSARI *et alii*, 2004). In particolare i dati disponibili hanno permesso di indagare adeguatamente solo la parte superiore di tale supersintema, ovvero la sequenza deposta nel corso della trasgressione marina tirreniana, della quale, però, non è stato sempre possibile definire in modo preciso la base. Nell’ambito del Foglio “Chioggia-Malamocco” tale sequenza presenta *biofacies* neritica alla base e lagunare verso il tetto.

In particolare lo studio del sondaggio *CARG II* ha permesso di individuare a circa -90,1 m dal piano campagna un’associazione a foraminiferi bentonici in cui

sono presenti 20 taxa e dove, assieme ad *Ammonia beccarii* dominante, compaiono *Uvigerina peregrina*, *Cassidulina laevigata*, *Cibicides refulgens*, *Rosalina brady*, *Bulimina elongata*, *Brizalina spathulata*, *Globocassidulina subglobosa*, taxa assenti o rarissimi nell'ambiente lagunare. L'associazione è quindi attribuibile ad un ambiente marino di tipo neritico, dove la dominanza di *Ammonia beccarii* appare dovuta all'influenza di un delta fluviale. Condizioni simili appaiono anche dall'analisi della fauna presente nel campione prelevato a -91,6 m, che presenta un minor numero di specie (9), ma in cui persiste la dominanza di *Ammonia beccarii* accanto a qualche forma neritica (*Discorbis mirus*). Dal punto di vista litologico tali depositi risultano essere costituiti da sabbie limose micacee, caratterizzate da granulometria crescente al diminuire della profondità, e da una sottile stratificazione, talora obliterata dalla bioturbazione; al tetto di queste unità sono particolarmente abbondanti i bioclasti marini.

Diversa appare, invece, l'associazione a foraminiferi bentonici rinvenuta a -63,6 m ed a -60,5 m dal piano campagna, all'interno di un deposito avente granulometria decrescente verso l'alto e poggiante, con contatto erosivo netto, su un livello torboso. Infatti nei relativi campioni sono presenti in media 10 specie caratterizzate dalla dominanza di *A. beccarii* e dalla presenza di taxa tipicamente lagunari (*Valvulineria perlucida*, *Haynesina paucilocula*, *Cribrononion granosum*, *Cribrononion translucens*), assieme a sporadici individui di *Fissurina lucida*, *Buccella frigida*, *Cribrononion advenum*, *Elphidium complanatum*, *Elphidium macellum*; entrambe le associazioni sono indicative di un ambiente paralico a medio confinamento, in cui le condizioni di sedimentazione hanno favorito l'accumulo iniziale di sabbie medio-grosse ricche di tritume conchigliare, poi progressivamente sostituite da sabbie più fini limose, in cui si riconoscono laminazioni incrociate a piccola scala (*ripples*).

Nel sondaggio *ISES B (CARG 13)* i depositi sabbiosi compresi tra circa 76 m e 86,5 m di profondità dal piano campagna sembrano costituire la fronte di un delta interno. In particolare a -80 m è stata rinvenuta un'abbondante malacofauna marina (*Cyclope neritea*, *Cardiidae*) ed a -76 m foraminiferi appartenenti ai tipi che caratterizzano gli ambienti litorali ad alta energia (Miliolidi, *Ammonia beccarii* ed *Elphidium* spp.). Tali osservazioni sono in perfetto accordo anche con le caratteristiche granulometriche dei sedimenti, che risultano essere costituiti da sabbia fine limosa tra circa -86,5 m e -80 m e da sabbia medio-grossa micacea, con clasti pelitici, tra -80 m e -76 m.

Malgrado il numero ridotto di carotaggi analizzati, utilizzando una serie di stratigrafie selezionate di pozzi terebrati per l'approvvigionamento idrico, nelle quali sono stati individuati depositi fossiliferi attribuibili a questa unità, si è tentata una correlazione laterale, permettendo così di definire le diverse profondità alle quali si trova il tetto di questi depositi marini, che, nell'ambito del Foglio "Chioggia-Malamocco", appaiono generalmente comprese tra -50 m e -80 m.

3.1. - UNITÀ DI CORREZZOLA

L'Unità di Correzzola (CRZ) è costituita dai depositi marini relativi all'ultimo evento trasgressivo tirreniano, il cui tetto, nel territorio compreso nel Foglio "Chioggia-Malamocco", si trova a profondità compresa tra circa -50 m e -80 m. Il suo studio è stato condotto utilizzando le informazioni dedotte dai sondaggi utilizzati per la definizione del supersintema di appartenenza, già elencati nel precedente paragrafo.

In particolare nel sondaggio *CARG II* coincide con la sequenza contenente foraminiferi bentonici rinvenuta a profondità compresa tra circa -66 m e -60 m e poggiate, con contatto erosivo netto, su depositi di ambiente alluvionale. Più difficile, invece, risulta l'individuazione di questa unità nel sondaggio *ISES B (CARG 13)*, dove, a differenza di quanto riscontrato negli altri carotaggi eseguiti in ambito CARG entro il comprensorio veneziano e terebrati fino a circa 100 m, è stato riconosciuto un unico evento trasgressivo tra -76 m e -86,5 m, qui rappresentato da depositi di fronte deltizia endolagunare.

L'Unità di Correzzola è subaffiorante nella fossa, profonda circa 50 m, che si trova presso la bocca del Porto di Malamocco.

4. - SUPERSINTEMA DI MESTRE

Il *Supersintema di Mestre (MT)* poggia sul *Supersintema di Venezia* ed è rappresentato da depositi di pianura alluvionale costituiti da sabbie, limi ed argille, a volte caratterizzati da evidenti segni di pedogenesi. I sedimenti più grossolani, prevalentemente sabbiosi, si trovano soprattutto in corrispondenza degli antichi dossi, mentre quelli fini, spesso ricchi di materiale organico, nei bacini interfluviali di piana inondabile.

Limi ed argille generalmente hanno struttura tabulare e laminata e contengono livelli di torbe, a volte ben correlabili su lunghe distanze, caratterizzate dalla presenza di semi, opercoli di gasteropodi dulcicoli e gusci appartenenti ai generi *Valvata* e *Vallonia*. La distribuzione delle sabbie, invece, segue in genere direzioni preferenziali sinuose, definendo in tal modo l'antica presenza di corsi d'acqua estinti.

Nei sondaggi *Venezia 1 - CNR* e *Venezia 1 bis - CNR* (MÜLLENDERS *et alii*, 1996) e nel *CARG 5 (ex BH2)* (TOSI *et alii*, 2005) attraverso l'esame dei pollini è stata individuata la presenza di quattro fasi principali di addolcimento climatico all'interno del *Supersintema di Mestre*, durante il periodo compreso tra 40.000 e 19.000 anni B.P.: le due più antiche sono di difficile attribuzione, mentre quelle più recenti sono ricollegabili agli interstadi di Tursac e di Laugerie. Analogamente anche CALDERONI *et alii* (1998) hanno identificato quattro principali cicli sedimentari all'interno di questo supersintema.

I depositi sommitali del *Supersintema di Mestre*, datati circa 18.000 anni B.P., mostrano evidenti segni di pedogenesi dovuta ad esposizione subaerea prolungata; la superficie limite che li separa dalle successive unità oloceniche è di tipo erosivo.

Al tetto, nonostante siano presenti litologie variabili, è frequente il rinvenimento di un'argilla sovraconsolidata localmente nota come *caranto*, ritenuta essere un paleosuolo (GATTO & PREVIADELLO, 1974; TOSI, 1993; 1994a; 1994b; 1994c; BONARDI & TOSI, 1994b; 1995a; 1997; 1999; 2000a; 2000b; 2001; BONARDI *et alii*, 1997; BRAMBATI *et alii*, 2003; MOZZI *et alii*, 2003).

Il *caranto* ha spessore variabile compreso tra pochi centimetri e 2 m ed è generalmente costituito da limi argillosi o argille limose molto compatti; esso presenta una colorazione grigia-giallastra chiara con screziature ocracee e contiene noduli carbonatici aventi diametro pari a pochi millimetri. L'accumulo di tale livello e di quelli immediatamente sottostanti è avvenuto nell'intervallo di tempo compreso tra 20.000 e 18.000 anni B.P.; recenti studi posizionano i processi di pedogenesi e di sovraconsolidazione all'interno della fase corrispondente alla lacuna stratigrafica, o di ridotto apporto sedimentario, verificatasi tra 14.500 anni B.P. e l'inizio della trasgressione olocenica (MOZZI *et alii*, 2003).

Il *caranto*, benché sia un ottimo livello guida per l'identificazione del limite tra i depositi pleistocenici e quelli olocenici, presenta discontinuità laterali più o meno ampie e localizzate, rappresentate da *facies* coeve costituite da depositi sabbiosi (probabilmente di dosso fluviale) ed argillosi (di origine lacustre-palustre), in cui la pedogenesi potrebbe essere stata ostacolata da particolari caratteristiche tessiturali e deposizionali e dal verificarsi di limitati processi erosivi probabilmente in fase postglaciale-trasgressiva. Infine non sono rare le interdigitazioni con sedimenti di tipo marino-lagunare che indicano la presenza di paleoalvei o canali riempiti. Recenti studi sul sottosuolo della città di Venezia, hanno descritto, in questo intervallo, la formazione di superfici vegetate e la presenza di saltuari apporti sedimentari che hanno localmente interrotto la pedogenesi (SERANDREI BARBERO *et alii*, 2005b).

Le indagini sismiche ad alta risoluzione in laguna ed in mare hanno fornito un importante contributo per lo studio del *Supersintema di Mestre*, permettendo l'individuazione di una serie di strutture estese, ben correlabili lateralmente, costituite da *uncoformity* erosive e da livelli di torbe ben riflettenti per la probabile presenza di gas.

In Fig. 38 è stata riportata una porzione di linea sismica acquisita in laguna lungo un canale parallelo al litorale meridionale di Lido, in cui appare particolarmente evidente il limite netto erosivo che separa il *Supersintema di Mestre* dal sovrastante *Sintema del Po*.

Nel Foglio "Chioggia-Malamocco" depositi alluvionali riferibili al *Supersintema di Mestre* affiorano solo nei canali lagunari la cui profondità è compatibile con quella dei depositi in oggetto.

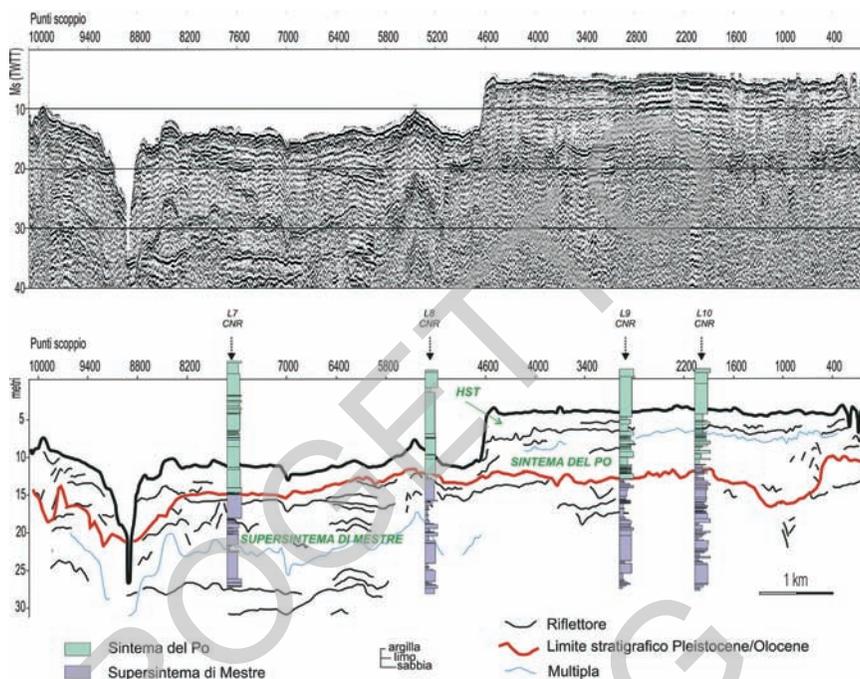


Fig. 38 - Sezione sismica acquisita in un canale lagunare che collega la Bocca di Malamocco al Lido.

5. - SINTEMA DEL PO

Il *Sintema del Po*, indicato sulla Carta Geologica con la sigla POI, è costituito da depositi olocenici. Il limite che lo separa dal sottostante *Supersintema di Mestre* è inconforme ed erosivo e tra la deposizione pleistocenica e quella olocenica è presente una lacuna stratigrafica di estensione temporale variabile: infatti nei diversi settori del comprensorio veneziano la base del *Sintema del Po* ha età differente, più antica nel settore costiero meridionale (10-11.000 anni B.P.) e pari a 5-7.000 anni B.P. in quello nord-occidentale.

L'assetto variabile della base del *Sintema del Po* riflette la morfologia della pianura pleistocenica durante il *Last Glacial Maximum*.

Lo spessore più elevato di tale sintema si registra in corrispondenza dell'attuale litorale meridionale di Sottomarina (20-22 m); esso diminuisce verso il litorale di Lido (dove raggiunge valori pari a 8-10 m) e si assottiglia ulteriormente procedendo sia verso il margine lagunare (un paio di metri), sia in Adriatico, dove, a partire dall'isobata 23-25 m, affiora il *Supersintema di Mestre*.

Il *Sintema del Po* è l'unità stratigrafica maggiormente rappresentata ed il suo tetto corrisponde alla deposizione attuale.

Ove possibile, il *Sintema del Po* è stato diviso in due unità, l'*Unità di Malamocco* (di età pre-romana e romana) e l'*Unità di Torcello* (di età post-romana), indicate sulla Carta Geologica rispettivamente con le sigle POI₉ e POI₁₀.

5.1. - UNITÀ DI MALAMOCCO

L'*Unità di Malamocco* (POI₉) rappresenta la porzione inferiore, e quindi più antica, del *Sintema del Po*.

I depositi basali sono costituiti da sedimenti marini trasgressivi nel settore centro-orientale del foglio ed alluvionali-deltizi in quello occidentale. I primi riflettono la progressiva migrazione verso terra di una barriera litorale, alle spalle della quale si era formata una laguna; essi comprendono, pertanto, depositi sabbioso-limosi di spiaggia, alla cui base è spesso presente un sottile orizzonte ricco di bioclasti e biosomi marini in scarsa matrice detritica, e sedimenti lagunari limoso-argillosi, talora organici, di retrobarriera. I depositi di spiaggia in genere sono sovrapposti a quelli di retrobarriera, da cui sono separati mediante una superficie limite tempo-trasgressiva, debolmente immergente verso E; in alcuni casi, invece, i sedimenti di barriera trasgressiva poggiano con contatto erosivo sulle sottostanti unità alluvionali pleistoceniche.

Sotto i depositi di retrobarriera localmente si rinvengono sottili livelli di limi sabbiosi rimaneggiati, aventi struttura caotica e contenenti breccie di argille pleistoceniche, i quali vengono definiti di "esondazione" poiché probabilmente hanno avuto origine per fenomeni di sovralluvionamento fluviale a seguito della deglaciazione o della trasgressione marina.

In corrispondenza della fascia di terraferma prospiciente la laguna i depositi di retrobarriera si interdigitano con quelli di ambiente alluvionale-deltizio, la cui sequenza spesso ha inizio con sottili livelli di "esondazione" analoghi a quelli precedentemente descritti.

I depositi trasgressivi sono sepolti sotto quelli appartenenti al sistema progradante relativo allo stazionamento alto del livello marino (Fig. 39).

Unità trasgressive e progradanti di cordone litorale generano un corpo sabbioso-limoso che si assottiglia verso NO, la cui geometria è particolarmente complessa nel settore prossimo al litorale attuale, dove la disposizione ed i reciproci rapporti tra le varie *facies* evidenziano l'avvenuta migrazione della linea di costa, inizialmente verso terra e poi verso mare (Fig. 25).

Alle spalle dei depositi di spiaggia vi sono sedimenti lagunari limoso-argillosi, talora organici, di retrobarriera, che, nelle zone adiacenti al margine interno della laguna, si interdigitano con unità deltizie, spesso torbose e quindi in *facies* palustre.

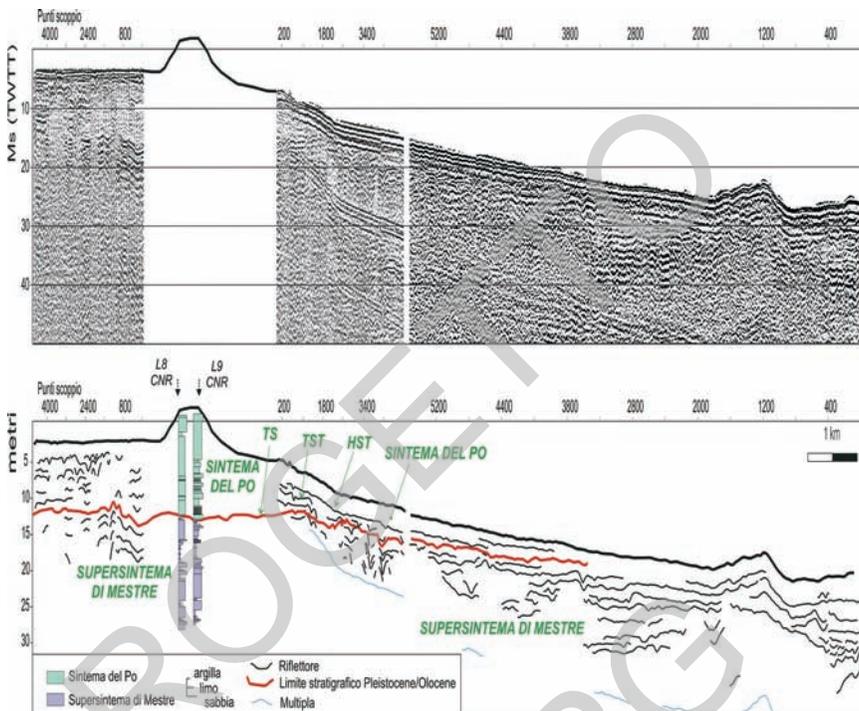


Fig. 39 - Sezioni sismiche ad alta risoluzione (laguna e Adriatico) integrate nel settore di litorale emerso da due sondaggi.

Verso mare, entro il corpo sabbioso costituito da depositi di barriera trasgressiva e progradante, si individua un'unità avente geometria cuneiforme, costituita da sedimenti prevalentemente limosi di transizione alla piattaforma, i quali, più al largo, sostituiscono completamente i primi.

L'Unità di Malamocco affiora nei canali lagunari ed alle spalle del litorale di Pellestrina, dove sono state individuate le tracce di due importanti cordoni litoranei: quello più interno indica un lungo periodo di stazionamento della linea di costa durante la fase di massima ingressione marina (5-6.000 anni B.P.), mentre l'altro, ad est del precedente, corrisponde ad un periodo di stasi della progradazione costiera avvenuto circa 4.500 anni B.P. (Cap. V-1.1).

La base dell'Unità di Malamocco corrisponde a quella del Sintema del Po, mentre il tetto ha età tardo-romana; i depositi sommitali sono spesso caratterizzati da evidenti segni di pedogenesi che indicano condizioni di prolungata esposizione subaerea.

5.2. - UNITÀ DI TORCELLO

L'Unità di Torcello (POI₁₀) corrisponde alla parte sommitale, e quindi più recente, del *Sintema del Po* ed è riferibile alla deposizione post-romana, avvenuta a partire dal V-VI sec. d.C.

Le caratteristiche dei depositi basali di tale unità testimoniano la fase di deterioramento climatico avvenuta fra il IV-VI sec. d.C., la quale determinò un importante incremento della piovosità, con conseguente aumento dei fenomeni di alluvionamento (VEGGIANI, 1994), e probabilmente anche un innalzamento del livello marino che ha causato una parziale sommersione dell'area lagunare. Questo evento è spesso testimoniato dal rinvenimento di depositi lagunari sui livelli antropizzati di età romana. In assenza di simili evidenze l'unità è stata distinta sulla base di altri elementi, analoghi a quelli riscontrati nel Foglio 223 "Ravenna" durante l'identificazione della corrispondente *Unità di Modena* (AMOROSI, 1999); in terraferma, infatti, talora il limite inferiore dell'*Unità di Torcello* coincide con superfici di erosione fluviale correlabili lateralmente con suoli bruno-giallastri e bruno-rossastri, caratterizzati da parziale o totale decarbonatazione degli orizzonti superficiali ed accumulo di carbonati in quelli più profondi.

Grazie allo studio di numerosi livelli geoarcheologici rinvenuti nel comprensorio lagunare veneziano e nelle aree limitrofe ed al supporto dei risultati ottenuti attraverso l'interpretazione dei dati cronostratigrafici disponibili, è stato possibile riconoscere e cartografare questa unità in molte zone del Foglio "Chioggia-Malamocco", come peraltro è stato fatto in altri fogli geologici (AMOROSI, 1999; REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1999).

L'*Unità di Torcello* è costituita da sabbie, limi, argille e torbe alluvionali, deltizi, litorali di spiaggia e litorali lagunari; a partire dal periodo tardo-romano fino ad oggi si ritiene invece essere stata scarsa la deposizione di sedimenti fini in ambiente di piattaforma.

La distribuzione delle varie *facies* che compongono questa unità nel complesso riflette condizioni di sedimentazione molto simili alle attuali.

La notevole disponibilità di trivellate in terraferma e di carote superficiali in laguna ha permesso di ricostruire con maggiore dettaglio, rispetto a quanto fatto per le altre unità cartografate nel foglio, la geometria, la distribuzione e l'assetto stratigrafico dei relativi depositi. Ai fini dell'interpretazione delle caratteristiche del sottosuolo classificato nell'ambito dell'*Unità di Torcello* e della mappatura dei relativi depositi è stata particolarmente utile anche la disponibilità di informazioni tratte da fonti storiche, poiché hanno fornito un valido supporto alla ricostruzione della variabilità temporale degli ambienti di sedimentazione.

L'*Unità di Torcello* è quella maggiormente affiorante sia in laguna che in terraferma (Cap. V-1.1); il suo spessore, relativamente sottile, è in genere pari a 2-3 m e presenta variazioni laterali limitate.

6. - CORRELAZIONI STRATIGRAFICHE E MODELLO EVOLUTIVO

Nel Foglio “Chioggia-Malamocco” lo studio di due sondaggi profondi realizzati a carotaggio continuo (*ISES B - CARG 13* a Correzzola e *CARG 11* in Valle Averno, lunghi rispettivamente 100 e 95,4 m) ha permesso di individuare la presenza di depositi marini riferibili all’evento trasgressivo tirreniano che è stato stabilito appartenere all’*Unità di Correzzola*.

Poiché i siti presso i quali sono disponibili informazioni sono molto distanziati, non sono stati correlati i livelli sabbioso-limosi ricchi di conchiglie riportati in alcune descrizioni litologiche di pozzi terebrati per acqua, pur avendo essi permesso l’individuazione di massima della giacitura della sommità dell’*Unità di Correzzola*, che è risultata trovarsi a profondità variabile, compresa tra circa -50 e -80 m.

Il sondaggio *CARG 11* ha raggiunto l’interglaciale Eemiano (corrispondente allo stadio isotopico marino 5.5 di età pari a 125.000 anni B.P.) a -90 m, qui rappresentato dai depositi del Piano Tirreniano costituiti da una *biofacies* di piattaforma interna, mentre attorno a -63 m è stata rinvenuta una *biofacies* lagunare che è stata correlata con un interstadiale corrispondente allo stadio isotopico marino 5.3 (MASSARI *et alii*, 2004). Il sondaggio *CARG 11* ha quindi campionato interamente i sedimenti del Pleistocene superiore, costituiti da alluvioni continentali deposte durante l’ultimo ciclo glaciale/interglaciale. Non tutti gli stadi isotopici dal 5.5 al 2 sono rappresentati nel sondaggio: attorno a -42 m le tracce di pedogenesi sembrano marcare quella lacuna stratigrafica cronologicamente compresa tra 60.000 e 40.000 anni B.P., già segnalata da BORTOLAMI *et alii* (1977) nel sottosuolo di Venezia attorno a 40 m di profondità. Negli strati sovrastanti, la successione di ambiente continentale, caratterizzata dalla diffusa presenza di torba, semi, opercoli di gasteropodi dulcicoli e gusci appartenenti ai generi *Valvata* e *Vallonia*, si è deposta durante i quattro interstadi, di età compresa tra 36.000 e 19.000 anni B.P., succedutisi nell’area veneta (MÜLLENDERS *et alii*, 1996; BERTOLDI & CANALI in TOSI *et alii*, 2005) durante le generali condizioni di clima arido, pienamente glaciali, del würmiano. Sopra ai depositi corrispondenti all’interstadio più recente (Interstadio di Laugerie) la sequenza dell’Ultimo Massimo Glaciale (*Last Glacial Maximum* o LGM) è interrotta dalla lacuna stratigrafica di ampiezza molto variabile già segnalata nell’area veneziana (BORTOLAMI *et alii*, 1977; TOSI, 1994a, SERANDREI BARBERO *et alii*, 2001; SERANDREI BARBERO *et alii*, 2002). In prossimità del margine lagunare di Valle Averno le alluvioni continentali del LGM sono state raggiunte e ricoperte dai depositi trasgressivi olocenici intorno a 5.000 anni B.P., più precisamente 4.580±70 anni B.P. nel sondaggio *CARG 11* (DONNICI & SERANDREI BARBERO, 2004) e 5.040±40 anni B.P. nel sondaggio *ISES 7* ubicato nel bacino scolante.

Nel sondaggio *ISES B* tra -86,45 m e -76 m sono presenti depositi di fronte deltizia caratterizzati da una sedimentazione molto attiva e costituiti da sabbie contenenti segnalatori litorali, talora mescolati a gusci di gasteropodi dulcicoli. Tali

depositi vengono attribuiti ad una fase di progradazione appartenente ad un'oscillazione di età eemiana, cui fanno seguito, fino al piano campagna, alluvioni sterili, spesso contenenti concrezioni carbonatiche o gusci di molluschi di ambiente esclusivamente dulcicolo.

Nell'area del Foglio "Chioggia-Malamocco", grazie al consistente numero di informazioni disponibili, è stato possibile studiare con maggiore dettaglio l'assetto stratigrafico dei depositi olocenici. Tre sezioni geologiche, due delle quali condotte in direzione ONO-ESE ed una S-N parallelamente al litorale (Fig. 40), schematizzano la stratigrafia del *Sistema del Po* (Fig. 41, Fig. 42, Fig. 43).

Tali unità poggiano sui depositi alluvionali tardo-pleistocenici corrispondenti alla fase finale del *Lowstand Systems Tract* (LST) relativo al LGM e sono da essi separati mediante una superficie di discontinuità che complessivamente si approfondisce verso est, eccetto che nel settore nord-orientale del foglio, dove il relativo assetto denota la presenza di un ampio alto morfologico avente il proprio apice in corrispondenza della Bocca di Lido (Fig. 43).

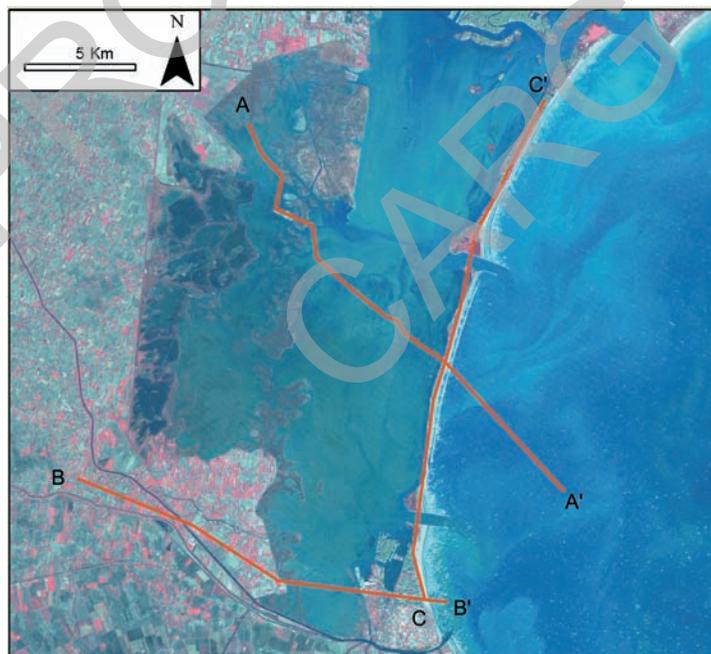


Fig. 40 - Mappa dell'ubicazione delle tre sezioni geologiche.

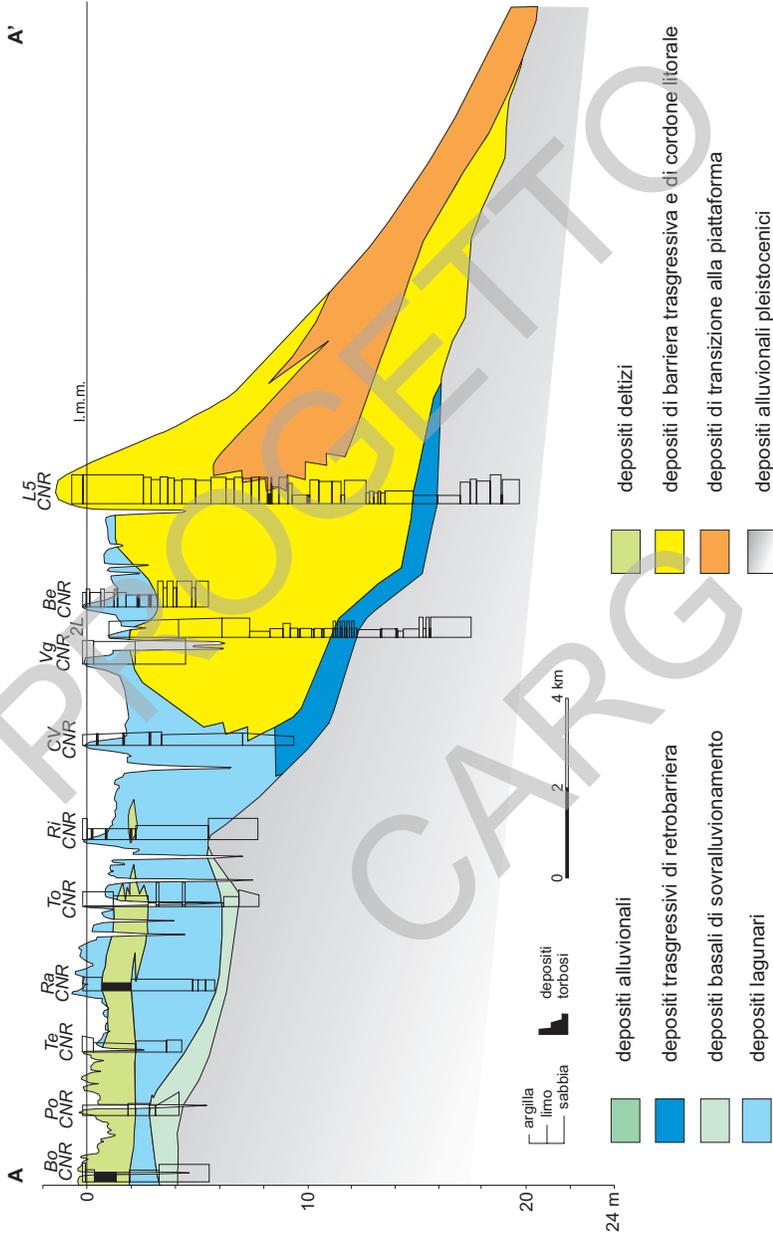


Fig. 41 - Stratigrafia del Sintema del Po, lungo una sezione condotta in direzione ONO-ESE attraverso il bacino meridionale della Laguna di Venezia (l'ubicazione è indicata in Fig. 40).

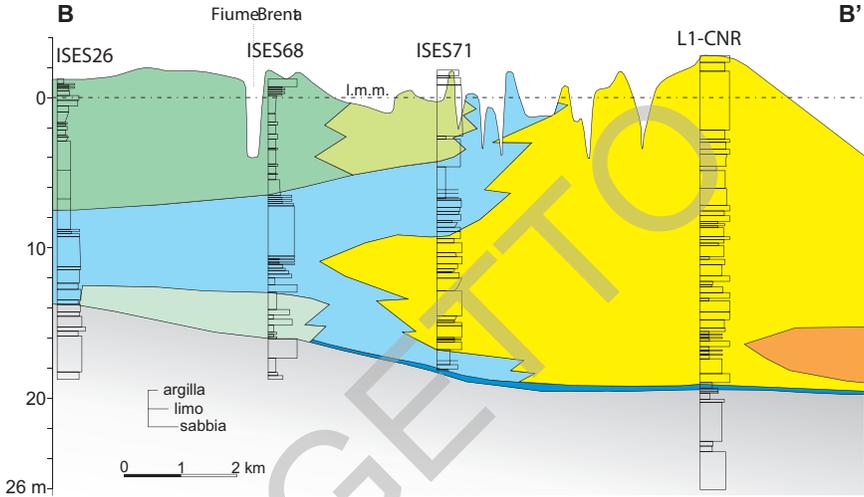


Fig. 42 - Stratigrafia del Sistema del Po, lungo una sezione condotta in direzione ONO-ESE in corrispondenza del margine meridionale della Laguna di Venezia (l'ubicazione è indicata in Fig. 40, la legenda in Fig. 41).

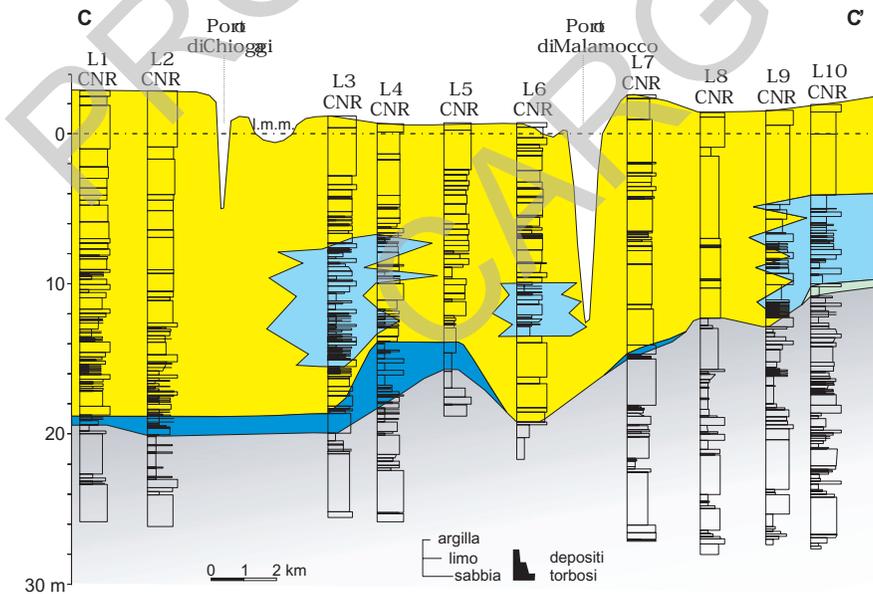


Fig. 43 - Stratigrafia del Sistema del Po, condotta in direzione S-N lungo il litorale da Sottomarina al Porto di Lido (l'ubicazione è indicata in Fig. 40, la legenda in Fig. 41).

Verso terraferma, alla base della sequenza olocenica, si rinvencono sedimenti fluvio-lacustri prevalentemente limoso-argillosi e talora ricchi di sostanza organica, depositi durante i processi di sovralluvionamento causati dalla deglaciazione e dal conseguente sollevamento relativo del livello marino; verso mare essi sono in genere sostituiti da *facies* marine trasgressive granulometricamente fini. Le unità descritte, che segnano l'inizio della sedimentazione olocenica, localmente raggiungono spessori pari anche a 3 m; in esse la frequente presenza di particolari strutture sedimentarie, quali ad esempio tasche di erosione e livelli caotici contenenti breccie di suolo strappate dal tetto delle sottostanti unità continentali pleistoceniche, indica un elevato grado di rimaneggiamento (GATTO & PREVIADELLO, 1974; TOSI, 1994c).

Nel settore centro-orientale del territorio esaminato un corpo costituito da unità sabbioso-limose di ambiente litorale di spiaggia, rappresentative di *facies* di barriera trasgressiva alla base e di cordone litoraneo progradante al tetto, poggia con contatto netto sui sedimenti marini precedentemente citati, o, localmente, direttamente sul *Supersintema di Mestre*. Verso est questa sequenza litorale è interrotta dalla presenza di un corpo cuneiforme costituito da *facies* di prodelta granulometricamente più fini, il cui spessore si riduce progressivamente verso il largo; inoltre nei depositi di spiaggia sono talora presenti orizzonti lagunari, che si sono formati probabilmente in limitati spazi depressi localizzati tra successivi cordoni.

Ad occidente i sedimenti di barriera trasgressiva sono a contatto con quelli lagunari limoso-argillosi di retrobarriera, i quali poggiano in discontinuità sui depositi fluvio-lacustri olocenici o, dove questi mancano, su quelli continentali tardo-pleistocenici.

I depositi di retrobarriera, di barriera trasgressiva e della parte inferiore del cuneo di prodelta costituiscono il *Transgressive Systems Tract* (TST); seguono verso l'alto quelli rappresentativi della successiva fase progradazionale iniziata circa 6.500 anni B.P., la quale si identifica con l'*Highstand Systems Tract* (HST). L'accumulo di questi ultimi è stato favorito da un elevato apporto clastico fluviale, combinato con la notevole riduzione del tasso di sollevamento del livello marino. Alle spalle dei cordoni litoranei progradanti si è sviluppata un'ampia laguna, i cui depositi, in posizione interna, risultano essere spesso eteropici con *facies* alluvionali e palustri di acqua dolce, rappresentative di corpi deltizi originati da antichi percorsi del Fiume Brenta, che defluivano direttamente in laguna.

PROGETTO
CARG

V - CARTOGRAFIA

La Carta Geologica del Foglio “Chioggia-Malamocco” è stata realizzata mediante la raccolta, l’analisi, l’elaborazione e l’interpretazione dei numerosi dati inerenti la Laguna di Venezia, il bacino scolante e le zone marine immediatamente adiacenti alla laguna stessa, in parte pregressi, in parte acquisiti nell’ambito del progetto CARG.

A tal fine sono stati condotti studi di carattere geologico, geomorfologico, sedimentologico, mineralogico, paleontologico e geofisico su tutto il territorio in esame. Le indagini svolte, tra loro complementari, possono essere riassunte come segue.

- Raccolta, verifica ed interpretazione dei dati geognostici esistenti (sondaggi, trivellate, profili pedologici, analisi dei suoli), forniti dalla Regione del Veneto, dalla Provincia di Venezia, dal Servizio Informativo del Magistrato alle Acque, dal Settore Ambiente della Provincia di Padova e dall’ARPAV, i quali sono stati integrati sia con quelli dedotti da fonti bibliografiche e cartografiche esistenti (informazioni di tipo geologico, geomorfologico, storico, ecc.), che con quelli ricavati da studi editi e/o inediti compiuti presso il CNR - ISMAR nell’ambito di altri progetti di ricerca.
- Analisi ed interpretazione dei dati altimetrici relativi alle terre emerse e di quelli batimetrici dei fondali lagunari e dell’Alto Adriatico, finalizzate allo studio morfologico dell’area; a tale proposito è stata consultata anche la Carta Altimetrica del territorio fornita dalla Provincia di Venezia.
- Osservazione di numerose fotografie aeree appartenenti a strisciate diverse, scattate a partire dal 1955 fino al 1999, al fine di individuare i principali lineamenti morfologici dell’area e distinguere le variazioni tessiturali del terreno, agevolando così la mappatura dei limiti litologici relativi alle unità da cartografare.
- Rilevamento diretto sul terreno.

- Realizzazione di nuovi carotaggi, trivellate, trincee e campionamenti finalizzati al Progetto CARG.
- Studio sedimentologico e stratigrafico dei depositi affioranti e subaffioranti campionati nel corso dei sondaggi di cui si è parlato nel punto precedente o eseguiti nell'ambito di altri Progetti di Ricerca. In particolare, ai fini della realizzazione della Carta Geologica di superficie, in terraferma sono stati presi in considerazione solo i sedimenti presenti fino a circa 1,5 m di profondità, escludendo, se ritenuto opportuno, i primi 40-50 cm, che in genere rappresentano l'orizzonte di suolo lavorato, caratterizzato da tessiture mescolate o da riporti; in laguna ed in Adriatico, invece, data la difficoltà di prelievo delle carote con semplici strumenti manuali, lo studio dei depositi cartografati è stato effettuato su sedimenti talora profondi non più di 1 m.
- Interpretazione dei risultati ottenuti sottoponendo ad analisi di laboratorio i campioni prelevati nel corso dei sondaggi (analisi micropaleontologiche, mineralogiche e datazioni).
- Esecuzione di indagini sismiche ad alta risoluzione, effettuate in laguna ed in Alto Adriatico con il supporto del Dipartimento di Geofisica della Litosfera dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste (OGS), ed interpretazione dei relativi risultati.

Seguendo le indicazioni fornite dal Servizio Geologico Nazionale (ora APAT), la Carta Geologica di superficie in scala 1:50.000 è stata ottenuta mediante un'operazione di sintesi interpretativa delle carte prodotte durante i rilievi e le elaborazioni, realizzate inizialmente alla scala 1:10.000 e poi ridotte alla scala 1:25.000.

Durante la fase di avvio delle indagini è stata allestita una legenda che, rispettando le normative CARG per la cartografia del Quaternario, permettesse di rappresentare e classificare con chiarezza i vari tipi di deposito e di evidenziare le principali caratteristiche geomorfologiche dell'area. Ad essa sono state successivamente apportate alcune modifiche, sia in base agli aggiornamenti suggeriti dall'APAT, che in risposta alle nuove necessità che via via emergevano nel corso dell'elaborazione della Carta Geologica.

I diversi corpi sedimentari sono stati classificati utilizzando le *Unconformity Bounded Stratigraphic Units* (UBSU) e raggruppati pertanto in supersintemi, sistemi e subsintemi (Cap. IV-3). Le varie unità stratigrafiche sono state definite in base all'età, all'ambiente di deposizione, alla tessitura dei sedimenti costituenti ed alle discontinuità che le delimitano (RIZZETTO *et alii*, 2005).

Per quanto concerne l'età dei depositi, come già espresso nel Capitolo IV, sono state individuate unità oloceniche (*Sintema del Po*, suddiviso a sua volta in *Unità di Torcello* ed *Unità di Malamocco*) ed unità riferibili al Pleistocene superiore (*Supersintema di Mestre* ed *Unità di Correzzola*).

Osservando il prodotto cartografico finale appare evidente che la maggior parte dei depositi affioranti e subaffioranti appartiene al *Sintema del Po*, in quanto di

età olocenica. L'*Unità di Torcello* e l'*Unità di Malamocco* sono state cartografate separatamente nelle aree in cui si è potuta riconoscere ed estendere lateralmente la superficie di discontinuità che le separa; altrove, nei casi in cui le informazioni utili all'identificazione di tale limite erano scarse o discontinue, i sedimenti sono stati attribuiti in modo indifferenziato al *Sistema del Po*.

Depositi pleistocenici affioranti, appartenenti al *Supersistema di Mestre*, sono stati rinvenuti solo nell'ambito del bacino lagunare, sia in corrispondenza delle fosse ubicate presso le bocche di porto, che dei canali più profondi: l'interpretazione congiunta dei sondaggi geognostici e dei profili sismici ne ha resa possibile l'individuazione. Sedimenti riferibili al Tirreniano affiorano nella fossa situata presso la Bocca di Malamocco, dove il tetto dell'*Unità di Correzzola* è stato individuato a circa 50 m di profondità, sia mediante lo studio di carotaggi (CALDERONI *et alii*, 1998; CALDERONI *et alii*, 2000), sia attraverso l'interpretazione dei profili sismici VHR. L'esigua estensione dell'affioramento non ne ha permesso però la mappatura alla scala 1:25.000 e 1:50.000.

Esigenze legate alla particolare natura e conformazione del territorio hanno reso necessario distinguere e rappresentare in dettaglio gli ambienti deposizionali; pertanto i sedimenti cartografati sono stati attribuiti ai sistemi alluvionale, deltizio, litorale lagunare, litorale di spiaggia e di piattaforma. Inoltre sono stati indicati i depositi di origine antropica (bonifiche per colmata, sedimenti rimaneggiati dall'attività umana). Per quanto concerne i depositi di piattaforma affioranti nell'Adriatico settentrionale, il limite tra questi e quelli litorali di spiaggia è stato posto approssimativamente in corrispondenza della linea batimetrica -10 m, dove si verifica anche un'evidente variazione litologica, con brusco passaggio da sabbie limose a sedimenti limosi granulometricamente assai più fini; per fare ciò si è fatto riferimento alle indicazioni riportate in ALBANI *et alii* (1998).

Dal punto di vista litologico, a causa della continua variabilità composizionale dei depositi, si è deciso di distinguere solo quattro classi granulometriche principali, ovvero sabbia, limo, argilla e torba, e di attribuire i sedimenti aventi composizione intermedia ad una di queste categorie in funzione della classe granulometrica in essi prevalente. Non sono state considerate le isolate segnalazioni di affioramenti litologicamente diversi da quelli circostanti, sia perché queste indicazioni potevano non essere attendibili, sia perché, se reali, avrebbero comportato l'individuazione di unità non cartografabili alla scala richiesta dal rilevamento.

Per quanto concerne l'aspetto geomorfologico, sulle carte sono stati tracciati solo i lineamenti che hanno contribuito all'identificazione dei depositi esaminati e quindi utili per distinguere le varie *facies* e per attribuire le diverse unità ad un determinato sistema deposizionale; pertanto si è ritenuto opportuno indicare le tracce dei paleoalvei, i dossi particolarmente pronunciati (per individuare la direzione di sviluppo dei maggiori corpi deposizionali fluviali, in assenza di evidenze di canale o nei casi in cui esse si presentavano particolarmente discontinue, e giu-

stificare l'affioramento di estesi depositi ben definiti di sabbie e limi sabbiosi), le tracce dei paleocanali lagunari e degli antichi cordoni litoranei. E' stata segnalata anche la posizione delle principali antiche bocche lagunari, considerate importanti per comprendere l'evoluzione geologica del territorio. Altri elementi minori individuati nel corso delle indagini, benché siano serviti all'interpretazione paleoambientale dei depositi, sono stati volontariamente omessi per non ostacolare la lettura e l'interpretazione della Carta Geologica.

Le diverse informazioni elaborate sono state riportate sulla carta mediante l'uso combinato di simboli e colori.

L'età di ciascuna unità stratigrafica è stata rappresentata utilizzando un colore di fondo predefinito; di questo sono state scelte tonalità diverse per distinguere unità di ordine inferiore appartenenti alla medesima epoca. Infine, sfumature differenti di ogni tonalità sono servite per rappresentare gli ambienti deposizionali.

Le caratteristiche tessiturali dei sedimenti sono state indicate mediante simboli, tracciati con colori diversi in funzione dei processi genetici responsabili della formazione dei relativi depositi. Lo stesso dicasi dei lineamenti geomorfologici, rappresentati con opportuna simbologia semplificata e disegnati con tinte tali da evidenziarne la genesi prevalente.

Il prodotto finale così ottenuto ha lo scopo di mostrare la distribuzione, i reciproci rapporti e le caratteristiche litologiche e di *facies* delle unità stratigrafiche affioranti e subaffioranti nell'area; la base topografica di fondo ne permette l'immediata localizzazione.

1. - LA CARTA GEOLOGICA DEL FOGLIO "CHIOGGIA-MALAMOCCO"

Il Foglio "Chioggia-Malamocco" comprende la parte meridionale della Laguna di Venezia, la contigua porzione di bacino scolante, i cordoni litorali che separano la laguna dal mare, e su cui sono presenti le spiagge di Lido, Pellestrina e Sottomarina, e la stretta fascia di Adriatico settentrionale ad essi adiacente.

Il settore di terraferma è costituito prevalentemente da terreni coltivabili, parte dei quali, soprattutto a ridosso del margine lagunare, giace sotto il livello del mare: qui impianti idrovori e canali di scolo assicurano lo smaltimento delle acque per consentire il normale svolgimento delle attività agricole.

Il territorio è attraversato da due importanti corsi d'acqua, il Brenta ed il Bacchiglione. Il primo scorre in direzione NO-SE fino al margine meridionale della laguna, parallelamente al quale prosegue poi verso est; al Porto di Brondolo, situato poco più a sud del limite sud-orientale del Foglio Chioggia, sfocia quindi in Adriatico. Il secondo, più meridionale, segue invece un percorso ONO-ESE e confluisce nel Brenta a sud del bacino lagunare.

Gran parte del settore di pianura compreso nel Foglio "Chioggia" appartiene

alla porzione terminale del sistema deposizionale olocenico del Brenta che confina a sud con quello olocenico dell'Adige (Cap. II-2).

L'individuazione di numerose tracce di corsi fluviali estinti ha fornito un utile supporto alla conoscenza degli eventi responsabili dell'evoluzione geologica e geomorfologica del territorio; la notevole variabilità dei percorsi, associata a frequenti cambiamenti di tessitura nei depositi, sia in superficie che in profondità, costituisce l'evidenza di un ambiente alluvionale complesso, sviluppatosi in condizioni assai mutevoli nel tempo. Ne è testimone anche la presenza di ampi ventagli di rotta distribuiti in tutta l'area.

Le tracce dei paleoalvei, quasi ovunque molto abbondanti, scarseggiano solo nel settore nord-occidentale; esse appaiono in genere molto sinuose, ramificate, sottili e discontinue, per cui solo localmente consentono di individuare direzioni preferenziali di deflusso. I dossi invece, sviluppati con continuità sull'intero territorio e separati da evidenti aree depresse, permettono di riconoscere più agevolmente la disposizione delle antiche direttrici fluviali. L'analisi della distribuzione di questi elementi ha evidenziato la presenza di due principali sistemi, sviluppati rispettivamente a nord e a sud del Bacchiglione e diretti entrambi verso il margine lagunare: il primo, più settentrionale, è caratterizzato da una serie di percorsi diretti prevalentemente in senso NO-SE ed ONO-ESE, mentre il secondo, meno esteso, da direttrici orientate O-E.

Gli antichi elementi idrografici a nord del Bacchiglione corrispondono a percorsi tardo-olocenici del Brenta, connessi con un tracciato passante a NE di Padova per Vigodarzere e Ponte di Brenta, mentre quelli a sud a percorsi estinti di Adige e Po (Fig. 15) (BONDESAN & MENEGHEL, 2004). Studi precedenti (CASTIGLIONI, 1978) inducono a ritenere, infatti, che a sud del margine lagunare rimanga traccia della più antica direttrice settentrionale di deflusso del Po, passante, da ovest ad est, per Agna, Cona, Conca d'Albero e Civè e diretta verso Chioggia; un paleo-Adige, proveniente da occidente e passante per Candiana e Villa del Bosco, vi confluiva in località Conca d'Albero. Nonostante su questo antico dosso del Po siano stati rinvenuti reperti archeologici che risalgono all'Età del Bronzo (BASSAN *et alii*, 1994), considerazioni di carattere archeologico e dati storici sembrano confermare che tale corso d'acqua sia rimasto attivo fino all'epoca romana (CASTIGLIONI, 1978; BASSAN *et alii*, 1994) (Fig. 44).

I dossi individuati sul territorio in parte coincidono anche con le direttrici di deflusso più recenti, o attuali, del Brenta: trattasi in genere di inalveazioni artificiali, create dall'uomo soprattutto per impedire le continue esondazioni del fiume o per salvaguardare l'integrità della Laguna di Venezia.

Già nel 1143 il fiume fu fatto defluire lungo il Naviglio Brenta verso la città di Venezia, facendogli abbandonare i rami più meridionali, ma provocando così l'impaludamento dell'adiacente territorio di S. Ilario.

Per porre fine ai danni causati dalle sue alluvioni nel 1327 ne venne spostata la

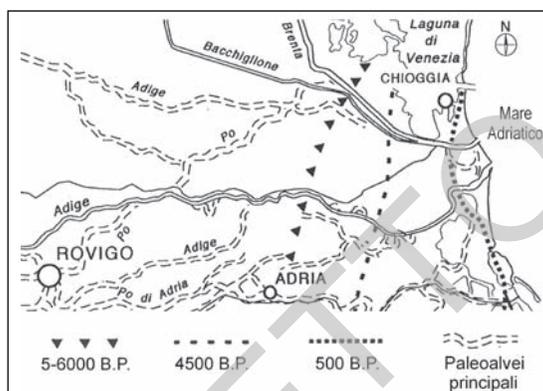


Fig. 44 - *Variazioni della linea di costa nel corso dell'Olocene e tracce dei principali paleovalvei (da BONDESAN et alii, 2001, modificata).*

foce poco più a sud, a Volpego, verso l'isola di S. Marco di Bocca Lama, situata presso il margine settentrionale del foglio.

Nel 1457 il Brenta venne deviato da Dolo verso Sambruson e da qui a Lugo, lungo la Brenta Secca, per poi defluire nel Canale Maggiore attraverso il Canale di Lugo.

Al fine di allontanare definitivamente il fiume da Venezia, nel 1488 venne decretato lo scavo del Taglio Brenta Nuova (o Brentone), che, concluso nel 1495, fu attivato nel 1507: esso portò il Brenta a scorrere verso sud, passando per Corte, fino a Conche, ad immettersi poi nel Bacchiglione (il cui corso corrispondeva a quello dell'attuale Canale di Montalbano) ed a sfociare con questo nella Laguna di Chioggia. Nel 1540 la comune foce del sistema Brenta-Bacchiglione fu estromessa dalla laguna e spostata a mare nei pressi di Brondolo, mentre nuove modifiche venivano apportate al loro tratto terminale.

Risale invece al 1610 lo scavo del Taglio Nuovissimo, realizzato da Mira a Brondolo lungo gran parte del margine di conterminazione lagunare, ed al 1840 il nuovo convogliamento delle acque del fiume entro la laguna di Chioggia, con la conseguente formazione, in meno di cinquant'anni, di un apparato deltizio che si calcolava avesse fatto scomparire oltre 30 km² di laguna portandosi a soli 3 km dalla bocca portuale di Chioggia (ZUNICA, 1974). Oggi il corrispondente territorio, in gran parte bonificato, è conosciuto con il nome di "Bonifica Delta Brenta" (Fig. 45).

A partire dal 1858 il Brenta è stato fatto defluire nella Cunetta di Stra, corrispondente all'attuale percorso, ma solo nel 1896, attraverso un'inalveazione artificiale, la sua foce è stata estromessa definitivamente dal bacino lagunare.

Da quanto detto appare evidente che parte dei sedimenti affioranti presso la fascia di bacino scolante più prossima al margine lagunare è legata all'attività deposizionale delle direttrici di deflusso documentate da fonti storiche.



Fig. 45 - Il territorio della "Bonifica Delta Brenta" in un dettaglio della Carta Geologica del Foglio "Chioggia-Malamocco".

Problematica invece è stata la collocazione temporale dei percorsi più antichi e quindi dei relativi depositi. Datazioni al radiocarbonio effettuate nel territorio permettono di stabilire che la direttrice passante per Camin, Saonara e S. Angelo è stata attiva nella prima metà del I millennio a.C. e tra il V ed il IX secolo d.C. (Fig. 15); al periodo 968-544 a.C. corrisponde anche la ripresa della sedimentazione nella piana di esondazione antistante la terminazione del dosso di Arzergrande, in corrispondenza del quale evidenze archeologiche attestano la presenza di un fiume di grandi dimensioni, presumibilmente il Brenta, in epoca romana imperiale (I-II secolo d.C) (BONDESAN & MENEGHEL, 2004). Analogamente, indizi di frequentazione risalenti all'età del Ferro, rinvenuti sul dosso che collega Sant'Angelo, Boion e Lova, suggeriscono l'esistenza di un corso d'acqua attivo nel I millennio a.C., proveniente dall'entroterra patavino (BONDESAN & MENEGHEL, 2004). La datazione di un campione, prelevato in sinistra Brenta a -1,9 m dal piano campagna lungo la direttrice S. Angelo - Campolongo - Corte ed appartenente ad un corpo fluviale sabbioso, ha fornito un'età pari a 3.740 ± 40 anni B.P. (Cal 2280-2030 B.C.,

4.230-3.980 B.P.), confermando il passaggio di un fiume già nel II millennio a.C.

La difficoltà di stabilire l'età dei depositi alluvionali deriva, quindi, non solo dalla mancata conoscenza del periodo di attività dei percorsi più antichi, ma anche dai complessi rapporti stratigrafici che sussistono tra le varie *facies*, legati alle frequenti divagazioni dei corsi d'acqua e, talora, alla riattivazione di direttrici di deflusso estinte.

Nel settore sud-occidentale del foglio alcuni campioni di torba prelevati in località diverse, a profondità variabili tra -0,60 m e -1,2 m dal piano campagna, risalgono all'età del Ferro; pertanto è assai probabile che i depositi affioranti in corrispondenza di questi siti siano pre-romani. I dati disponibili però non permettono di tracciare il limite che li separa da quelli post-romani, motivo che non ha permesso di cartografarli nell'ambito dell'*Unità di Malamocco*; di conseguenza qui, come in altri settori di terraferma, gran parte delle unità affioranti è stata attribuita indistintamente al *Sistema del Po*. All'*Unità di Torcello*, invece, sono stati assegnati tutti i depositi sicuramente legati all'attività deposizionale di corsi d'acqua attuali o comunque attivi a partire dal Medioevo, localizzati in corrispondenza dei rispettivi dossi e generalmente costituiti da sedimenti sabbioso-limosi.

Su tutta la porzione di bacino scolante analizzata, all'abbondanza di tracce di origine fluviale si contrappone la completa assenza di evidenze di ambiente lagunare, nonostante il territorio sia adiacente alla laguna: infatti fino a circa 500 anni fa la linea di demarcazione che la separava dalla terraferma era posizionata più ad est rispetto all'attuale a causa dell'attività deposizionale dei rami del Brenta che vi si immettevano dando origine ad apparati deltizi (Fig. 15). Solo con l'estromissione del fiume i precedenti ambienti dulcicoli iniziarono a regredire, favorendo così l'espansione del bacino lagunare verso l'entroterra: questo processo venne interrotto con la realizzazione della conterminazione lagunare, un'arginatura completata nel 1791, che impedì che la laguna potesse invadere anche la pianura alluvionale più a monte.

Attualmente rimangono residui di vecchi depositi lagunari a NE di Campagna Lupia, dove sembra esistessero, in passato, anche valli da pesca (Fig. 46).

Tutta la fascia di laguna sviluppata a ridosso del limite di conterminazione è attualmente caratterizzata dalla presenza di barene, che si sono formate per ingressione marina su torbiere e paludi di acqua dolce; qui si riconoscono morfologie e depositi geneticamente connessi soprattutto agli apparati di foce endo-lagunari formati dai percorsi estinti del Brenta di cui si hanno notizie storiche.

A partire dal settore settentrionale del foglio, le prime unità di ambiente delizioso rilevate in laguna sono quelle presenti nella zona di Volpego e del Lago dei Teneri (Fig. 47), dove fu deviato il tratto terminale del fiume nel XIV secolo.

Poco più a sud rappresentano corpi di origine alluvionale-deltizia il dosso delle Giare e la stretta penisola entro cui scorre il Canal di Lugo (Fig. 48).

Le datazioni effettuate su resti di tronchi raccolti a poco più di 1 m di profon-

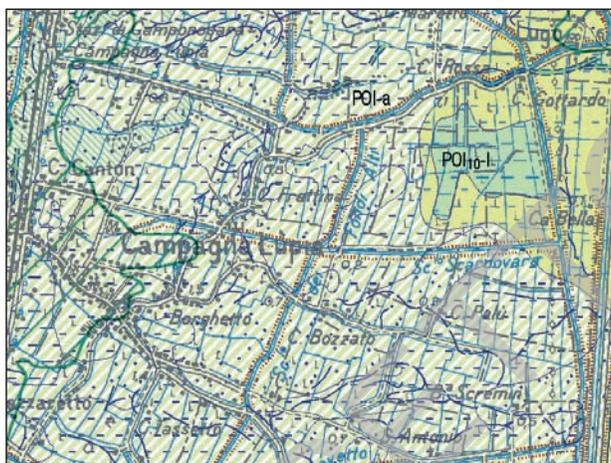


Fig. 46 - Dettaglio della Carta Geologica del Foglio "Chioggia-Malamocco": depositi lagunari in terraferma a NE di Campagna Lupia.

dità a Torson di Sopra e presso il Lago dei Teneri hanno fornito un'età rispettivamente pari a 1.140 ± 45 B.P. e 1.515 ± 85 B.P. (MARCELLO & SPADA, 1968), mentre sedimenti torbosi di ambiente dulcicolo, prelevati a Torson di Sotto a circa -1,35 m ed a -1,95 m, risalgono rispettivamente a 1.140 ± 80 anni B.P. ed a 1.730 ± 80 anni B.P. (PIRAZZOLI *et alii*, 1981). Questi dati suggeriscono che la direttrice di deflusso passante per Stra fosse attiva in epoca romana, tardo-romana ed alto-medievale; le acque del Brenta si potevano poi riversare in laguna attraverso le

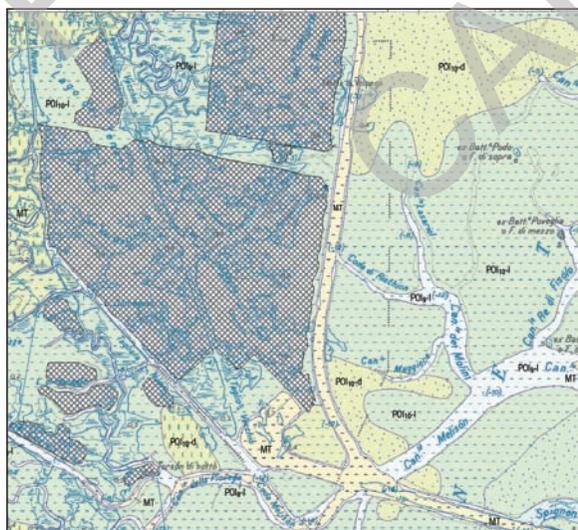


Fig. 47 - Depositi deltizi nel settore settentrionale della Carta Geologica del Foglio "Chioggia-Malamocco".

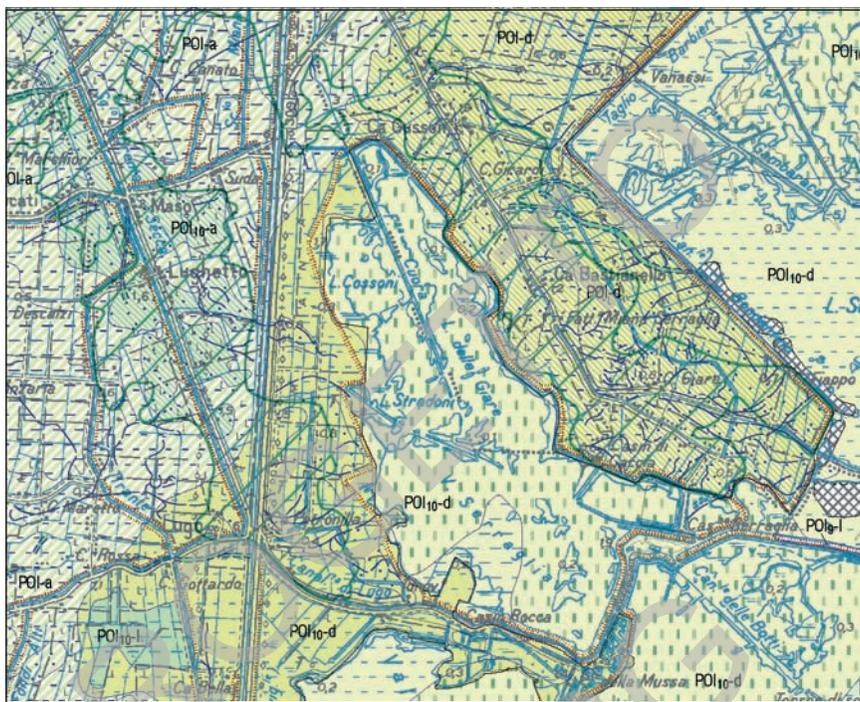


Fig. 48 - Dettaglio della Carta Geologica del Foglio "Chioggia-Malamocco": il Dozzo delle Giare ed il Canale di Lugo.

diramazioni costituenti il dosso di Lugo ed il dosso delle Giare (BONDESAN & MENEGHEL, 2004). In particolare hanno età tardo-romana le torbe palustri rinvenute a circa 0,95 m di profondità in corrispondenza del Lago delle Giare, a sud dell'omonimo dosso, mentre i sedimenti organici prelevati a -1,40 m dal piano campagna, sulla stretta penisola attraversata dal Canale di Lugo (Fig. 48), sono successivi, in quanto risalgono a 730 ± 60 anni B.P. (Cal. 1200-1320 A.D., 750-630 B.P.; 1350-1390 A.D., 600-560 B.P.). Essi costituiscono il substrato di margine lagunare interno (DONNICI & SERANDREI BARBERO, 2004) su cui poggiano i sedimenti deposti con l'immissione del Brenta nel Canale di Lugo, per cui si ritiene che la genesi delle barene, di cui si hanno evidenze certe tra -1 m e -0,50 m, sia conseguenza dell'instaurarsi di un ambiente deltizio.

La presenza di ulteriori significativi spessori di torbe, limi ed argille palustri, sotto i reperti datati, indica che una massiccia invasione di acque dolci, dovuta ad una migrazione del Brenta, può essere avvenuta circa 2.500 anni fa (FAVERO & SERANDREI BARBERO, 1980). Ciò sembrerebbe confermato dai risultati ottenuti sottoponendo all'analisi pollinica un campione di limo argilloso raccolto a circa 2,20

m di profondità, poco sotto le torbe che hanno fornito l'età più antica sopra esposta: questo livello, infatti, potrebbe essere anteriore all'occupazione romana, non presentando specie introdotte dall'uomo (PIRAZZOLI *et alii*, 1981; HOROWITZ, 1967).

Sembra che già in epoca romana Torson di Sotto fosse circondata da paludi e canneti; durante il Medioevo la loro estensione verso mare era tale che nella zona lagunare adiacente al litorale di Alberoni, nei pressi dell'attuale Porto di Malamocco, agli inizi del 1300 esistevano proprietà pubbliche e private che comprendevano rii, barene, torbiere, velme, lame e spiagge e vi crescevano giuncaglie (FAVERO *et alii*, 1988).

Solo dopo il Mille, comunque, si ha sicura notizia che il Brenta proseguisse da Stra verso Oriago e Fusina, ma anche lungo questo tratto frequenti sono state le sue deviazioni, soprattutto sulla destra, ed in particolare da Dolo verso Sambruson, da Mira verso Gambarare ed il dosso delle Giare, oppure verso Dogaletto e S. Ilario (FAVERO *et alii*, 1988).

Estesi depositi deltizi affiorano anche nel settore meridionale del bacino lagunare; essi appartengono prevalentemente all'ampio apparato di foce formatosi, nella seconda metà del XIX secolo, in seguito all'ultima immissione del Brenta nella laguna meridionale. In terraferma, il substrato su cui poggiano queste unità è localmente caratterizzato dalla presenza di sedimenti organici di ambiente palustre, talora salmastro, i quali, a profondità variabile tra 0,80 m e 1,40 m dal piano campagna, risalgono al periodo compreso tra i secoli XI e XIII.

In laguna, invece, a nord della "Bonifica Delta Brenta", è interessante notare la presenza di sedimenti organici palustri e di barena di genesi deltizia. Alcuni campioni datati, prelevati in quest'area a profondità inferiori ad un metro dal fondale, risultano avere età tardo-romana e medioevale. I relativi depositi poggiano su un substrato continentale, generalmente torboso, di età romana. Risulta difficile stabilire a quale percorso del Brenta sia principalmente legata la loro origine: non è escluso che derivino dall'attività deposizionale dei corsi d'acqua di cui sono state riconosciute tracce presso la "Bonifica Delta Brenta", a monte del margine lagunare interno del XVI secolo, mediante lo studio della cartografia storica (BONDESAN & MENEGHEL, 2004) (Fig. 15). Gli elementi attualmente disponibili non consentono di confermare tale ipotesi, dato che mancano precise informazioni inerenti la loro effettiva esistenza ed il relativo periodo di attività.

In base alle considerazioni finora esposte appare evidente quindi che gran parte dei depositi deltizi cartografati ha età post-romana.

In mancanza di sufficienti dati cronologici, sono stati invece indistintamente attribuiti al *Sintema del Po* sia i depositi presenti presso il dosso delle Giare (Fig. 48), perché sembra che esso corrispondesse ad un percorso del Brenta attivo già in epoca romana (FAVERO, 1989; BONDESAN & MENEGHEL, 2004), che quelli più meridionali protesi verso Punta Monticello (Fig. 49), dato che non si hanno sicure notizie relative all'esistenza di percorsi post-romani del Brenta sfocianti in

Valle Ghebo Storto ed in Valle Morosina; sedimenti datati in corrispondenza di quest'ultimo apparato deltizio sembrano essere infatti più antichi (Fig. 15). In particolare, nel settore di terraferma ad esso adiacente si riconoscono direttrici di deflusso provenienti da ovest collegate all'antico tracciato di Arzergrande, le quali si interrompono presso il margine lagunare.

Dal punto di vista litologico tutti i depositi deltizi cartografati sono caratterizzati dalla presenza di torbe e di limi ed argille organiche; tali depositi spesso risultano parzialmente sepolti sotto una coltre sottile di sedimenti lagunari, la cui presenza è stata considerata trascurabile.

Durante la realizzazione della Carta Geologica, dovendo tracciare il limite di separazione tra depositi alluvionali e depositi deltizi con la consapevolezza che in genere il passaggio avviene in modo graduale, laddove questa fascia di transizione era particolarmente sviluppata si è deciso di indicare le unità in essa affioranti con il colore indicativo dell'ambiente deposizionale deltizio ed il simbolo tessiturale dei relativi sedimenti con quello rappresentativo della genesi alluvionale. E'

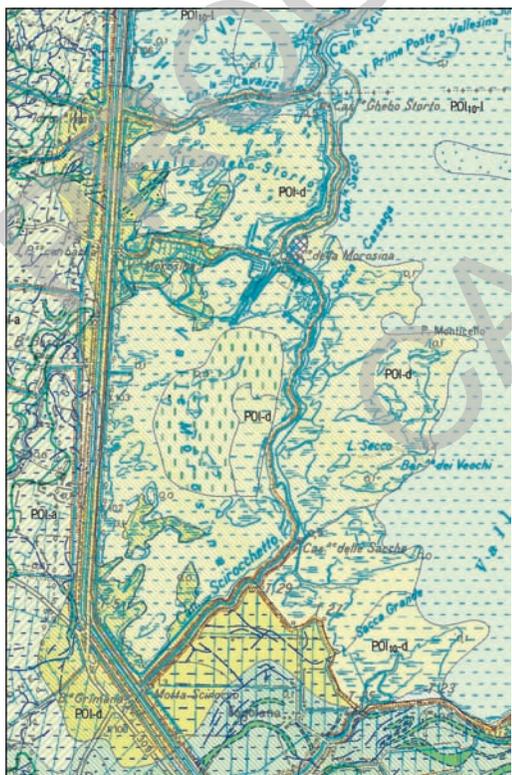


Fig. 49 - Dettaglio della Carta Geologica del Foglio "Chioggia-Malamocco": depositi deltizi attribuiti al Sintema del Po nel settore sud-occidentale della Laguna di Venezia.

il caso, ad esempio, del dosso delle Giare o del corpo fluviale presente lungo la fascia di terraferma adiacente al margine meridionale del bacino lagunare.

Influenzato dalle preesistenti condizioni morfologiche della pianura alluvionale a cui si è sovrapposto, l'evento trasgressivo post-glaciale non ha interessato contemporaneamente tutto il comprensorio lagunare veneziano: nell'attuale settore meridionale, originariamente più depresso rispetto a quello settentrionale, i primi depositi marini risalgono infatti a circa 11.000 anni fa (BORTOLAMI *et alii*, 1984), mentre più a nord i litorali di Lido e di Cavallino non sono stati raggiunti dall'ingressione prima di 7.000 anni fa (TOSI, 1994c). In quest'area, infatti, la presenza di un dosso ampio e piatto a NO di Venezia, proteso verso mare in corrispondenza della bocca di Lido ed attribuibile ad un percorso pleistocenico del Brenta (FAVERO *et alii*, 1988; TOSI, 1994c), ha condizionato anche la morfologia e la disposizione del cordone litoraneo alle cui spalle si è evoluto il primo bacino lagunare: a partire da Jesolo tale cordone probabilmente si raccordava alla zona di S. Nicolò di Lido passando poco a monte dell'allineamento S. Erasmo - Lio Piccolo - Lio Maggiore (FAVERO, 1985; FAVERO *et alii*, 1988; BLAKE *et alii*, 1988), quindi proseguiva verso SO, attraversava la laguna meridionale nei pressi del Canale di Val Grande e raggiungeva così il territorio di Cavarzere (FAVERO *et alii*, 1988). Questo allineamento non corrisponde in realtà alla posizione più interna raggiunta dalla costa durante l'acme della trasgressione, ma è ad essa posteriore: l'identificazione della linea di massima ingressione, che alcuni Autori attribuiscono all'Atlantico medio (BONDESAN *et alii*, 1995), è resa difficile dalla scarsa disponibilità di testimonianze stratigrafiche: dagli studi finora condotti sembra passasse in corrispondenza della direttrice Conche-Cavarzere, senza tuttavia raggiungere la zona di Cantarana (FAVERO & SERANDREI BARBERO, 1978; BONDESAN *et alii*, 1995; RIZZETTO *et alii*, 2002) (Fig. 44; Posizione X in Fig. 50). L'assenza di evidenze superficiali di antichi apparati costieri e la graduale transizione da depositi di ambiente marino litorale a quelli di ambiente fluviale, inducono a ritenere che la costa non si sia stabilizzata in questa posizione per un periodo sufficientemente lungo da permettere l'elaborazione di cordoni litoranei rilevanti e che un attivo apporto clastico fluviale abbia determinato una graduale regressione (FAVERO & SERANDREI BARBERO, 1978; GATTO, 1984; FAVERO, 1999).

L'apparato costiero più interno finora identificato corrisponde all'allineamento che dalla zona di Porto di Malamocco prosegue parallelamente al Canale di Val Grande e poi si divide originando due distinti cordoni, entrambi caratterizzati da debole risalto morfologico ed aventi direzione NE-SO (Fig. 51, Fig. 52): il più occidentale è allungato verso Punta del Cane, l'altro, invece, continua verso Motta dell'Aseo dove si avvicina al margine meridionale della laguna. Essi potrebbero indicare la posizione assunta dal litorale circa 4.500 anni B.P. (Fig. 44, Fig. 50), di cui si hanno evidenze chiare e continue anche nella piana costiera estesa più a sud, tra i fiumi Brenta ed Adige (FAVERO & SERANDREI BARBERO, 1978; 1980).



Fig. 50 - Rappresentazione delle variazioni della linea di costa in un'immagine satellitare ASTER: (X) 5-6.000 anni B.P.; (Y) 4.500 anni B.P.; (Z) 3.000 anni B.P.; (W) 2.500 anni B.P. (da RIZZETTO et alii, 2003).

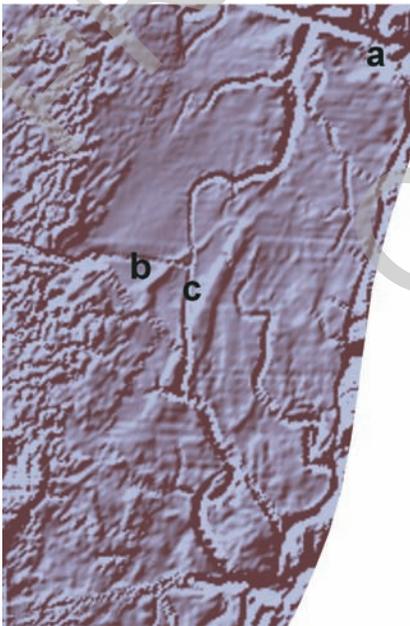


Fig. 51 - Shaded Relief Map della batimetria di un settore lagunare a sud del Canale dei Petroli (a). In questa elaborazione sono stati evidenziati due antichi cordoni litoranei (b,c).

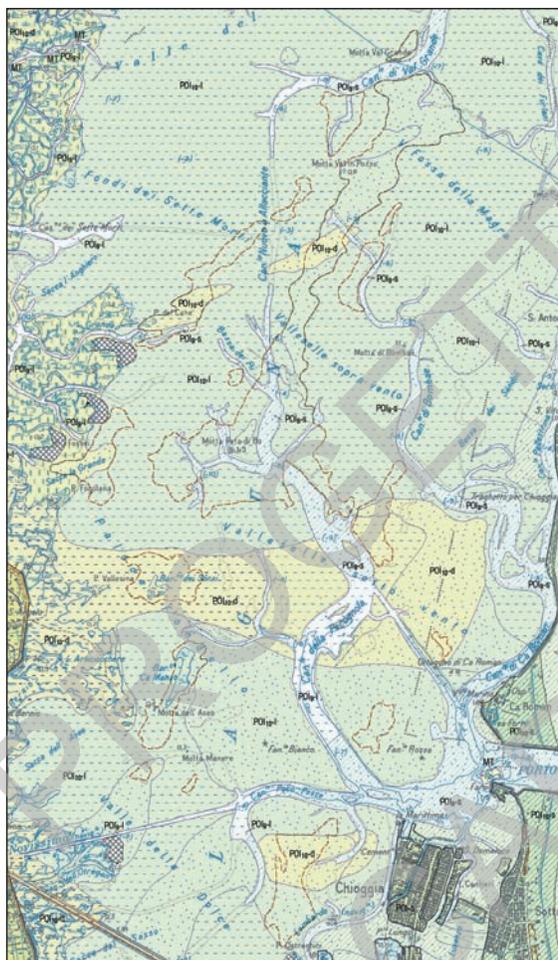


Fig. 52 - Dettaglio della Carta Geologica del Foglio "Chioggia-Malamocco": tracce di antichi cordoni litoranei nel settore meridionale della Laguna di Venezia.

Un altro breve allineamento sommerso, avente analoga direzione, si individua poco più ad est, nella zona del Porto di Chioggia: mancano informazioni cronologiche ad esso relative, ma studi precedenti lo fanno risalire al periodo compreso tra 3.000 e 2.500 anni B.P. (Fig. 52).

Le appendici sabbiose emerse a sud di Chioggia, situate tra il Canale Lombardo e la Laguna di Lusenzo, per direzione di sviluppo e caratteristiche tessiturali dei relativi sedimenti superficiali appartengono all'ala settentrionale di un apparato deltizio avente la propria cuspide nella zona di Brondolo (BASSAN *et alii*, 1994) (Fig. 15), dove la linea di costa si trovava già in epoca romana (FAVERO, 1999; BONDESAN *et alii*, 2001). Si ritiene, pertanto, che i relativi depositi appartengano all'Unità di Malamocco.

Il lido di Sottomarina, invece, ha cominciato a formarsi a partire dal XVI secolo, dopo che la foce comune del sistema Brenta-Bacchiglione venne estromessa dalla laguna. Al suo accrescimento hanno contribuito gli apporti solidi di questi due fiumi, unitamente a quelli dell'Adige: alle spalle dell'odierna linea di costa si riconoscono tuttora le tracce dei vecchi cordoni litoranei, attualmente spianati o caratterizzati da debole rilievo, che hanno segnato le progressive fasi di avanzamento della spiaggia, nonostante siano evidenti i segni del rimaneggiamento dovuto alle attività antropiche.

L'individuazione degli antichi apparati costieri rinvenuti in laguna è avvenuta tramite la realizzazione di indagini geomorfologiche e sedimentologico-stratigrafiche. Essi non affiorano, ma risultano sepolti sotto depositi lagunari e deltizi più recenti, che si è ritenuto opportuno cartografare dato che il loro spessore è mediamente uguale ad 1 m. La presenza dei cordoni sommersi è stata comunque segnalata mediante l'opportuna simbologia geomorfologica.

Depositi sabbioso-limosi di ambiente litorale di spiaggia sono quelli che si rinvergono, invece, in corrispondenza degli apparati costieri emersi di Chioggia e Sottomarina e presso i lidi di Malamocco e Pellestrina. Poiché affiorano in aree intensamente urbanizzate, entro il primo metro di sottosuolo essi risultano essere assai rimaneggiati.

Altrove, nel bacino centro-meridionale di laguna compreso nel Foglio Chioggia, affiorano quasi esclusivamente depositi di origine lagunare, prevalentemente limosi, con contenuto variabile di sabbia e/o argilla: i sedimenti più fini si rinvergono nelle zone prossime al margine lagunare interno, in contatto laterale con i corpi deltizi descritti in precedenza, mentre sabbie con indicatori di ambiente lagunare sono presenti nell'area di Chioggia e nella fascia di laguna adiacente al litorale. Si ritiene che esse siano il frutto del rimaneggiamento e successiva rideposizione di sedimenti originariamente appartenenti a depositi di spiaggia.

In corrispondenza delle isole affiorano, invece, litologie miste di riporto, la cui genesi è stata pertanto definita antropica.

Altri depositi antropici, cartografati nel settore settentrionale del Foglio "Chioggia", corrispondono alle casse di colmata, isole artificiali realizzate in un'ampia area barenosa tra il 1963 ed il 1969; a tal fine è stato utilizzato il materiale proveniente dallo scavo del Canale dei Petroli che, collegando il Porto di Malamocco a Marghera, è stato costruito al fine di permettere l'arrivo delle petroliere alla zona industriale. Le casse di colmata avrebbero dovuto ospitare la terza area industriale, ma il progetto venne bloccato dalla Legge Speciale per Venezia del 1973; recentemente esse sono state rinaturalizzate per favorire il ricambio idrico, ripristinare l'ambiente di barena e contrastare i processi erosivi causati soprattutto dalla vicinanza con il Canale dei Petroli.

Dal punto di vista cronologico, quindi, quasi tutti i depositi sommersi cartografati in laguna sono stati attribuiti all'*Unità di Torcello*. Sedimenti più antichi

affiorano nei canali, entro i quali sono stati rinvenuti limi lagunari e sabbie di spiaggia appartenenti all'Unità di Malamocco e depositi alluvionali riferibili al *Supersintema di Mestre*: i limi lagunari dell'Unità di Malamocco sono presenti soprattutto nelle ramificazioni che si spingono verso la parte interna della laguna, mentre le sabbie di spiaggia sono state trovate nei canali prossimi al litorale, che poi attraversano l'area in cui sono stati individuati gli antichi cordoni sommersi. I sedimenti continentali del *Supersintema di Mestre* sono stati rinvenuti soprattutto nel Canale di Malamocco ed in quelli adiacenti le casse di colmata, mentre altrove se ne segnalano solo affioramenti sporadici e di esigua estensione.

Sui fondali dell'Adriatico settentrionale adiacenti al litorale sono presenti sabbie recenti di spiaggia; non è escluso che quelle che si estendono all'uscita del Porto di Chioggia, dove i processi marini erosivi sono più intensi, possano essere più antiche.

1.1. - FOGLIO ALLEGATO ALLA CARTA GEOLOGICA

(F. Rizzetto, L. Tosi, G. Brancolini, L. Baradello, F. Donda, F. Fanzutti, D. Nieto, J. Centonze)

La mappa è stata realizzata interpolando, con metodo statistico, le profondità del limite stratigrafico tra il *Supersintema di Mestre* ed il *Sintema del Po* (Cap. IV), ricavate dalle stratigrafie della Banca dati CARG e dai rilievi sismici VHR (*Very High Resolution*) (Cap. III-6.1).

In generale, la distribuzione dei dati ha consentito una buona interpolazione complessiva, mediante la quale si è giunti all'elaborazione di una mappa della profondità della superficie di separazione tra i depositi pleistocenici (*Supersintema di Mestre*) e quelli olocenici (*Sintema del Po*) (BRANCOLINI *et alii*, 2005; BRANCOLINI *et alii*, 2006). Nelle aree in cui i dati erano più numerosi è stata adottata una maglia di interpolazione più fitta, la quale ha permesso di ottenere maggiori dettagli morfologici, come evidenziato dagli andamenti più articolati delle isolinee.

Le informazioni disponibili sulla profondità della base del *Sintema del Po* nel settore nord-occidentale del foglio sono risultate troppo puntuali per essere inserite nella mappa. Dai pochi dati si può comunque dedurre che qui essa si trova a profondità non superiori a 2 m sotto il livello marino, diventando subaffiorante via via che si procede verso NO.

Le caratteristiche topografiche generali di questa superficie sono quelle della pianura tardo-pleistocenica al termine del *Last Glacial Maximum*; è opportuno comunque sottolineare che queste forme possono avere subito una parziale ri-elaborazione nel corso della trasgressione ed essere state modellate dal processo di subsidenza differenziale del comprensorio.

Nell'area indagata la profondità del limite varia da -2 m s.l.m. nel settore nord-occidentale del foglio (zona di Camponogara e Campolongo) ad oltre -22

m s.l.m. in Adriatico (settore SE del foglio). Nel settore marino, tale limite è stato posto in corrispondenza dell'affioramento del *Supersintema di Mestre* oppure dove lo spessore del *Sintema del Po* è inferiore ad 1 m.

Data la particolare disomogeneità dell'assetto morfologico della superficie limite, non è stato possibile effettuare una stima della sua pendenza media. Nel complesso sembra si possa individuare una struttura a più dislivelli, mediamente variabili da 4 a 6 m, digradante verso SE.

Valori di pendenza abbastanza elevati, misurati in direzione ONO-ESE e stimati pari a 3,5‰, sono presenti presso il settore sud-occidentale del foglio (zona di Correzzola), dove la batimetria della base del *Sintema del Po* passa da -4 m a -18 m.

Osservando l'assetto morfologico generale della superficie limite, è possibile riconoscere alcuni ampi dossi lobati ben definiti, separati da bassure, distribuiti in corrispondenza dell'attuale bacino lagunare. Analizzandone lo sviluppo, si individuano tre direttrici principali di allungamento, che, da nord a sud, possono essere schematizzate come segue: (a) Motte di Volpego - Alberoni. (b) Torson di Sotto - Litorale di Pellestrina (in particolare si individuano due lobi, dei quali quello settentrionale diretto verso San Pietro in Volta e quello meridionale verso S. Antonio); più ad ovest, nei pressi di Lugo, lungo questa direttrice si nota una debole incisione. (c) Valle Pierimpiè - Valle Millecampi - Ca Roman.

Le direzioni di sviluppo di questi dossi concordano perfettamente con quelle degli antichi percorsi fluviali individuati nell'adiacente bacino scolante nel corso delle indagini geomorfologiche ed orientati NO-SE: essi sono indicati come percorsi olocenici del Brenta (BONDESAN & MENEGHEL, 2004), ma non è esclusa la loro esistenza anche in periodi precedenti.

Nel settore indagato di Adriatico settentrionale, infine, le pendenze diventano via via più deboli allontanandosi dal litorale.

Nel foglio allegato, a complemento della mappa, sono state riportate tre sezioni geologiche, alle quali, per la descrizione, si rimanda al Cap. IV, e tre sezioni sismiche VHR. Nelle sezioni sismiche sono stati tracciati vari riflettori individuati entro i depositi del *Supersintema di Mestre* e del *Sintema del Po*, evidenziando principalmente quello che rappresenta il relativo limite stratigrafico. Per la loro identificazione e calibrazione ci si è avvalsi delle stratigrafie della Banca Dati CARG.

Di seguito si riporta una breve descrizione delle sezioni sismiche.

I profili CH_18, LI_09 e LI_16 rappresentano una sezione ortogonale alla costa ubicata nei settori lagunare e marino del foglio. La base del *Sintema del Po* si mantiene ad una profondità compresa tra 12 e 14 m ed affiora in corrispondenza del punto di scoppio 2800, con conseguente progressiva diminuzione degli spessori olocenici sovrastanti. Al punto di scoppio 1200 è presente una struttura, probabilmente costituita da sabbie cementate, che si ritiene possa rappresentare una forma relitta generatasi entro la sequenza pleistocenica. CH_42 e CH_43 appartengono ad una sezione ortogonale alla costa, che, dal margine lagunare

interno presso il limite con la terraferma, attraversa la laguna, passa per la bocca di Chioggia e termina a mare. Il profilo CH_42, acquisito nella zona meridionale della laguna, mostra una topografia del fondo lagunare regolare, mentre, procedendo verso la Bocca di Chioggia, sono frequenti le incisioni, la più profonda delle quali mostra un rilievo di quasi 25 m (parte iniziale del profilo CH_43). Tale incisione tronca sia i riflettori più superficiali sia l'orizzonte rappresentante la base dell'Olocene. In corrispondenza della bocca del Porto di Chioggia (punto di scoppio 3400) il fondo mare è caratterizzato da un corpo sedimentario, le cui caratteristiche interne suggeriscono una sua crescita per prevalente progradazione. I riflettori all'interno di tale deposito cuneiforme terminano con configurazioni a *downlap* sulla base del *Sintema del Po*. Essa si mantiene a profondità costanti di 17-20 m ed affiora in corrispondenza del punto di scoppio 7400. La sequenza stratigrafica pleistocenica più esterna è costituita da riflettori orizzontali e paralleli, di media ampiezza ed ad andamento regolare, ad eccezione dell'orizzonte di forte ampiezza a circa 10 m di profondità.

I due profili CH_15 e CH_18 sono stati acquisiti lungo il canale lagunare sviluppato alle spalle dei litorali di Pellestrina e Lido e ad essi parallelo, con direzione prevalente NE-SO. La base del *Sintema del Po* presenta una morfologia molto irregolare, con incisioni maggiori in corrispondenza di Portosecco (CH_15: 6000), dell'attraversamento del Canale di Malamocco (CH_58: 9000) e verso il Lido (CH_58: 6000), che rappresentano paleocanali olocenici, già alvei pleistocenici. La base del *Sintema del Po* si trova a 17-20 m di profondità nel settore di Chioggia e a circa -10 m in quello di Lido.

PROGETTO
CARG

VI - CARATTERISTICHE MINERALOGICHE

Come già affermato nel Cap. III-5, lo studio della distribuzione spazio-temporale del contenuto mineralogico dei sedimenti ha contribuito alla comprensione dell'evoluzione paleogeografica del comprensorio veneziano.

Presso l'area costiera veneziana anche in passato confluivano gli apporti sedimentari dei fiumi Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione, Adige e Po e, più ridotti, quelli dei corsi d'acqua di risorgiva, tra i quali, ad esempio, il Sile.

Nel corso di tutto l'Olocene quest'area è stata una zona di transizione complessa, caratterizzata da settori di terraferma, laguna, litorale e mare, i cui limiti, nel corso dei millenni, sono cambiati, prima per cause naturali, poi per azioni antropiche. I processi idrodinamici fluviali, marini e lagunari passati ed attuali hanno causato un parziale rimescolamento dei sedimenti, comportando notevoli difficoltà nel distinguere i diversi contributi dei corsi d'acqua.

Al fine di contribuire alla ricostruzione degli antichi percorsi fluviali ed alla delimitazione dell'evoluzione paleogeografica del comprensorio veneziano sono stati raccolti, selezionati ed omogeneizzati i dati pregressi (GAZZI *et alii*, 1973; JOBSTRAIBIZER & MALESANI, 1973; BARILLARI *et alii*, 1975; BARILLARI, 1978; 1981; HIEKE MERLIN *et alii*, 1979; BONARDI & TOSI, 1994a; 1995a; 1995b) ed integrati con nuove analisi effettuate nell'ambito del Progetto CARG.

1. - COMPOSIZIONE MINERALOGICA DELLE ARGILLE DEL SOTTOSUOLO LITORANEO

Lo studio mineralogico delle argille del sottosuolo litoraneo compreso tra le foci dei fiumi Brenta-Bacchiglione e Sile è stato effettuato nell'ambito di una serie di indagini multidisciplinari su 18 carotaggi mediamente spinti alla profondità di 30 m (BONARDI & TOSI, 1994a; 1994b, 1995a; 1995b; 1997; BONARDI *et alii*, 1997).

Di seguito si riporta una sintesi per il settore litoraneo relativo al Foglio "Chioggia-Malamocco".

La composizione mineralogica media delle argille appartenenti al *Sintema del Po* ed al *Supersintema di Mestre* del sottosuolo dei litorali di Chioggia, Pellestrina e Lido è indicata in Fig. 53. I campioni sono stati distinti in tre gruppi: due per il *Supersintema di Mestre*, ovvero le argille normalmente consolidate (Pa) e quelle sovraconsolidate (Pc) appartenenti al suo livello sommitale (*caranto*), ed uno (Ol) per il *Sintema del Po*.

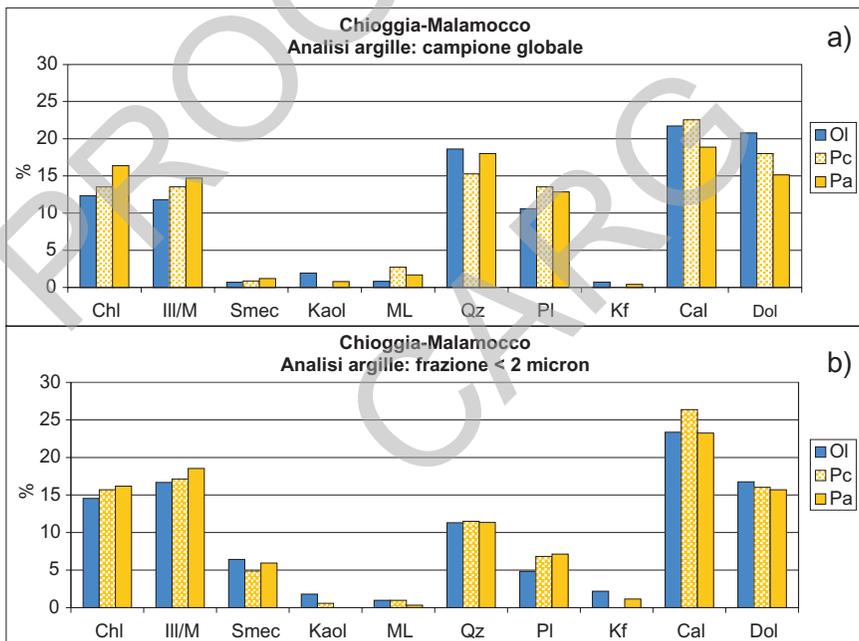


Fig. 53 - (a) Composizione mineralogica media dei tre gruppi di campioni tal quale (Ol, Pc, Pa). Chl=clorite, Ill/M=illite/mica, SKM=smectite+caolinite+strati misti, Qz=quarzo, Cal=calcite, Dol=dolomite; (b) Composizione mineralogica media della frazione argillosa ($\phi < 2 \mu\text{m}$) dei tre gruppi di campioni (O, Pc, Pa). Chl=clorite, Ill/M=illite/mica, Smec=smectite, Qz=quarzo, Pl=plagioclasio, Kf=K-feldspato, Cal=calcite, Dol=dolomite, Kaol= caolinite, ML= minerali argillosi a strati misti.

Da una prima osservazione, si nota che i tre gruppi di campioni hanno la medesima composizione mineralogica principale, ma con percentuali medie dei singoli minerali a volte differenti. I minerali più abbondanti sono la calcite, la dolomite ed il quarzo, seguiti da clorite, illite/mica e plagioclasti; sono presenti tracce di feldspati, smectite, minerali argillosi a strati misti e caolinite. La percentuale media di dolomite cresce dai depositi del *Supersistema di Mestre* a quelli del *Sistema del Po*, mentre la calcite raggiunge la massima concentrazione media nel *caranto*. Dal *Supersistema di Mestre* al *Sistema del Po* diminuiscono i minerali argillosi, mentre le percentuali medie di quarzo rimangono quasi costanti.

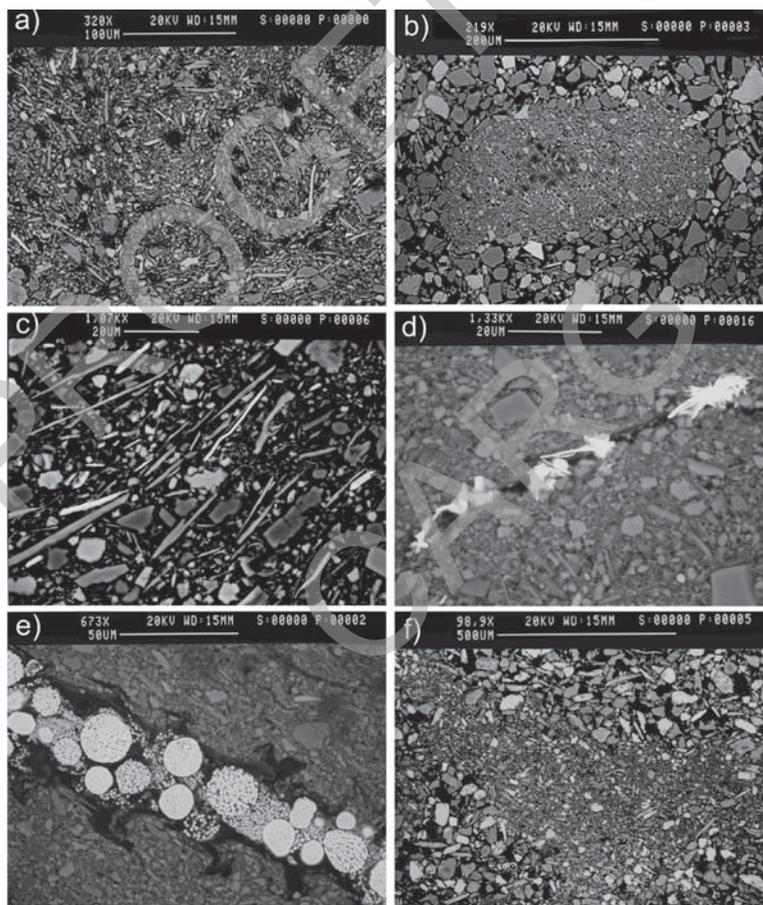


Fig. 54 - Caratteristiche mineralogiche e tessiture degli strati argillosi del Supersistema di Mestre e del Sistema del Po (da BONARDI & TOSI, 1994a; 1995b; BONARDI et alii, 1997; BONARDI et alii, 2004).

Per una specifica caratterizzazione dei singoli minerali argillosi è stata effettuata anche l'analisi della sola frazione argillosa ($\text{Ø} < 2 \mu\text{m}$) (Fig. 53b). I minerali principali componenti questa frazione sono la calcite, l'illite/mica, la dolomite e la clorite, mentre quelli secondari sono il quarzo, la smectite ed i plagioclasti; infine sono presenti tracce di caolinite e di minerali argillosi a strati misti. La quantità di dolomite è simile per i tre gruppi, mentre la calcite ha il suo massimo nei campioni di *caranto*. Tra i minerali argillosi predominano la clorite e l'illite, che diminuiscono dal *Supersintema di Mestre* al *Sintema del Po*, mentre la smectite presenta percentuali simili. Rispetto ai campioni globali (tal quale) la frazione argillosa dei tre gruppi è arricchita in clorite ed illite.

In Fig. 54 sono riportate sei foto al microscopio elettronico a scansione (SEM), che evidenziano alcuni aspetti tessiturali delle argille. In particolare, nelle foto (a) e (b) sono evidenti lenti ellittiche di materiale argilloso entro sedimenti grossolani, poco cerniti, riferibili all'Olocene inferiore. Nella foto (c) si notano i fillosilicati disposti con orientamento preferenziale per effetto della compattazione del *caranto*; i minerali con tessitura granulare sono silicati (grigio scuri e medio scuri) e carbonati (bianchi); i minerali allungati sono clorite (chiara) e mica (grigia); le aree nere costituiscono i pori. Infine nelle foto (d) e (e) sono evidenziati, rispettivamente, barite e pirite microcristallina autigena formatasi all'interno delle fessure, mentre la foto (f) mostra lenti di materiale argilloso entro sedimenti grossolani poco cerniti in un livello immediatamente sottostante il *caranto*.

2. - COMPOSIZIONE MINERALOGICA DELLE SABBIE

Le analisi mineralogiche dei sedimenti sabbiosi sub-affioranti hanno evidenziato una composizione mineralogica simile, ma con percentuali relative ben distinte, nei diversi settori lagunari.

In generale la prevalenza dei carbonati nel settore nord e dei silicati nel settore sud conferma la diversità litologica degli apporti di Piave, Brenta e Bacchiglione, che, come è noto, provengono da bacini idrografici distinti.

In particolare dolomite, calcite, quarzo, feldspati (K-feldspato+plagioclasio), clorite e mica sono i minerali principali, mentre ankerite, aragonite, kaolinite ed hastingsite sono presenti in basse percentuali. I carbonati (dolomite, ankerite, calcite ed aragonite) sono prevalenti nel settore settentrionale del comprensorio veneziano (60-65%), mentre i silicati (quarzo+K-feldspato+plagioclasio) abbondano in quello meridionale (55-65%); nel settore centrale essi hanno percentuali simili. All'interno del gruppo dei carbonati dolomite+ankerite sono i più abbondanti, con valori che raggiungono il 60% circa, mentre calcite+aragonite sono generalmente inferiori al 25-30%.

E' risultata quindi ben evidente la predominanza di sedimenti provenien-

ti dal bacino del Fiume Piave nel settore nord e da quello del sistema Brenta-Bacchiglione nel settore sud. Infatti gli apporti solidi del Piave sono ricchi di carbonati, con prevalenza della dolomite sulla calcite, e hanno un apprezzabile contenuto di quarzo e vulcaniti basiche (GAZZI *et alii*, 1973; JOBSTRAIBIZER & MALESANI, 1973). I sedimenti del Fiume Brenta, invece, hanno minori quantità di carbonati, con predominanza di dolomite, e maggiore contenuto di quarzo e feldspati a causa della presenza di vulcaniti gneissiche ed acide nel proprio bacino idrografico. Queste caratteristiche litologiche sono anche responsabili del significativo contenuto di fillosilicati e minerali argillosi nei sedimenti portati dal Brenta.

Alcune zone con percentuali “anomale” sono presenti in vari settori della laguna. Per esempio, la distribuzione di calcite ed aragonite mostra un arricchimento relativo di questi carbonati nella laguna meridionale, chiaramente legato alla presenza degli *inlet* tidali di Malamocco e Chioggia. L'aumento dei fillosilicati verso la terraferma indica, invece, una diminuzione di energia.

Per quanto concerne l'area marina, i sedimenti del settore prospiciente il litorale di Chioggia presentano caratteristiche mineralogiche riferibili prevalentemente a quelle degli apporti del sistema fluviale Brenta-Bacchiglione, mentre i depositi del settore settentrionale del litorale sono riferibili al Piave.

A titolo di esempio in Fig. 55 viene riportata la mappa della distribuzione del quarzo nei sedimenti sabbiosi superficiali. E' evidente la distinzione tra i due estremi, ovvero i sedimenti provenienti da Sile e Piave, con percentuali inferiori al 25 %, e quelli provenienti dall'Adige, superiori al 40%, mentre meno marcata è la distinzione tra i sedimenti di Brenta e Bacchiglione, che mostrano valori percentuali simili (30-35%).

Nel settore meridionale ed occidentale del Foglio “Chioggia-Malamocco”, la composizione mineralogica dei sedimenti superficiali spesso si differenzia da quella dei sedimenti più profondi. Infatti in questi settori divagavano, oltre ai fiumi Brenta e Bacchiglione, anche rami dell'Adige e del Po.

Le percentuali di dolomite, calcite e quarzo in campioni provenienti da 10 carotaggi ubicati lungo i litorali Sottomarina, Pellestrina e Lido sono riportate in Fig. 56. In generale si nota che i depositi di stazionamento alto marino del *Sintema del Po* del settore meridionale (Sottomarina e Pellestrina) hanno percentuali mineralogiche differenti da quelle del settore settentrionale (Lido). Il contenuto di calcite e di dolomite, rispettivamente pari a circa il 10 ed il 15 %, è minimo a sud ed aumenta gradualmente verso nord, passando a circa il 20% per la calcite ed al 40% per la dolomite. Viceversa dicasi per il quarzo, che diminuisce verso nord passando dal 45 a 25%. Questi valori sembrano indicare la presenza degli apporti del Piave, provenienti da nord, fino alla latitudine di Malamocco, mentre più a sud i depositi sono riferibili al sistema di Brenta e Bacchiglione.

Nel settore costiero di Sottomarina e Pellestrina, all'interno del *Sintema del Po*, è stata riscontrata anche una variazione verticale delle percentuali mineralo-

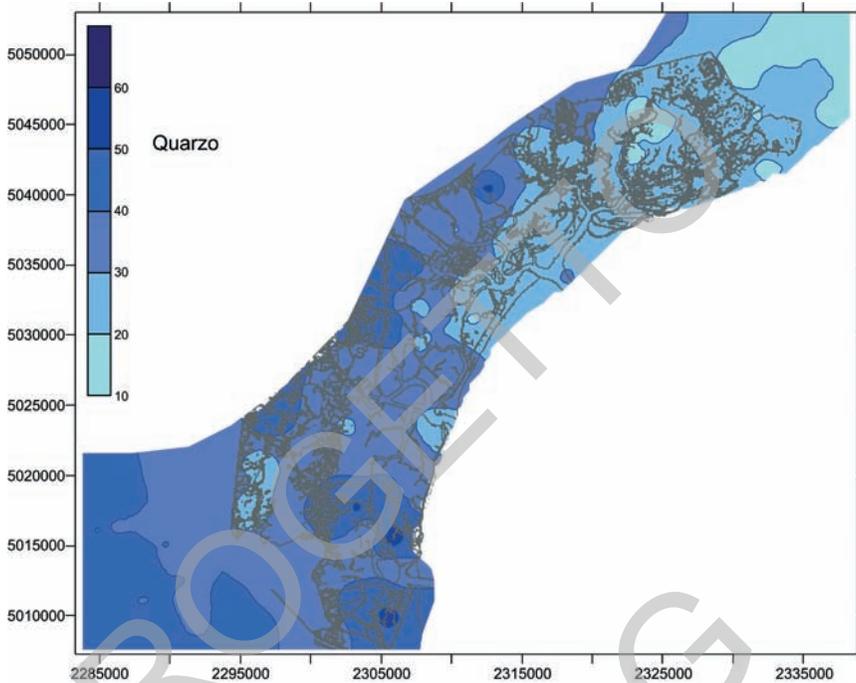


Fig. 55 - Distribuzione del quarzo nei sedimenti sabbiosi superficiali.

giche. In particolare, è stato visto che i sedimenti trasgressivi presentano l'impronta degli apporti del Bacchiglione, essendo più ricchi di dolomite e, sebbene in misura più ridotta, di calcite, mentre risultano più poveri di quarzo rispetto a quelli sovrastanti derivati dalla progradazione della costa e degli apparati di foce del Brenta. Alcuni livelli con contenuto di quarzo che raggiunge il 40% e di carbonati totali inferiori al 20% potrebbero indicare eventi deposizionali del sistema dell'Adige. I depositi del *Supersintema di Mestre* sottostanti i litorali della laguna meridionale di Venezia non mostrano variazioni mineralogiche areali e verticali significative; i valori di circa 20% di dolomite, 15% di Calcite e 40% di quarzo indicano un mescolamento delle alluvioni di Brenta, Adige e Po.

Le analisi di due carotaggi che hanno raggiunto l'*Unità di Correzzola* sono riportate in Fig. 57a: *CARG II*, ubicato presso il margine lagunare, ed *ISES B*, nel bacino scolante, entrambi spinti a circa 100 m di profondità.

CARG II mostra un livello superficiale attribuibile al Bacchiglione, sovrastante a depositi di Adige o Po che si protraggono fino a circa -52 m dal piano campagna. Sotto, tra -60 m e -80 m, l'aumento dei carbonati e la diminuzione del quarzo indicano una provenienza diversa, probabilmente da Bacchiglione e

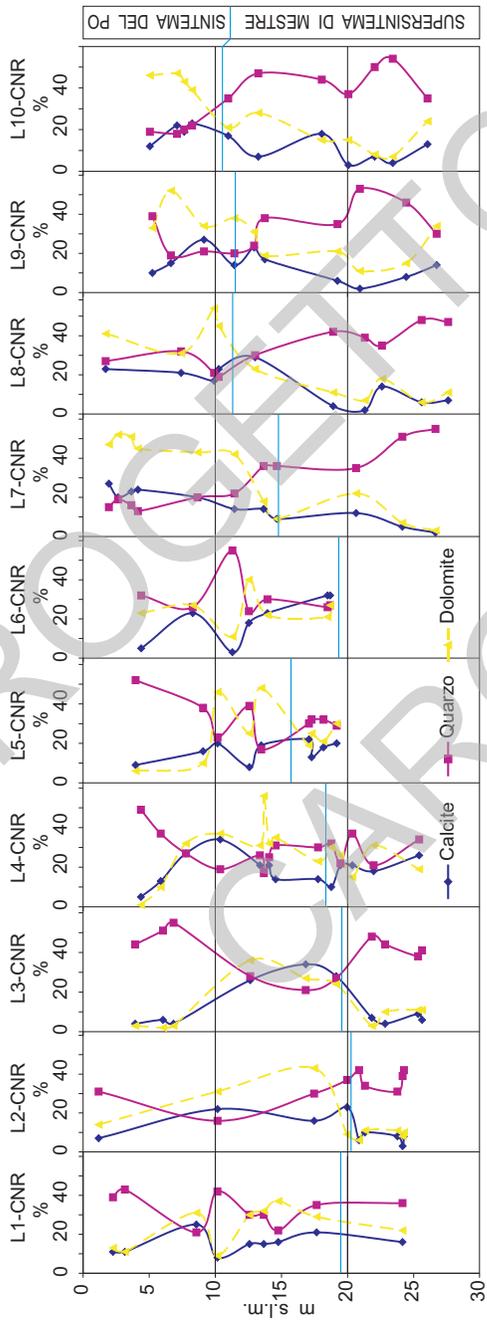


Fig. 56 - Variazione delle percentuali di quarzo e di calcite nelle sabbie del Supersistema di Mestre e del Sistema del Po sottostanti il litorale (cf. con Fig. 40 e Fig. 43).

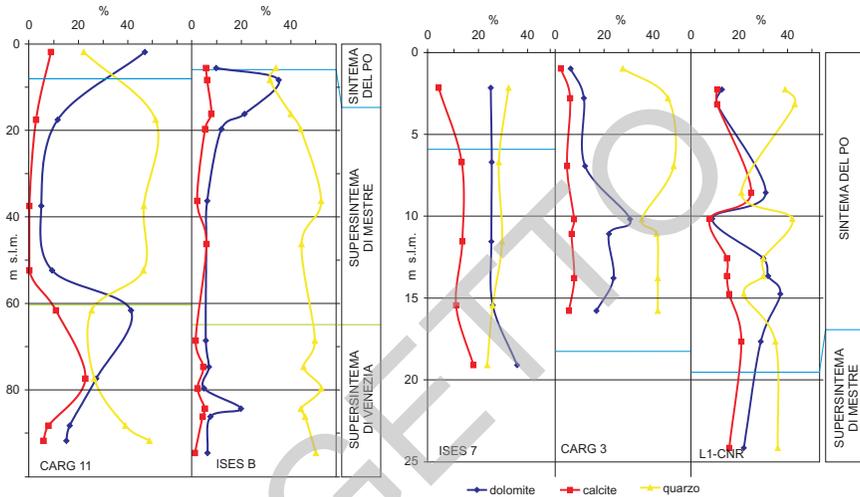


Fig. 57 - *Variazione delle percentuali di quarzo e calcite nelle sabbie del Supersistema di Mestre e del Sintema del Po.*

Brenta. Il carotaggio *ISES B - CARG 13* mostra sedimenti compatibili con quelli trasportati da Adige e Po nel livello sommitale, seguiti verso il basso da altri aventi caratteristiche simili agli apporti di Bacchiglione e Brenta fino a circa -20 m; infine, si rinvengono nuovamente sedimenti di Po ed Adige a profondità maggiori. Le analisi riportate in Fig. 57b sono relative a tre carotaggi ubicati rispettivamente nel bacino scolante (*ISES 7* e *ISES 33*) e nel litorale di Sottomarina (*L1-CNR*). I livelli sabbiosi del sondaggio *ISES 7*, contenenti il 20-25% di dolomite e circa il 25% di quarzo, sono compatibili con quelli dei depositi del Brenta; in senso verticale non presentano variazioni. Nel sondaggio *ISES 33*, invece, i livelli con contenuti elevati di quarzo (40%) ed inferiori al 20% di carbonati sembrerebbero provenire da Adige o Po, mentre, a profondità superiori a 10 m, l'aumento della dolomite indicherebbe l'appartenenza a depositi del Brenta. Infine per il sondaggio *L1-CNR* valgono le considerazioni esposte in Fig. 56 per quanto concerne i carbonati totali, mentre, relativamente alla dolomite, sembrerebbero registrati influssi del Piave nel corso della trasgressione e poi di Bacchiglione e Brenta.

VII - ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA ED APPLICATA

Uno degli obiettivi del progetto di cartografia geologica è quello di fornire uno strumento di supporto per gli Enti e le Amministrazioni che si occupano della gestione e del controllo dei processi geologici che si esplicano nel suolo e sottosuolo, della pianificazione e della progettazione degli interventi sul territorio.

La Carta Geologica con la relativa banca dati, integrate dalla caratterizzazione geotecnica ed idrogeologica e da un inquadramento della sismologia, sono quindi il primo strumento operativo.

1. - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE (P. Previatello, M. Favaretti)

I terreni presenti nella zona in esame sono rappresentati da depositi sciolti costituiti dall'alternanza di terreni sabbiosi, limosi ed argillosi e relativi termini intermedi e da frequenti intercalazioni torbose (Tab. 5).

Tab. 5 - *Distribuzione percentuale dei vari litotipi presenti nei primi 20 m di profondità.*

Sabbia	Limo	Argilla	Torba
49,9	18,8	29,9	1,4

Le stratigrafie rilevate con i vari sondaggi, eseguiti soprattutto per la realizzazione di opere civili ed industriali, ma anche per gli studi inerenti alla difesa ed alla salvaguardia della Città di Venezia e della sua laguna, hanno messo in luce

l'estrema difficoltà che si incontra nel voler ricercare una continuità stratigrafica dei terreni superficiali. Il Brenta ed il Bacchiglione, che in passato avevano foce in comune e si immettevano in laguna, prima della definitiva estromissione del Brenta nel 1896, unitamente ai movimenti di marea, hanno per lungo tempo mescolato i sedimenti più superficiali.

Quando si tenta di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni veneziani e lagunari risulta difficile non procedere ad un'analisi del tutto generale della zona nel suo insieme.

Di seguito sono riportate le caratteristiche geotecniche generali dei terreni superficiali (primi 20 m di sottosuolo) nell'ambito del foglio e quelle più salienti dal punto di vista classificativo, inerenti alla resistenza meccanica ed alla compressibilità edometrica.

1.1. - CARATTERISTICHE GENERALI DEI TERRENI SUPERFICIALI

Il sottosuolo del Foglio "Chioggia-Malamocco" è caratterizzato dall'alternanza di sedimenti aventi granulometrie variabili, spesso associati a sostanza organica.

Le sabbie sono prevalentemente fini e limose, abbastanza uniformi, con coefficiente di uniformità medio U prossimo a 2 e comprese in fusi granulometrici abbastanza ristretti (Fig. 58a). In questo caso le curve granulometriche sono depurate dalla frazione conchigliare, spesso presente, ed in modo significativo, soprattutto nelle zone litoranee. Il coefficiente di permeabilità k delle sabbie varia tra 10^{-4} m/s per le sabbie fini e 10^{-7} m/s per le sabbie limose.

Le argille risultano per la massima parte inorganiche di bassa plasticità, prevalentemente appartenenti al gruppo CL della classificazione USCS (Fig. 58b). Solo una piccola percentuale ricade nel gruppo CH (argille inorganiche di elevata plasticità) ed una quantità trascurabile appartiene al gruppo MH-OH (argille e limi organici). Il contenuto naturale d'acqua w è per lo più prossimo al limite di liquidità w_l e conseguentemente la resistenza al taglio non drenata c_u risulta modesta. Sono generalmente consolidate normalmente o sottoconsolidate. Un'eccezione è rappresentata da un'argilla fortemente sovraconsolidata, conosciuta come "*caranto*", che presenta valori del contenuto d'acqua w prossimi al limite di plasticità w_p e possiede valori di resistenza al taglio molto elevati. Tale orizzonte tende ad affiorare in terraferma per poi approfondirsi progressivamente procedendo verso i litorali. Nel territorio compreso in questo foglio la presenza del *caranto* è stata accertata in prossimità della Bocca di Malamocco, in adiacenza al Canale dei Petroli ed in prossimità del litorale di Sottomarina. La forte sovraconsolidazione è imputabile alle tensioni indotte da fenomeni di essiccamento durante le fasi finali del Pleistocene. Se è vero che questo terreno da un punto di vista meccanico è molto più compatto e resistente delle altre terre coesive presenti nella zona, è

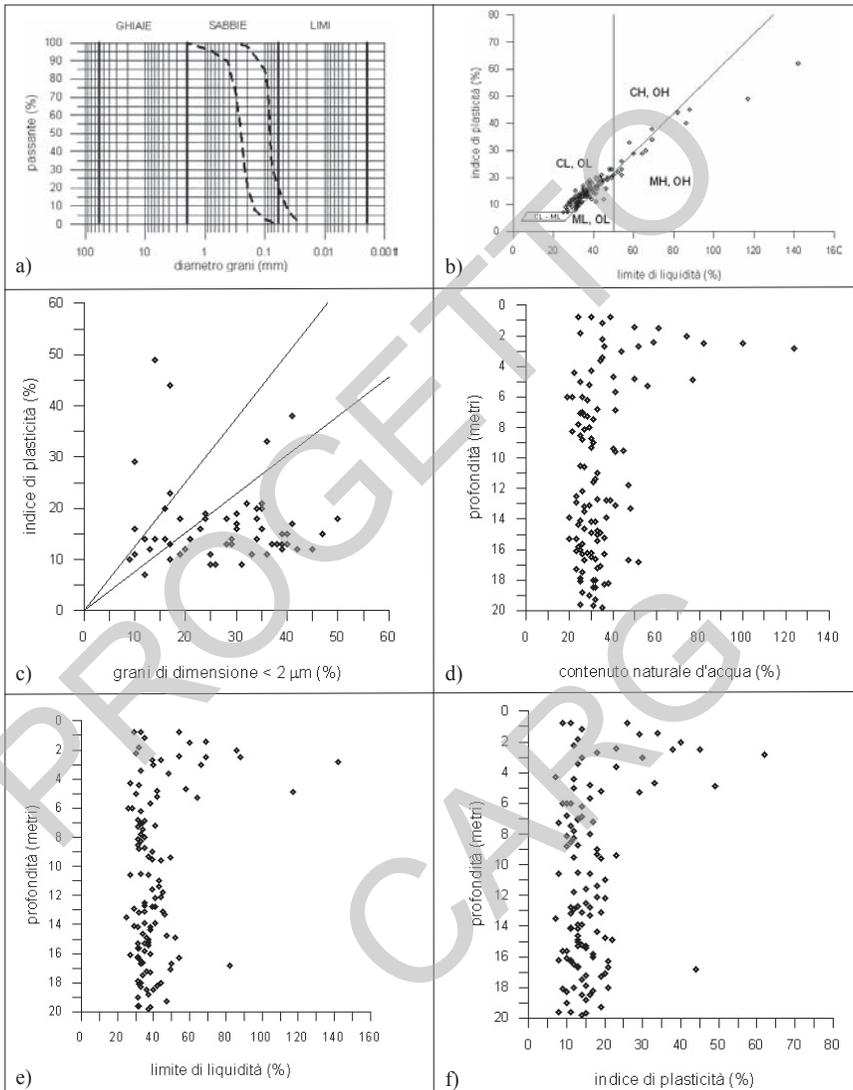


Fig. 58 - Sabbie: a) fuso granulometrico. Argille: b) classificazione USCS, c) attività, d) contenuto naturale d'acqua w_n , e) limite di liquidità w_L , f) indice di plasticità I_p .

altresi vero che, da un punto di vista idrogeologico, si comporta come tutte le argille limose ed i limi argillosi, ovvero il coefficiente di permeabilità è dello stesso ordine di grandezza di quello che tali materiali possiedono. Per quanto concerne le altre caratteristiche delle argille si può notare che l'attività A di Skempton è

sempre piuttosto bassa ($<0,75$): per la massima parte possono essere considerate inattive, una minoranza di media attività e solo pochissimi campioni si sono dimostrati attivi. La sensibilità assume valori mediamente pari a 1,5 e l'indice di compressione c_c varia tra 0,1 e 0,4.

Il contenuto naturale d'acqua w , il limite di liquidità w_l e l'indice di plasticità I_p (Fig. 58) sono espressi in funzione della profondità del campione. E' abbastanza singolare il fatto che solamente i primi 3-4 m di profondità siano caratterizzati da valori molto elevati di questi parametri, indicativi di una notevole componente organica, presente soprattutto nella parte orientale del foglio.

La consistenza dei materiali argillosi è estremamente variabile, poiché il valore della resistenza alla compressione con espansione libera q_u è compreso tra un minimo di 9 kPa ed un massimo di 527 kPa.

Per quel che concerne le caratteristiche di compressibilità si è fatto riferimento al valore dell'indice di compressione c_c . In questo caso i campi di esistenza sono tra 0,15 e 0,52 per le argille propriamente dette, tra 0,06 e 0,11 per i limi argillosi e tra 0,64 sino a 1,88 per le argille torbose.

2. - CENNI DI IDROGEOLOGIA

(A. Vitturi, V. Bassan, P. Zangheri)

Il territorio compreso nel Foglio "Chioggia-Malamocco" è stato oggetto di diversi studi idrogeologici, prevalentemente in relazione alla fragilità ambientale dell'area, dovuta spesso proprio alla sua peculiare struttura idrogeologica.

Il modello del sistema acquifero veneziano si basa sulle stratigrafie provenienti da migliaia di pozzi artesiani terebrati per l'approvvigionamento idrico e sulle indagini idrogeologiche effettuate sui carotaggi *Lido 1, Venezia 1 - CNR, Venezia Ibis - CNR, Venezia 2 - CNR e Marghera 1*.

I principali studi idrogeologici effettuati nel comprensorio lagunare veneziano sono quelli di BORTOLAMI *et alii* (1970; 1973a; 1973b), CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1971), SERANDREI BARBERO (1972), GAMBOLATI & FREEZE (1973), GATTO (1973), MINISTERO LAVORI PUBBLICI (1973), GAMBOLATI *et alii* (1974a; 1974b), GAMBOLATI & GATTO (1975), MOZZI *et alii* (1975), CARBOGNIN *et alii* (1977), CARBOGNIN *et alii* (1981), GATTO & CARBOGNIN (1981), CARBOGNIN *et alii* (1994), CARBOGNIN & TOSI (1995), AURIGHI *et alii* (1999), DAZZI *et alii* (1999), DAL PRA' *et alii* (2000), CARBOGNIN & TOSI, (2003), molti dei quali eseguiti dall'Istituto di Scienze Marine (ex ISDGM) di Venezia del CNR, dall'Amministrazione Provinciale di Venezia e dalla Regione del Veneto.

Il più recente, il Progetto "ISES" (Intrusione Salina E Subsidenza), ha riguardato lo studio della contaminazione salina negli acquiferi e nei terreni superficiali costieri del comprensorio meridionale lagunare e del relativo bacino scolante,

fenomeno che in quest'area acquista particolare importanza, anche per i rilevanti effetti negativi sull'attività agricola ed orticola.

Nell'ambito del progetto CARG, i dati idrogeologici esistenti, provenienti da ricerche, censimenti e monitoraggi, sono stati raccolti, omogeneizzati ed informatizzati realizzando un apposito livello "idrogeologico" nella Banca Dati Geologici CARG, contenente le principali informazioni sul sistema acquifero.

In Fig. 59 è riportata la distribuzione di pozzi in funzione delle classi di pro-

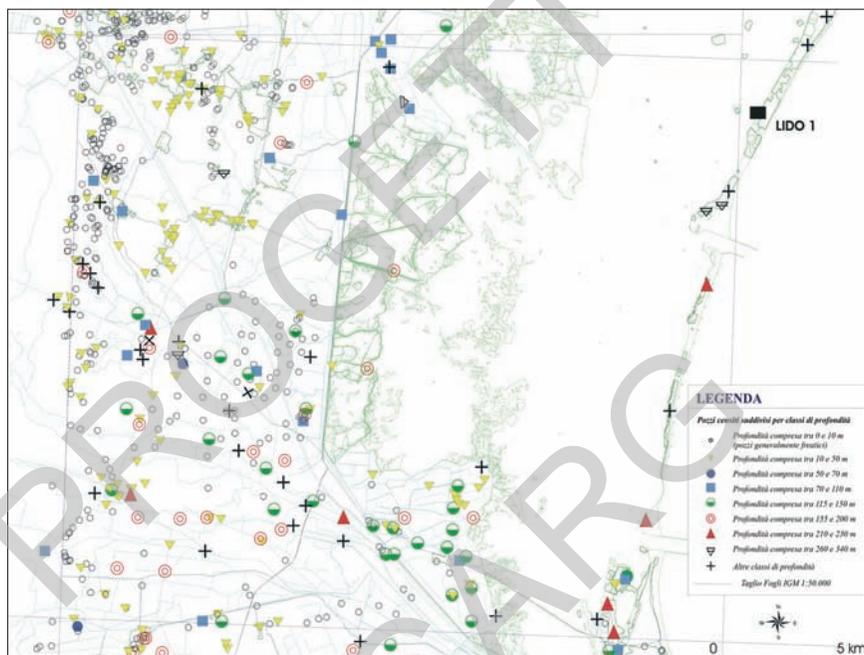


Fig. 59 - Ubicazione dei pozzi presenti nella banca dati CARG e suddivisi per classi di profondità. I pozzi sono stati selezionati per le loro caratteristiche di buona affidabilità.

2.1. - LA STRUTTURA IDROGEOLOGICA

L'area si inquadra all'interno della bassa pianura veneta, dove le falde principali sono contenute nei depositi pleistocenici, costituiti da alternanze di sedimenti in *facies* continentale, appartenenti alle vaste conoidi alluvionali prevalentemente dei fiumi Po, Brenta ed Adige, ed in *facies* marina.

Dal punto di vista idrogeologico, i depositi tardo-quadernari sono costituiti da

una fitta alternanza di livelli metrici prevalentemente sabbiosi e limosi, raggrup-pabili in acquiferi principali di spessore variabile tra 20 e 40 m, confinati al tetto ed al letto da sedimenti argillosi (aquitard). All'interno di acquiferi e aquitard sono presenti livelli e lenti di torbe.

Anche se apparentemente il sistema acquifero sembra essere continuo e ben delineato, in realtà sono presenti variazioni laterali di *facies* che condizionano lo sviluppo spaziale degli acquiferi ed i loro reciproci rapporti, rendendone estremamente complessa la ricostruzione e caratterizzazione.

In sintesi l'assetto idrogeologico può essere schematizzato da un sistema a più falde sovrapposte e in pressione (sei falde principali nei primi 350 m) contenute nei depositi sabbiosi permeabili (acquiferi), separate da letti di materiali argillosi (aquitard). E' inoltre presente una falda superficiale di tipo freatico la cui superficie oscilla tra 0,5 e 4 m sotto il piano campagna e che, nelle aree di bonifica, è regimata dalle idrovore. Va precisato che, a differenza delle falde profonde confinate, quella freatica non è dotata di continuità idraulica regionale, ma costituisce un insieme di corpi sabbiosi a differente trasmissività idraulica o isolati tra loro. In alcuni casi la falda superficiale è dotata di debole pressione, con risalianza nei pozzi di 0,5-1 metri.

Nel bacino scolante e nella fascia costiera la falda superficiale riveste particolare importanza sia economica, in quanto condiziona le attività agricole ed orticole (particolarmente pregiate in quest'area), che geologico-applicativa per la realizzazione delle opere di ingegneria.

La ricostruzione del sistema multifalde è basata principalmente sulla frequenza della distribuzione dei filtri dei pozzi artesiani, ovviamente legata allo sviluppo degli orizzonti acquiferi produttivi, e sulle descrizioni litologiche dei pozzi eseguiti per l'approvvigionamento idrico. Non esistono informazioni precise relative a carotaggi continui profondi oltre i 100 m, eccetto che per il sondaggio *Lido 1*.

Le principali caratteristiche del sistema acquifero vengono di seguito riassunte sulla base delle recenti sintesi (TEATINI *et alii*, 1995; CARBOGNIN *et alii*, 2000; CARBOGNIN & TOSI, 2003). Gli orizzonti sabbiosi non sono quasi mai termini puri e presentano una varia composizione granulometrica che ne condiziona la permeabilità orizzontale e di conseguenza la produttività. Non sono presenti termini ghiaiosi, neppure in banchi di piccolo spessore, mentre è più diffusa la presenza di torba, sia in orizzonti ben definiti, che frammista ad altri sedimenti. La struttura della falda freatica-semiartesiana, contenuta nei primi 50 m di sottosuolo ed estremamente eterogenea, non è correlabile lateralmente a causa dell'alta variabilità litologica e degli sviluppi lentiformi, spesso interdigitati, dei vari orizzonti; al di sotto di questa sono presenti sei acquiferi confinati. Il 1° acquifero, rappresenta un orizzonte non ben delineato che si trova tra 50 e 70 m di profondità, poco potente (15-20 m) e di spessore abbastanza costante in tutte le direzioni. Il 2° acquifero presenta profondità comprese tra 70 e 110 m e, più a nord, costituisce probabilmente un'unica falda con il precedente, dal quale tende a separarsi nettamente

procedendo verso SE; potente in genere circa 25 m, esso si assottiglia verso sud. Il 3° acquifero risulta composto da più livelli produttivi, tra 115 e 150 m, che sono stati raggruppati in un'unica unità idrologica per analogia con la situazione veneziana. In prossimità della costa e verso sud esso tende probabilmente a congiungersi con quello sottostante, andando a formare una sola falda di notevole spessore (35-45 m). Il 4° acquifero è la falda più importante e, benché contenga varie lenti di argilla, risulta essere il più produttivo e di conseguenza è, ed è stato in passato, il più sfruttato di tutto il sistema multistrato presente tra 155 e 200 m. Il 5° acquifero è ben delineato solamente nella parte centro-settentrionale dell'area, tra 215 e 230 m di profondità, dove presenta uno spessore di 25-30 m. Al di sotto esisterebbe un sesto acquifero che, a causa della scarsità di dati al suo riguardo, è poco noto.

La giacitura degli acquiferi è variabile e generalmente presenta un'immersione verso SE (Fig. 60).

Le falde risultano separate da diaframmi impermeabili di argilla ed argilla limosa, con potenza variabile tra 10 e 20 m, comunque non sempre ben delineati o continui. Intorno a 350 m di profondità si trova un'interfaccia di acqua dolce-acqua salata, il cui tenore salino ne pregiudica l'utilizzo.

In rapporto a molte altre parti della pianura veneta, le acque sotterranee di quest'area qualitativamente destano limitato interesse. Fatto rilevante è l'alto contenuto di ferro ed ammoniaca, quest'ultima da mettere in relazione alla presenza di sedimenti ricchi di torba. Abbondante risulta anche la frazione gassosa, generalmente connessa con la presenza di metano, rinvenibile a varie profondità.

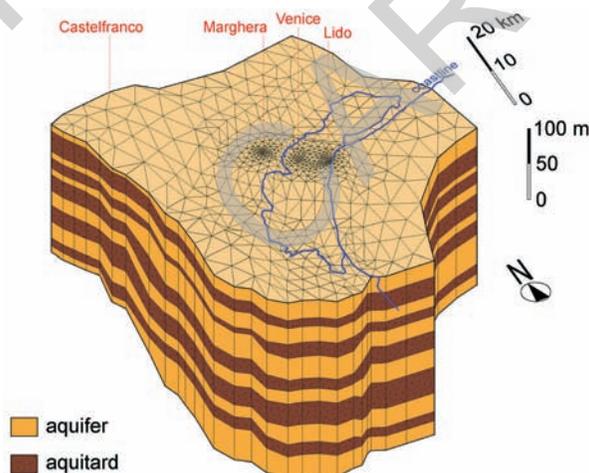


Fig. 60 - Schematizzazione dei livelli acquiferi utilizzata per il modello matematico idrogeologico 3D (da TEATINI et alii, 1995; CARBOGNIN et alii, 2000).

2.2. - CUNEO SALINO

Il principale problema idrogeologico dell'area è rappresentato attualmente dal processo di contaminazione salina. Questo, oltre a contaminare le acque sotterranee ed i terreni adibiti all'agricoltura ed all'orticoltura, comporta un cambiamento nelle caratteristiche elettrochimiche delle acque interstiziali dei sedimenti fini che può indurre un incremento dei tassi di subsidenza.

Recentemente lo studio di dettaglio "Progetto ISES" ha evidenziato che, benché non tutta l'area sia coinvolta nel processo di salinizzazione, è presente una situazione decisamente critica nella maggior parte del settore meridionale del Foglio "Chioggia-Malamocco" (CARBOGNIN & TOSI, 2003) (Fig. 61).

A profondità inferiori a 350 m sono presenti acque fossili profonde; uno studio geoelettrico (BENVENUTI, 1974) ha individuato un livello conduttivo probabilmente attribuibile alla presenza di acque saline, come è stato poi confermato da indagini in pozzi profondi.

E' stato appurato che il processo di contaminazione salina risente notevolmente di diversi fattori, quali i prelievi d'acqua, le condizioni meteorologiche, l'attività delle idrovore e, in maniera molto consistente, i rilasci irrigui. Questi ultimi, in

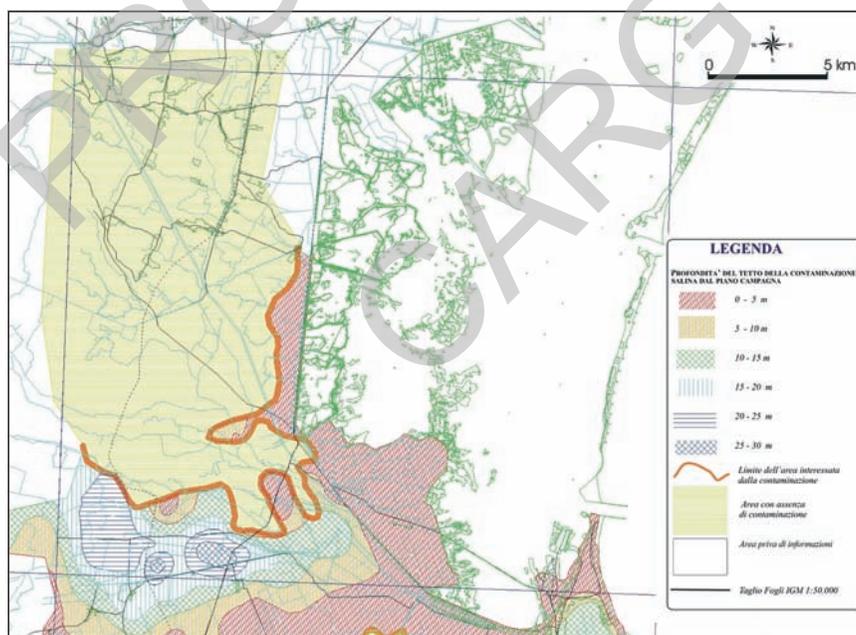


Fig. 61 - Carta del tetto dell'intrusione salina (da CARBOGNIN & TOSI, 2003, integrata).

particolare effettuati nel periodo estivo, favoriscono la mitigazione del processo di salinizzazione, mentre gli eccessivi abbassamenti del livello freatico ne inducono un deciso aumento. Giocano inoltre un ruolo non trascurabile nella dinamica del processo le dispersioni dell'acqua di marea che risale le foci dei fiumi e dei canali, nonché il contributo delle numerose strutture geologiche e geomorfologiche sub-superficiali che, se in alcuni casi inducono un'azione di contrasto alla contaminazione salina, in altri ne agevolano la propagazione.

3. - SISMICITA' (V. Ilceto)

Il territorio compreso nel Foglio “Chioggia-Malamocco” risulta privo di strutture sismogeniche di rilievo, ma è circondato da tre aree con varie sorgenti sismiche che possono essere responsabili di terremoti distruttivi, cioè di magnitudo uguale o maggiore a 6.

L'area più importante, anche per la sua vicinanza alla regione lagunare, è data dalla lunga fascia prealpina che si estende da Schio al Friuli orientale, a cavallo del fronte attivo della catena sudalpina orientale (Fig. 2): sono state individuate 10 sorgenti corrispondenti ad altrettanti sovrascorrimenti sud-vergenti, per le quali sono possibili magnitudo massime calcolate (M_w) comprese fra 6,20 e 6,77 (GALADINI *et alii*, 2005).

La seconda area è definita dal fronte attivo della catena nord-appenninica, anch'esso formato da sovrascorrimenti in gran parte ciechi, ma nord-vergenti; la magnitudo massima M_w e quelle strumentali, o ricavate da dati macrosismici, si attestano su 5,5 (BOSCHI *et alii*, 1997; MONACHESI & STUCCHI, 1998; BOCCALETTI *et alii*, 2003).

Il terzo settore comprende la Slovenia occidentale assieme ad alcune aree del Friuli più orientale ed è interessato dalle faglie trascorrenti destre a direzione NO-SE del sistema di Idrija (POLI & RENNER, 2004); le sorgenti relative, una delle quali si è riattivata nel 1968 con magnitudo 5,7 (BERNARDIS *et alii*, 2000), si stima possano avere un potenziale sismogenico almeno pari a quello del fronte sudalpino.

Notizie storiche descrivono una situazione ben più inquietante di quella che può apparire oggi, dato che intensi terremoti sono stati segnalati in tutte le città venete, compresa Venezia ed il suo litorale (ILICETO 1994).

Le informazioni relative agli eventi sismici avvenuti durante il primo millennio d.C. in questo territorio sono piuttosto scarse.

Secondo BARATTA (1901) negli anni 238, 243, 260 forti terremoti danneggiarono Verona, Vicenza e Padova e quindi, con molta probabilità, anche il comprensorio veneziano.

Un secolo più tardi, il 21 luglio del 365 (o del 369), un intenso sisma, con

probabile epicentro nel bellunese, provocò molti danni a Padova, fece crollare parte dell'Arena a Verona e cambiò il corso del Piave “*giacché una grande frana gli sbarrò il letto*”; risentì molto di questo evento pure l'area veneziana, dove esso raggiunse intensità pari al IX-VIII° della scala MCS (Mercalli - Cancani - Sieberg) e sembra che in tale occasione “*anche il mare si scostò dal lido*”.

Le prime notizie storiche in cui si fa riferimento al territorio veneziano parlano di un terremoto verificatosi nel 745 o forse nel 754 (758 secondo MERCALLI, 1883) che “*rovinò molti edifizii e fu terribile per tutte le isole*”. L'attendibilità di questo sisma, come di altri, è stata recentemente messa in discussione da MARMO (1989).

ZANON (1937) riferisce di un forte evento sismico avvenuto attorno all'anno 1106, da lui stesso chiamato “terremoto di Malamocco”, che provocò la distruzione di chiese e palazzi e fu forse responsabile di un maremoto che sconvolse l'omonima località. Esso tuttavia è stato eliminato dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani (BOSCHI *et alii*, 1995; 1997), in quanto non suffragato da notizie ritenute attendibili dagli Autori del catalogo stesso.

ZANON (1937) cita pure il terremoto del 1117, definito “di S. Ermagora”, ben noto in letteratura scientifica e generalmente attribuito al territorio di Lombardia e Veneto (MERCALLI, 1883; IACCARINO & MOLIN, 1978) con epicentro nel Veronese, ma che viene ora ricollocato nell'area vicentina (GALADINI *et alii*, 2001). Tale evento, che raggiunse un'intensità massima del IX° della scala MCS, fu avvertito in tutta l'alta Italia, in Svizzera ed anche in Germania.

Il 25 dicembre 1222 nel basso Bresciano è stato registrato un sisma di analoga intensità, percepito anche nel Padovano e nel Veneziano con un'intensità del VI° MCS.

Il primo terremoto che, sulla base delle recenti revisioni del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI), potrebbe aver avuto epicentro a Venezia (I_{\max} pari a VII° MCS) risale al 1233, ma le notizie a riguardo sono scarse e non parlano delle altre località colpite.

Un evento successivo è quello del Trevigiano avvenuto nel 1268 (I_{\max} pari a VIII° MCS), che fu avvertito anche a Feltre (BL) ed a Padova con intensità del V° MCS; è quindi probabile che sia stato sentito anche nel Veneziano, benché non ci siano riscontri.

In Friuli nel 1279 ci fu un sisma del VIII° MCS, che provocò notevoli danni a Cividale ed Aquileia, ma non a Venezia, dove comunque venne percepito con intensità del V°-VI° MCS.

Nel 1284 un altro terremoto, con epicentro a Venezia, raggiunse nuovamente il VII° MCS, causando danni in molti edifici della città ed a Mestre; esso fu avvertito fino a Parma.

Uno degli eventi sismici più importanti del passato è sicuramente quello del 25 gennaio 1348, conosciuto tradizionalmente come “di Villach” in Carinzia, ma

il cui epicentro viene ora ubicato in Friuli (Pontebba-Tarvisio) (HAMMERL, 1994; MONACHESI & STUCCHI, 1998); venne percepito in tutto il Nord-Est italiano e in particolare, con intensità del VII-VIII° MCS, a Padova e Venezia e del VII° a Chioggia.

Il grande terremoto del 1511, che causò danni e vittime sia in Friuli che in Slovenia fino a Lubiana, raggiungendo I_{\max} X° MCS, provocò danni ingenti anche nella zona di Venezia e Chioggia, dove fu sentito con un'intensità del VII° MCS.

Invece ha raggiunto il X° MCS il ben noto "terremoto di Asolo" del 1695, che a Chioggia raggiunse il VI°.

Durante il XVIII secolo sembra sia diminuita l'intensità dei sismi nella zona indagata, a fronte di un aumento della quantità e dell'accuratezza delle informazioni disponibili.

Alcuni risentimenti si ebbero nell'area veneziana nel XIX secolo in rapporto ad eventi sismici localizzati nell'area pedemontana veneto-friulana e nella Slovenia occidentale.

Nel 1836 un sisma di intensità VIII° MCS, localizzato sul versante meridionale del Monte Grappa, è stato avvertito in tutto il Tirolo e a sud fino a Parma e Ferrara, interessando Chioggia con intensità del IV° MCS.

Nel 1859 l'alto Trevigiano è stato colpito da un evento sismico dell'VIII° MCS, che si è propagato a Chioggia con intensità pari a IV° MCS.

Hanno raggiunto a Chioggia il V°, sia il terremoto dell'Alpago del 1873 (I_{\max} X° MCS), che quello di Rimini del 1875.

Nel 1895 il sisma di Lubiana ha fatto sentire i propri effetti su tutta la provincia di Venezia con intensità del VI°.

Anche nel corso del XX secolo sono stati registrati risentimenti di intensità compresa fra IV° e VI° MCS, in rapporto agli eventi sismici maggiori avvenuti nelle aree circostanti, quali i terremoti dell'alto Adriatico del 1916, della Slovenia del 1926, del Friuli del 1928, di Belluno (altrimenti chiamato "dell'Alpago-Sarmede") del 1936 e, più recentemente, del Friuli del 1976, ultimo a provocare danni in quest'area.

3.1. - ATTIVITA' SISMICA

Per lo studio della sismicità dell'area in esame sono stati consultati vari cataloghi (CAMASSI & STUCCHI, 1996; MONACHESI & STUCCHI, 2000), i dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e Storia Geofisica e Ambiente (SGA) e la banca dati del Centro Sismologico di Udine dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS) che, insieme, raccolgono informazioni sui terremoti avvenuti in Italia dall'anno 0 ad oggi e dai quali sono stati estratti quelli localizzati nella zona in esame. Questi eventi possono essere

suddivisi in terremoti storici e terremoti strumentali; i secondi corrispondono agli eventi registrati a partire dal primo decennio del '900. Un fattore importante per la completezza, e soprattutto per la qualità, delle informazioni è dato dalla realizzazione della Rete Sismica del Friuli Venezia Giulia (1977) e di quella del Veneto, tuttora in fase di completamento, che permettono di registrare sismi di magnitudo anche di due gradi Richter, ricavandone i parametri e, in particolare, il meccanismo focale, elemento essenziale per qualsiasi analisi sulla sismicità di una regione.

Gli epicentri dei sismi, divisi in due gruppi in rapporto alla data di istituzione della Rete Sismica del Friuli Venezia Giulia, nonché la traccia dei fronti della catena sudalpina orientale e di quella nord-appenninica e di alcune faglie più rilevanti dei sistemi Schio-Vicenza e di Idrija, sono stati posizionati su una carta delle Anomalie di Bouguer (Fig. 62), carta che registra a livello crostale le maggiori discontinuità e disomogeneità litologiche della regione.

In generale, nell'area della pianura veneta si hanno valori di anomalia di Bouguer negativi, che si raccordano con il minimo assoluto della catena alpina e con un'ampia fascia di valori positivi, disposta secondo O-E, che inizia con l'alto strutturale lessineo-berico-euganeo, per poi proseguire con l'alto di Chioggia. Essa termina con l'alto istriano, agendo in tal modo da elemento separatore fra le aree fortemente negative delle Alpi e dell'avampaese appenninico. Secondo LEONARDI *et alii* (1973) le grandi anomalie gravimetriche risentono soprattutto dell'andamento nel substrato rigido delle magmatiti ed in particolare dei principali elementi regionali noti: la dorsale dei Lessini-Berici-Euganei, le Alpi calcaree meridionali, la piattaforma veneta e la fossa padano-adriatica.

La distribuzione e le concentrazioni epicentrali evidenziano chiaramente l'andamento dei due fronti, rispettivamente della catena sudalpina orientale e di quella nord-appenninica, e del sistema di Idrija e tra questi, in particolare, i segmenti di faglie attive situate tra il Friuli centrale e la Slovenia occidentale.

Si notano anche epicentri sparsi nella pianura veneto-friulana e nell'alto Adriatico, cioè nell'avampaese comune alla catena appenninica ed a quella sudalpina. Si tratta di eventi di magnitudo molto bassa (di regola attorno a 2.5, registrati solo strumentalmente), che in genere non consente di ricavare il meccanismo focale e gli altri parametri sismici; di questi piccoli e sporadici eventi si può solo dire che rappresentano la locale riattivazione di alcuni segmenti delle tante faglie soprattutto normali, la cui evoluzione ha caratterizzato la storia tettonica e paleogeografica della regione in oggetto durante il Mesozoico ed il Paleogene e, talora, anche nel tardo Paleozoico. In altri termini si tratta della risposta locale di preesistenti discontinuità crostali nell'attuale campo di sforzi tettonici, caratterizzato da un asse di massima compressione σ_1 con direzione attorno a nord-sud.

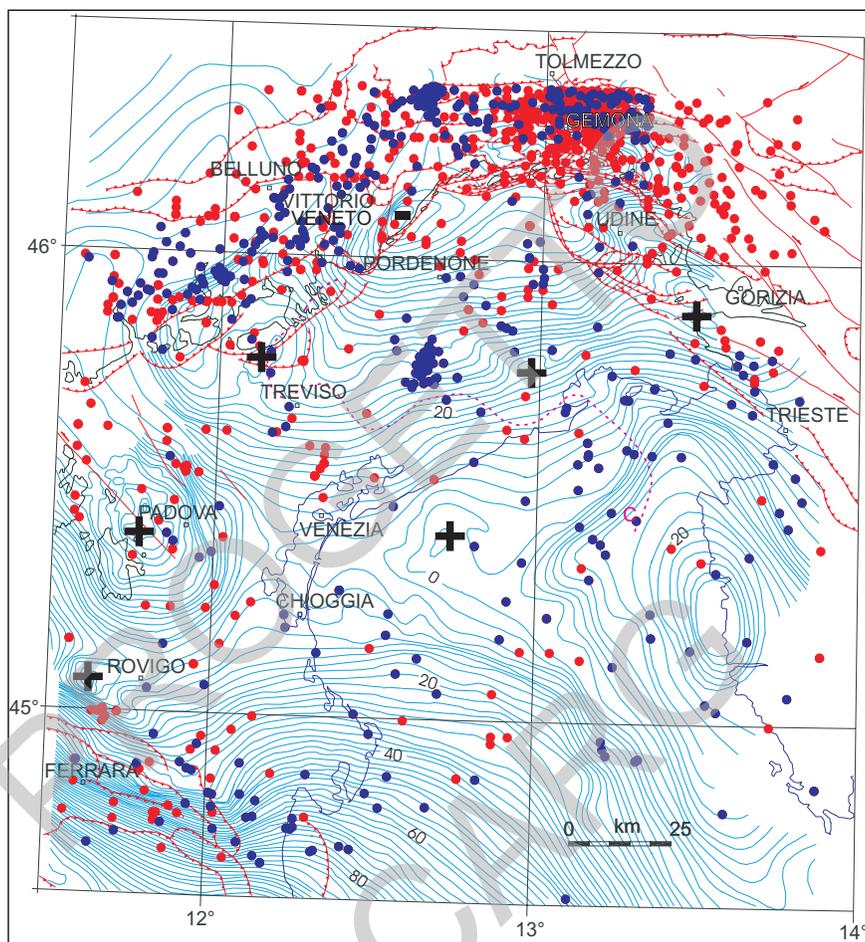


Fig. 62 - Ubicazione degli epicentri dei terremoti che hanno interessato l'area dall'anno 0 al 2003 (0-1977 rosso, 1978-2003 blu) sulla carta delle Anomalie di Bouguer (da LEONARDI et alii, 1973), sulla quale sono riportati, in particolare, la traccia schematica dei fronti della catena sudalpina orientale e della catena nord-appenninica, nonché alcune faglie del sistema Schio-Vicenza (al margine dei Lessini-Berici-Euganei) e del sistema di Idrija (Slovenia occidentale); la linea C a tratteggio indica la traccia del margine della Piattaforma Carbonatica Friulana.

4. - SUBSIDENZA ED EUSTATISMO

(L. Carboognin, P. Teatini, L. Tosi, G. Zambon)

La riduzione dell'elevazione del territorio lagunare rispetto al medio mare, a causa dei fenomeni di subsidenza ed eustatismo, ha rappresentato uno dei maggiori problemi ambientali della Laguna di Venezia negli ultimi decenni.

Nonostante la parte meridionale dell'area lagunare abbia risentito solamente in modo marginale della subsidenza antropica prodotta dall'estrazione d'acqua di falda nell'area industriale di Porto Marghera, la sovrapposizione di diverse cause, quali una maggiore subsidenza naturale rispetto all'area di Venezia (BRAMBATI *et alii*, 2003), l'emungimento d'acqua a scala locale per uso agricolo e potabile (CARBOGNIN *et alii*, 1995b), l'ossidazione biochimica di aree torbose ubicate a ridosso della laguna (GAMBOLATI *et alii*, 2003; CAMPORESE *et alii*, 2005; GAMBOLATI *et alii*, 2005) e la salinizzazione dei sedimenti per intrusione salina negli acquiferi (CARBOGNIN & TOSI, 2003), a cui si aggiunge il generale processo di innalzamento eustatico del livello del mare a seguito delle variazioni climatiche in corso (CARBOGNIN & TARONI, 1996), ha prodotto serie ripercussioni anche in questa parte del territorio lagunare. Benché il fenomeno dell'acqua alta sia assai più noto a Venezia, anche Chioggia lo sta sperimentando con sempre maggiore frequenza ed intensità; inoltre, significativa è stata l'erosione delle barene e dei bassi fondali in tutta la laguna meridionale e l'aumento della pendenza del fondo marino in prossimità ai cordoni litorali (CARBOGNIN *et alii*, 1995a). I maggiori rischi di inondazione, in concomitanza ad eventi meteo-marini di particolare intensità, hanno richiesto numerosi interventi di protezione e ripristino dell'ambiente lagunare (CARBOGNIN *et alii*, 2000).

Lo studio di tali fenomeni è iniziato a partire dai primi anni '70 ad opera di un gruppo di ricercatori del centro CNR di Venezia. Gli aspetti principali della problematica sono descritti in seguito.

Studi recenti condotti sulle carote del pozzo *Venezia 1 - CNR* perforato negli anni '70 al Tronchetto, hanno stimato in circa 0,5 mm/anno la velocità media di subsidenza negli ultimi 2 milioni di anni, evidenziando come tale valore rifletta principalmente gli eventi tettonici occorsi in tale periodo (KENT *et alii*, 2002), in particolare la subduzione associata alla catena appenninica (CARMINATI *et alii*, 2003).

Misurazioni effettuate hanno evidenziato come la subsidenza naturale sia oggi assai limitata nell'area centrale della laguna (BORTOLAMI *et alii*, 1984; CARBOGNIN, 1992), ma aumenti fino a qualche mm/anno man mano che si procede verso le estremità lagunari, in relazione al maggiore spessore degli strati argillosi compressibili ed al più recente apporto di sedimenti (CARBOGNIN *et alii*, 1995b).

La subsidenza dei suoli torbosi è un processo geochimico che avviene quando questi terreni vengono bonificati per uso agricolo. Il drenaggio porta la torba a contatto con l'ossigeno presente nell'aria ed i microrganismi aerobici ossidano la

materia organica, causando la perdita di carbonio sotto forma di CO_2 rilasciata in atmosfera; la perdita netta di massa di terreno provoca subsidenza.

Recenti studi hanno evidenziato che tale processo ha interessato una parte significativa della fascia costiera prossima alla laguna meridionale, con abbassamenti dell'ordine di 1-2 m negli ultimi 50-100 anni (GAMBOLATI *et alii*, 2003; CAMPORESE *et alii*, 2005; GAMBOLATI *et alii*, 2005) (Fig. 63).

Risultati sperimentali e modellistici hanno dimostrato come la mitigazione del processo possa realizzarsi con una gestione oculata della bonifica, che riduca il più possibile la profondità della falda, e attraverso pratiche agricole mirate (TEATINI *et alii*, 2004).

E' noto che la variazione delle caratteristiche chimiche dell'acqua interstiziale nelle argille (quando, ad esempio, l'acqua dolce è sostituita da acqua salata) accelera il processo di compattazione naturale del sedimento per processi di tipo elettrochimico (MEADE, 1964).

Studi di dettaglio hanno evidenziato che il fenomeno dell'intrusione di acqua salata nell'acquifero superficiale interessa vaste aree attorno alla parte meridionale della laguna (CARBOGNIN & TOSI, 2003): l'interfaccia acqua dolce/salata si trova ad una profondità variabile tra 0 e 10 m (Fig. 64). La risalita dell'acqua di mare lungo le foci dei fiumi e la presenza di strutture geologiche sub-superficiali favoriscono l'estendersi della contaminazione fino a 20 km nell'entroterra (RIZZETTO *et alii*, 2003).



Fig. 63 - Ponte degli anni 1920 in prossimità del margine lagunare a Chioggia, protruso di 1,5 m circa per ossidazione del suolo torboso circostante (da Tosi *et alii*, 2000).

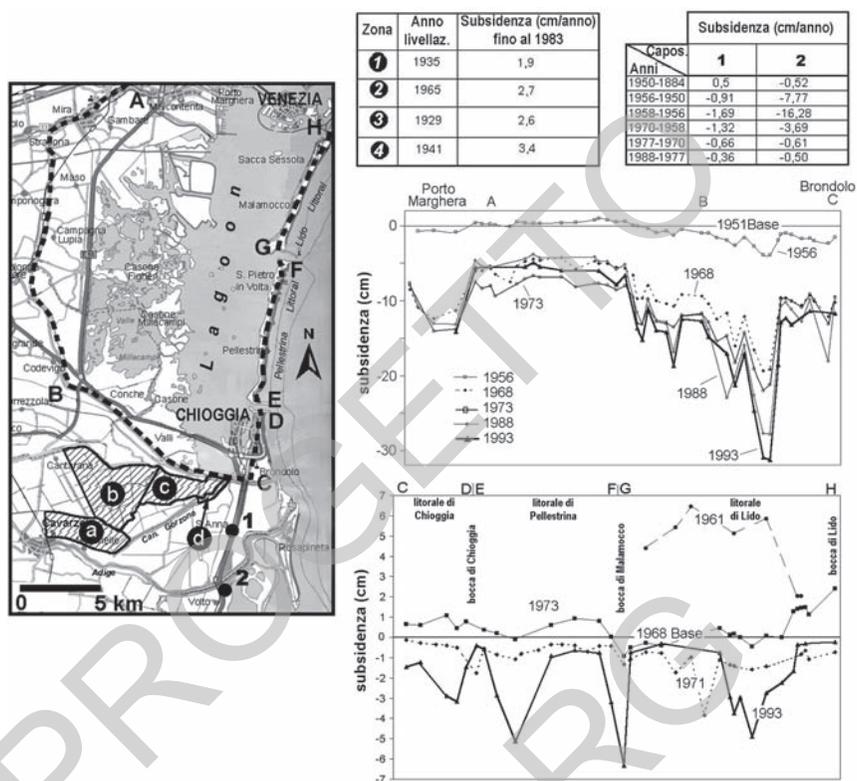


Fig. 65 - Misurazioni di subsidenza condotte dall'IGM, dal CNR e dai consorzi di bonifica nell'area meridionale della laguna veneta fino agli anni '90 (da Tosi et alii, 2000).

in prossimità di Porto Marghera (polo dei pompaggi delle acque artesiane fino al 1970), ma è presente un andamento progressivamente crescente dell'abbassamento registrato fino all'area di Valli (tra i punti B e C); particolarmente complessa appare la situazione lungo il litorale (linea C-H) con picchi di subsidenza dovuti ad estrazioni locali per scopi turistici ed agricoli.

Particolare attenzione è stata rivolta nell'ultimo decennio al monitoraggio della subsidenza di tale parte del comprensorio lagunare veneto. La rete di livellazione storica, istituita lungo il margine lagunare, è stata aggiornata ed infittita nell'ambito dei Progetto ISES ed è stata istituita una rete di controllo DGPS (*Differential Global Positioning System*). Inoltre, utilizzando i dati acquisiti dai satelliti ESA ERS-1 e ERS-2 tra il 1992 ed il 2000, l'applicazione dell'interferometria differenziale SAR e dell'interferometria differenziale su riflettori puntuali (TEATINI et alii, 2005) ha permesso la mappatura degli spostamenti dell'area veneta con elevata risoluzione spaziale (Fig. 66).

I diversi metodi di monitoraggio della subsidenza attualmente a disposizione sono stati inseriti in un “sistema di monitoraggio integrato”, che, sfruttando le caratteristiche peculiari di ciascuna metodologia, permette un controllo affidabile ed accurato dell’area orientale veneta (STROZZI *et alii*, 2003b; CARBOGNIN *et alii*, 2005a; STROZZI *et alii*, 2005; TEATINI *et alii*, 2005).

Un contributo fondamentale per lo studio del processo di subsidenza è dato dal monitoraggio piezometrico degli acquiferi artesiani, effettuato sin dagli anni ‘70 nella rete di controllo delle pressioni di strato istituita dal CNR-ISMAR. Un esempio di mappatura della piezometria è riportata in Fig. 67.

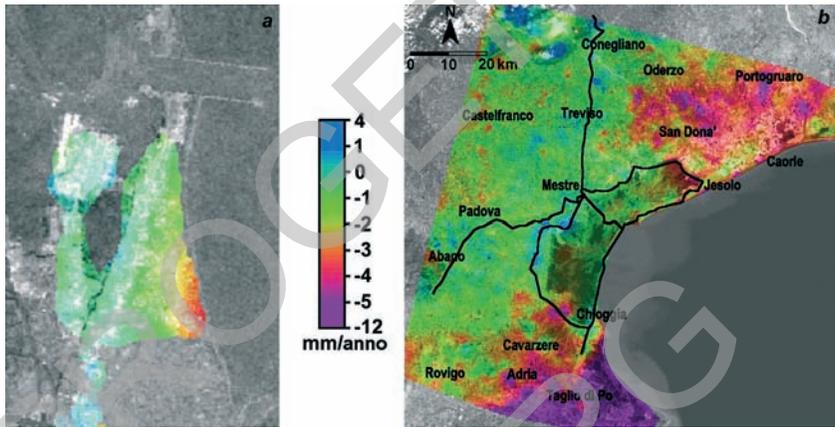


Fig. 66 - (a) Mappa degli spostamenti di Chioggia e Sottomarina tra il 1992 ed il 2000 ottenuta con interferometria differenziale SAR (da STROZZI *et alii*, 2003a); (b) spostamenti dell’area veneta tra il 1992 ed il 2000 ottenuti con il sistema di monitoraggio integrato (STROZZI *et alii*, 2003b).

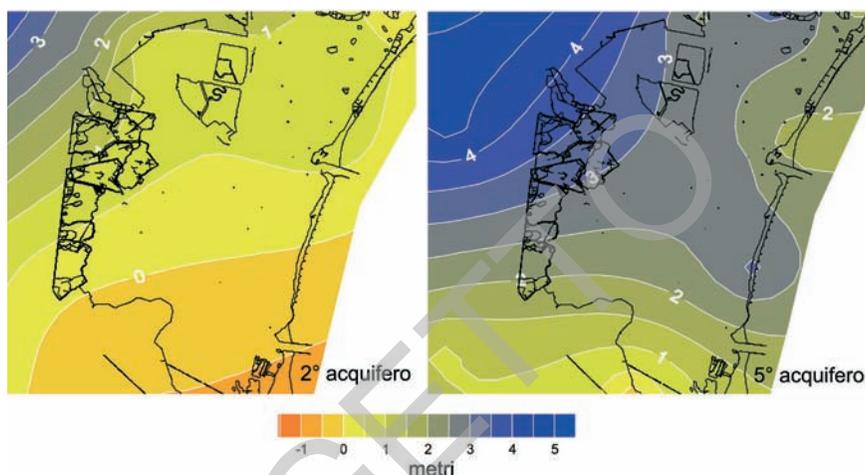


Fig. 67 – Mappe piezometriche (m s.l.m.) del secondo e quinto acquifero relative al 2003. Dati acquisiti dalla rete di monitoraggio dei livelli piezometrici del CNR-ISMAR.

4.2. - EUSTATISMO

Un altro importante aspetto associato all'abbassamento relativo del territorio lagunare veneziano è l'innalzamento del livello medio del mare. Per quanto concerne l'Adriatico settentrionale, le serie storiche più accurate a disposizione sono quelle relative ai mareografi di Venezia (Punta della Salute) e Trieste. La lunghezza delle serie è stato dimostrato essere sufficiente per mediare le oscillazioni minori dovute a variazioni climatiche di corto periodo (CARBOGNIN & TARONI, 1996).

La velocità media d'innalzamento sull'intero periodo (1897-1993) è di 1,13 mm/anno. Il confronto tra i dati di Trieste e Venezia evidenzia che per la città lagunare non è presente un *trend* unico per il secolo scorso a causa della subsidenza antropica. Dopo un ventennio di quiescenza tra il 1970 ed il 1990, i dati dell'ultima decina d'anni indicano una significativa ripresa dell'incremento eustatico, accompagnato da un maggior numero di eventi di acqua alta (CARBOGNIN *et alii*, 2004; 2005b).

PROGETTO
CARG

EXTENDED ABSTRACT

The geological map represents the exposed stratigraphic and depositional units in their three-dimensional space, defines their correlations and distribution, their lithological and sedimentological characteristics, and the environments in which they originated. During the survey and mapping of the stratigraphic units, the guidelines for geological investigations of the Quaternary continental deposits, issued by the SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (2001), were followed; reference is made to the Unconformity Bounded Stratigraphic Units (UBSU), defined on the basis of the presence of two evident, demonstrable, and significant discontinuities, bounding each unit above and below.

The geological survey of the Map Sheet “Chioggia-Malamocco” required an integrated methodological approach. In particular, analyses on both surfaces and subsoil deposits were performed in order to carry out three-dimensional studies of the stratigraphic units in an area including alluvial plain, lagoon, beach and sea environments. Multidisciplinary investigations, such as photo-interpretation and remote sensing, in situ surveys (coring and sampling, seismic profiles), laboratory analyses (stratigraphic descriptions, micropaleontological and mineralogical analyses, radiocarbon datings), were required. Considering the purpose of the Geological Map Sheet “Chioggia-Malamocco”, core samplings were mainly focused on the upper 20-30 m of subsoil, or within the units belonging to the upper deposits of the *Last Glacial Maximum* (LGM) and to the Holocene units. Anyhow, a 100 m-deep continuous drilling (*CARG II*) was performed, whereas a second coring, 100 m-deep, was available through the ISES Project. Finally, the classification of deeper sediments was based on the *Venezia I - CNR* core (1,000 m-deep continuous drilling), that reached the Pliocene deposits, and on other stratigraphies from water supply wells.

The Geological Map at 1:50,000 scale was obtained synthesizing the maps at 1:25,000 scale, resulting from the interpretation and synthesis of the 1:10,000 maps produced during the surveys.

1. - STRATIGRAPHIC UNITS

The *Venice Supersynthem* is the most ancient stratigraphic unit considered on the Geological Map Sheet “Chioggia-Malamocco”. The *Correzzola Unit* (CRZ), which identifies the last Tyrrhenian marine deposits, represents the uppermost part of this supersynthem; the *Mestre Supersynthem* (MT) continues upward, including alluvial units that are capped with deposits of the *Last Glacial Maximum* (LGM). The *Po Synthem* (POI), characterized by Holocene sediments, lies on the *Mestre Supersynthem*.

The *Venice Supersynthem* includes the Post-Messinian units deposited starting from the Pliocene until the Upper Pleistocene. The lower boundary, therefore, coincides with the Messinian unconformity, whereas the upper, separating it from the overlying *Mestre Supersynthem*, marks the change from lagoonal and deltaic depositional environments to the successive alluvial-type units. Available data allowed investigating adequately only the upper portion of the *Venice Supersynthem*, or rather the sequence deposited during the Tyrrhenian marine transgression, whose base, however, was not always possible to define exactly. On the Geological Map Sheet “Chioggia-Malamocco” this sequence shows neritic *biofacies* at the base and lagoon toward the top. In particular, the study of the *CARG II* core allowed identifying at about 90 m depth a benthic foraminifera assemblage, attributed to a neritic zone of a marine environment influenced by a river delta. Different, instead, is the benthic foraminifera assemblage found at about 60 m and 63 m depths, which indicates a medium confined paralic environment. In the core sample *ISES B* sandy deposits, between about 76 m and 86 m depths, seem to form an internal delta front: marine malacofauna (*Cyclope neritea*, *Cardiidae*) is abundant at 80 m depth and at -76 m foraminifera belong to coastal high energy environments. Using a series of selected stratigraphies from water supply wells, showing layers with lithological and shell content characteristics similar to those of the layers found in reference cores (*CARG II*, *ISES B*, *Venezia I - CNR*), a lateral correlation was attempted to identify the top of these marine deposits, corresponding to the *Correzzola Unit*, localized at depths between 50 m and 80 m.

In particular, in the *CARG II* core, the *Correzzola Unit* coincides with the sequence containing benthic foraminifera, found at a depth between about 60 m and 66 m and, with sharp erosive contact, lying on alluvial deposits. In the *ISES B* core, instead, only one transgressive event was recognized between -76 m and

-86.5 m, represented here by deposits of delta front prograding into a lagoon. The *Correzzola Unit* is subsurface in the about 50 m deep pit, which is found near the Malamocco inlet.

The *Mestre Supersynthem* lies on the *Venice Supersynthem* and it is represented by alluvial plain deposits composed of sands, silts, clays, sometimes characterized by evident signs of pedogenesis, and peats. The coarsest sediments, dominantly sands, are mainly found in correspondence of the ancient fluvial ridges, while finer grain sands, often rich in organic material, are found in the interstream basins of the flood plain. Silts and clays generally have sheet-like, laminated structure and contain peat layers, characterized by the presence of seeds, fragments of freshwater gastropods and shells of *Valvata* and *Vallonia*. The distribution of sands usually follows a preferential, meandering course, defining, thus, the presence of abandoned river beds. By palynological analyses performed in the *Venezia 1 - CNR*, *Venezia 1 bis - CNR* (MÜLLENDERS *et alii*, 1996), and *CARG 5* core samples, four main mild climate periods were distinguished within the *Mestre Supersynthem*, during the period between 40,000 and 19,000 years B.P. The oldest two are difficult to attribute, whereas the more recent ones are associated with the Tursac and Laugerie interstadials. Likewise, also CALDERONI *et alii* (1998) have identified four main sedimentary cycles within this supersynthem. The top of the *Mestre Supersynthem*, dated about 18,000 years B.P., shows evident signs of pedogenesis due to a prolonged subaerial exposure; the surface boundary, that separates it from the succeeding Holocene units, is erosive. At the top, although different lithologies are present, the finding of an overconsolidated clay layer, locally known as *caranto* and considered a paleosol, is more frequent. The *caranto* has a varying thickness from a few centimeters to 2 m and it is mainly composed of very stiff clayey-silts, or silty clays; it is light grey with ochreous marbling and contains carbonate nodules having a diameter equal to a few millimeters. The deposition of these sediments, and those immediately beneath, occurred between 18,000 and 20,000 years B.P. Recent studies set the pedogenetic and overconsolidation processes within a starving phase occurred from 14,500 years B.P. and the beginning of the Holocene transgression (MOZZI *et alii*, 2003). The *caranto* is an optimum reference layer in identifying the boundary between Pleistocene and Holocene sedimentation, but unfortunately it has more or less extensive and localized discontinuities, represented by *facies* composed of sandy sediments (probable evidences of ancient fluvial ridge deposits), at times cemented, or distinctly unconsolidated clays of lacustrine-swamp origin, but with traces of pedogenesis that sometimes could have been impeded by particular depositional and textural characteristics. Finally, the presence of Holocene marine-lagoonal sediments, filling ancient riverbeds, is not too rare. A major contribution to the study of the *Mestre Supersynthem* came from the high-resolution seismic survey of the lagoon and sea, allowing to identify a series of extended structures,

correlatable laterally, composed of erosive unconformity. In the Geological Map Sheet “Chioggia-Malamocco”, the *Mestre Supersynthem* is exposed only in the deeper lagoon channels.

In the study area the *Po Synthem* represents the Holocene deposits, attributed to the transgression event after the last glaciation. This unit corresponds to the *Ravenna Allomember* mapped on the Geological Map Sheet “Ravenna” (AMOROSI, 1999). The lower boundary of the *Po Synthem* is represented by an erosive unconformity, separating it from the underlying *Mestre Supersynthem*. Between the Pleistocene and Holocene sedimentation, a stratigraphic hiatus, characterized by widely varying time intervals, is present. In fact, in the different sectors of the Map Sheet “Chioggia-Malamocco” the lower boundary of the *Po Synthem* has different ages, the oldest in the southern coastal area (10,000-11,000 years B.P.), whereas in the northeastern area the age ranges from 5,000 to 7,000 years B.P. Where possible, the *Po Synthem* was divided into two units: the *Malamocco Unit* (Pre-Roman and Roman age) and the *Torcello Unit* (Post-Roman age), indicated on the geological map as POI₉ and POI₁₀, respectively. The *Torcello Unit* coincides with the *Modena Unit*, indicated also on the Map Sheet “Ravenna”. The stratigraphic boundary *Malamocco Unit-Torcello Unit* corresponds to a buried ground surface of the Roman age; especially owing to the scarce details offered by available stratigraphic information, it was not always possible to identify this boundary with certainty.

The setting of the *Po Synthem* base reflects the morphology of the Pleistocene plain during the *Last Glacial Maximum*. The thickest part of this synthem is recorded at the present littoral south of Sottomarina (20-22 m); the thickness decreases toward the Lido island (8-10 m) and thins out even more going toward the lagoon margin (a couple of meters) and offshore in the Adriatic Sea, where, starting from the 23-25 isobaths, the *Mestre Supersynthem* is exposed. The *Po Synthem* is the most represented of the stratigraphic units, whose top corresponds to the present sedimentation.

The *Malamocco Unit* represents the lower part, and therefore the most ancient, of the *Po Synthem*. At the base, sediments are composed of marine transgression deposits in the central-east area of the map and alluvial-deltaic in the western one. The former reflect a continuing migration of the littoral landward, forming a lagoon behind it. Thus, they comprise sandy-silty beach sediments, at the base of which a thin horizon, rich in marine bioclasts and scarce detrital matrix, and silty-clayey lagoon layers, sometimes organic, originated in a back-barrier environment, are often present. Generally, the beach deposits overlap the back-barrier sediments and are separated from the latter by a time-transgressive surface boundary, slightly dipping to the SE. In some cases, instead, the transgressive barrier sediments have an erosional contact with the underlying Pleistocene alluvial stratigraphic units. Locally, thin layers of reworked sandy clays, having

chaotic structures and containing Pleistocene clay breccias, are found under the back-barrier deposits: their origin was due to river overflowing, as consequence of deglaciation and sea level rise. Toward the mainland, the back-barrier deposits interdigit with those of alluvial/deltaic environment. Transgressive sediments are buried under those from coastal prograding related to the marine highstand.

Transgressive and prograding units generate a sandy-clayey body that thins out towards the NW, whose geometry is particularly complex owing to the, initially landward and then seaward, coastline migration. Behind the littoral deposits, the silty-clayey back-barrier sediments, often characterized by peat in marshy facies, interdigit with deltaic units toward the inner lagoon margins. Seaward, within the regressive and prograding deposits, a wedge-shaped unit can be distinguished; it is prevalently made up of silty deposits related to littoral-shelf transition *facies*, which are completely replaced by shelf sediments offshore. The *Malamocco Unit* is exposed in the lagoon channels and west of Pellestrina littoral, where traces of two very important shorelines were identified: the inner one indicates a shoreline long-term stability during the maximum marine transgression (5,000-6,000 years B.P.), whereas the other, east of the previous, corresponds to a standstill of the coastline occurred about 4,500 years B.P. The lower boundary of the *Malamocco Unit* corresponds to that of the *Po Synthem*, while the upper boundary is of late Roman age. Evident signs of pedogenesis, indicating conditions of prolonged subaerial exposure, often characterize the top deposits.

The *Torcello Unit*, corresponding to the uppermost part of the *Po Synthem*, refers to the post-Roman sedimentation, starting from V-VI century A.D. and ending with the present. The base of this unit indicates a phase of deteriorated climatic conditions that, from IV-VI century A.D., caused a significant increase in rainfall with a consequent increase of flooding (VEGGIANI, 1994) and probably even a sea level rise, which brought about a partial submersion of the lagoon area. This is often proved by the presence of lagoon deposits lying above the anthropogenic levels of the Roman age. In the absence of similar evidences, the unit is distinguished on the basis of other elements similar to those found on the Geological Map Sheet "Ravenna" during the identification of the corresponding *Modena Unit* (AMOROSI, 1999). In fact, on the mainland, sometimes the bottom boundary of the *Torcello Unit* coincides with an unconformity (erosional surface) laterally correlatable to yellowish-brown and reddish-brown soils, characterized by partial or total decarbonation in surface horizons and accumulation of carbonates in the deeper ones. By the geoarcheological study of the subsoils, largely carried out in the Venetian area and supported by chronostratigraphic data, it was possible to identify and map this unit. The *Torcello Unit* is composed of alluvial, deltaic, beach, and lagoon deposits (sands, silts, clays, and peats) and is exposed in both the lagoon and mainland; its thickness varies from 2 to 3 meters on average and shows limited lateral differences.

2. - LEGEND OF THE GEOLOGICAL MAP

PO SYNTHEM (POI): Holocene.

The *Po Synthem* comprises two lower-rank stratigraphic units: the *Torcello Unit* (POI₁₀) and the *Malamocco Unit* (POI₉), which represents the lowermost part of the synthem.

It is characterized by alluvial, deltaic, littoral (beach and lagoon), and shelf deposits. The lower boundary corresponds to an unconformity of regional extent that separates it from the underlying *Mestre Supersynthem*, forming a stratigraphic *hiatus*. The age of the *Po Synthem* bottom varies from 11-10,000 to 7-5,000 years B.P. The upper boundary corresponds to the present ground surface.

Depositional environments:

Alluvial deposits

- Sands, silty and/or clayey sands of fluvial channel, levee, crevasse and floodplain deposits. They constitute longitudinally elongated, convex bodies, following the direction of maximum slope (fluvial ridges) or lobate forms (crevasse deposits).
- Silts, sandy and/or clayey silts, occasionally containing organic matter, deposited mainly between the fluvial ridges, or slight elevated areas, and depressed areas.
- Clays, silty and/or sandy clays, sometimes rich in organic matter, deposited in interstream basins depressed with respect to the surrounding plain. They also make up sedimentary bodies characterized by a ribbon shape geometry and representative of abandoned channel deposits.

Deltaic deposits

- Sands, silty and/or clayey sands, deposited near the distributary channels and at the river mouths or accumulated along fluvial levee by rather strong water currents.
- Silts, sandy and/or clayey silts, sometimes associated with organic materials, deposited in deltaic floodplain areas distal to the stream.
- Clays, silty and/or sandy clays, sometimes associated with organic materials, deposited in low energy environment, generally in depressed areas far from the channels and the prodelta area.
- Peats, often associated with silty-clayey sediments (organic rich soils); they represent swampy-marshy deposits developed into depressed areas where river floodwaters converge and collect (interchannel basins).

Littoral deposits

a) Lagoon deposits

- Sands and silty sands deposited at the lagoon inlets, the shallows, and the high-energy lagoon channels, or located close to the littoral barrier (washover fan). They are often due to the reworking of littoral sediments caused by lagoon currents.
- Silts, clayey and/or sandy silts, sometimes containing organic materials, typical of lagoon basins, tidal plains, shoals, and salt marshes; the coarsest grain-fractions are found at the lagoon inlets.
- Clays, silty and/or sandy clays, at times rich in organic materials, deposited in areas characterized by very low energy and scarce water exchange, with the tendency to wetland development.
- Peat, often associated with silty-clayey sediments (organic rich soils), accumulated in lagoon marsh areas bordering the mainland and in back-barrier areas.

b) Beach deposits

- Sands and silty sands forming beach, beach ridges and dune systems.
- Silts, clayey and/or sandy silts, sometimes containing organic materials, deposited in environments characterized by low-energy and interdunal depressions.

Shelf deposits

Shallow sea deposits (*offshore deposits*), in which fine sediments are dominant.

TORCELLO UNIT (POI₁₀)

It is the uppermost part of the *Po Synthem*, of post-Roman age, composed of sands, silts, clays, and peats from alluvial, deltaic, and littoral (lagoon and beach) environments. The lower boundary coincides with a discontinuous unconformity extending over the Venice area and attributed to the IV-V century A.D., when a deterioration of the climatic conditions occurred. In the mainland it is laterally correlated to soils, characterized by the different degrees of decarbonation; the upper boundary coincides with the ground surface. Age: Post-Roman (IV-V century A.D. - Present).

MALAMOCCO UNIT (POI₉)

This unit represents the lower part of the *Po Synthem*; it is composed of sands, silts, clays, and peats from alluvial, deltaic, and littoral (lagoon and beach) environments and of shelf sands and silts. The lower boundary coincides with an

erosional surface, whereas the upper with the ground surface of Roman age. Age: 11,000 B.P - IV-V century A.D.

MESTRE SUPERSYNTHEM (MT).

It is composed of sediments of alluvial environment. The lower boundary, not exposed, is marked by an unconformity that separates this supersynthem from the underlying Tyrrhenian marine transgression deposits. The upper boundary coincides with an unconformity located at the top of the Pleistocene. The uppermost layer is often represented by a clayey-silty layer, locally known as *caranto*; it is a paleosol that underwent a process of over consolidation, due to subaerial exposure and dry cold climate. Age: Upper Pleistocene (110,000-18,000 B.P.).

VENICE SUPERSYNTHEM (VZ).

This supersynthem is composed of deposits whose sediments are characterized by various grain sizes and originated in different environments. The upper boundary corresponds to an unconformity that evidences the transition to the overlying alluvial deposits of the *Mestre Supersynthem*. The lower boundary coincides with the Messinian unconformity. Age: Pliocene-Upper Pleistocene (110,000 B.P.).

CORREZZOLA UNIT (CRZ).

It represents the uppermost part of the *Venice Supersynthem*. It is composed of marine sediments deposited during the last Tyrrhenian transgression event. The upper boundary coincides with the top of the *Venice Supersynthem*, whereas the base with an unconformity that separates it from the underlying Tyrrhenian alluvial deposits preceding the last phase of marine deposition. Age: Eemian.

BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI B. & SOCIN C. (1950) - *Le formazioni quaternarie del pozzo di Correzzola (Padova)*. Boll. Soc. Adriat. Sc. Nat. Trieste, **45**: 11-26.
- ALBANI A.D., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1984a) - *Apparati intertidali ai margini di canali lagunari. Studio morfologico, micropaleontologico e sedimentologico*. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Rapporti e Studi, **9**: 137-162.
- ALBANI A.D., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1984b) - *Benthonic foraminifera as indicators of intertidal environments*. Geo-Marine Letters, **4**: 43-47.
- ALBANI A.D., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1991) - *The distribution and ecological significance of recent Foraminifera in the Lagoon south of Venice*. Revista Espanola de Micropaleontologia, **23**(2): 129-143.
- ALBANI A.D., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1998) - *Distribution of sediment and benthic Foraminifera in the Gulf of Venice, Italy*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, **46**: 252-265.
- ALBANI A.D., RICKWOOD P.C., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1989) - *The geochemical anomalies in sediments on the shelf near the Lagoon of Venice, Italy*. Marine Pollution Bulletin, **20**: 438-442.
- ALBANI A.D., RICKWOOD P.C., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1995) - *The geochemistry of recent sediments in the Lagoon of Venice: environmental implications*. Atti Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, **153**: 235-321.
- ALBANI A.D. & SERANDREI BARBERO R. (2001) - *The distribution of surface sediments in the Lagoon of Venice (Italy) in the 1980s*. Atti Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, **159**: 363-378.
- ALVE E. (1995) - *Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: an overview*. Journal of Foraminiferal Research, **25**: 190-203.
- AMOROSI A. (a cura di) (1999) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 223 - Ravenna*. Servizio Geologico d'Italia, Ditta Eliofofotecnica Barbieri s.n.c., Parma: 144 pp.
- AURIGHI M., ZANGHERI P., FERRONATO A., FRANZ L. & VITTURI A. (1999) - *Monitoraggio di sistemi multivalde. Il caso della Provincia di Venezia*. Quaderni di Geologia Applicata, Atti 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio, Parma, 13-15 ottobre 1999, Pitagora Ed., Bologna: 10 pp.
- BAGLIONI A. & TOFFOLETTO F. (1998) - *Applicazione di metodologie geofisiche nello studio sedimentologico-stratigrafico del sottosuolo veneziano*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **219**: 20 pp.
- BARATTA M.R. (1901) - *I terremoti d'Italia*. Saggio di Storia, Geografia e Bibliografia Sismica Italiana con 136 sismocartogrammi, F.lli Bocca Editori, Torino: 950 pp.
- BARBIERI C., DI GIULIO A., FANTONI R., PICOTTI V. & ZANFERRARI A. (2004) - *Patterns of the Messinian erosion in the Venetian-Friulian Basin (NE Italy)*. 32nd International Geological Congress, August 20-28, 2004, Florence.
- BARBIERI C. & GARCIA CASTELLANOS D. (2004) - *A 3D image of the Venetian foreland basin (NE Italy) through a 2D (planaforn) analysis*. Proceedings of Geomod2004, Emmetten, Lake Lucerne, June 9-11, 2004: 179-182.
- BARILLARI A. (1978) - *Prime notizie sulla distribuzione dei sedimenti superficiali nel bacino centrale della Laguna di Venezia*. Atti Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Classe di Scienze Matematiche e Naturali, **136**: 125-134.
- BARILLARI A. (1981) - *Distribuzione dei sedimenti superficiali nel bacino meridionale della Laguna di Venezia*. Atti Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, **134**: 87-109.

- BARILLARI A. & ROSSO A. (1975) - *Prime notizie sulla distribuzione dei sedimenti superficiali nel bacino settentrionale della laguna veneta*. Mem. Biogeogr. Adriat., suppl., **9**: 13-32.
- BASSAN V., FAVERO V., VIANELLO G. & VITTURI A. (1994) - *Studio geoambientale e geopedologico del territorio provinciale di Venezia - Parte meridionale*. Provincia di Venezia, Servizi Grafici Editoriali, Padova: 262 pp.
- BELLETT J., OUDIN J.L., FAVERO V. & PASSEGA R. (1982) - *Analyse optique de la matière organique du Quaternaire: sondage C.N.R. VE-1, Venise*. Revue de l'Institut Français du Pétrole, **37**: 587-598.
- BENVENUTI G. (a cura di) (1974) - *Ricerche stratigrafiche superficiali e di falde acquifere mediante sondaggi elettrici a sud-ovest della laguna di Venezia*. Ministero dei Lavori Pubblici, Comitato per lo studio dei provvedimenti a difesa della Città di Venezia ed a salvaguardia dei suoi caratteri ambientali e monumentali, III Gruppo di lavoro, Geologia - Geofisica - Geotecnica, Società Cooperativa Tipografica, Padova.
- BENZÈCRI J.P. (1980) - *L'analyse de données. L'analyse des correspondances*. Dunod, Paris, **2**: 628 pp.
- BERNARDIS G., POLI M.E., SNIDARCIG A. & ZANFERRARI A. (2000) - *Seismotectonic and macroseismic characteristics of the earthquake of Bovec (NW Slovenia: April 12, 1998)*. Boll. Geof. Teor. Appl., **41**: 133-148.
- BLAKE H., BONDESAN A., FAVERO V., FINZI E. & SALVATORI S. (1988) - *Cittanova - Heraclia 1987: risultati preliminari delle indagini geomorfologiche e paleogeografiche*. Quad. Arch. del Veneto, **4**: 112-135.
- BOCCALETTI M., BONINI M., CORTI G., GASPERINI G., MARTELLI L., PICCARDI L., TANINI C., VANNUCCI G., MOLINARI F., MORATTI G., ROSSELLI S. & SEVERI P. (2003) - *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000*. S.El.Ca., Firenze.
- BONARDI M., CANAL È., CAVAZZONI S., SERANDREI BARBERO R., TOSI L., GALGARO A. & GIADA M. (1997) - *Sedimentological, archaeological and historical evidences of paleoclimatic changes during the Holocene in the Lagoon of Venice (Italy)*. World Resource Review, **9**(4): 435-446.
- BONARDI M. & TOSI L. (1994a) - *I sedimenti tardo-quadernari del cordone litoraneo della Laguna di Venezia: le sabbie*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **184**: 56 pp.
- BONARDI M. & TOSI L. (1994b) - *Effects of Late Quaternary climatic changes on an exposed clay layer in the Lagoon of Venice (Italy)*. International Association of Sedimentologist, Proceedings of 14th International Sedimentological Congress, Recife, Brazil, 1994: 18-20.
- BONARDI M. & TOSI L. (1995a) - *The Holocene-Pleistocene boundary zone in the Lagoon of Venice (Italy)*. Atti del Contributo Italiano al Seminario Bilaterale Cina-Italia sulla Geologia Marina, Qingdao, China, 4-6 ottobre 1994, C.N.R. - Istituto di Geologia Marina, Bologna, Rapporto Tecnico **40**: 14-17.
- BONARDI M. & TOSI L. (1995b) - *Caratterizzazione e differenziazione mineralogica dei livelli sabbiosi tardo-quadernari del litorale veneziano*. Il Quaternario, **8**(2): 315-322.
- BONARDI M. & TOSI L. (1997) - *Evidence of climatic variations in Upper Pleistocene and Holocene sediments from the Lagoon of Venice (Italy) and the Yellow Sea (China)*. World Resource Review, **9**(1): 101-112.
- BONARDI M. & TOSI L. (1999) - *Cicli sedimentari e variazioni paleoclimatiche in ambienti deposizionali diversi: lagunare, deltizio e di mare epicontinentale*. Atti del Convegno "Conoscenza e Salvaguardia delle Aree di Pianura - Il contributo delle Scienze della Terra", Ferrara, 8-11 novembre 1999, Sessione I (Comunicazioni): 15-17.
- BONARDI M. & TOSI L. (2000a) - *Studio mineralogico dei sedimenti sabbiosi tardo-pleistocenici ed olocenici del litorale veneziano*. Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, La Ricerca Scientifica Per Venezia, Il Progetto Sistema Lagunare Veneziano Modellistica del Sistema Lagunare, Studio di Impatto Ambientale, **2**(2): 961-966.
- BONARDI M. & TOSI L. (2000b) - *Studio sedimentologico di un livello di argilla sovraconsolidata sottostante il litorale veneziano*. Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, La Ricerca Scientifica Per Venezia, Il Progetto Sistema Lagunare Veneziano, Modellistica del Sistema Lagunare, Studio di Impatto Ambientale, **2**(2): 952-960.

- BONARDI M. & TOSI L. (2001) - *Effects of climate changes on the Upper Pleistocene and Holocene sediments of the Venice Lagoon, Italy*. Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 3-4 maggio 2001.
- BONARDI M., TOSI L. & RIZZETTO F. (2004) - *Mineralogical characterization of the Venice Lagoon top sediments*. In: CAMPOSTRINI P. (ed.) - *Scientific Research and Safeguarding of Venice. Co.Ri.La. Research Program 2001-2003*. La Garangola, Padova, **2**: 145-155.
- BONARDI M., TOSI L., RIZZETTO F., BRANCOLINI G. & BARADELLO L. (2004) - *Effects of climate changes on the Late Pleistocene and Holocene sediments of the Venice Lagoon, Italy*. Journal of Coastal Research, Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Brazil, SI 39, ISSN 0749-0208, 279-284.
- BONATTI E. (1968) - *Late-Pleistocene and Postglacial stratigraphy of a sediment core from the Lagoon of Venice (Italy)*. Mem. Biogeogr. Adriat., Suppl., **7**: 18 pp.
- BONDESAN A., CALDERONI G. & MOZZI P. (2002) - *L'assetto geomorfologico della pianura veneta centro-orientale: stato delle conoscenze e nuovi dati*. In: VAROTTO M. & ZUNICA M. (a cura di) - *Scritti in ricordo di Giovanna Brunetta*. Univ. degli Studi di Padova, Dip. di Geografia "Giuseppe Morandini", Padova: 19-38.
- BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) (2004) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra Editrice, Padova : 516 pp.
- BONDESAN M., ELMI C. & MAROCCO R. (2001) - *Forme e depositi di origine litoranea e lagunare*. In: CASTIGLIONI G. B. & PELLEGRINI G. B. (eds) - *Note illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **4**: 105-118.
- BONDESAN M., FAVERO V. & VINALS M. J. (1995) - *New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene*. Quat. Int., **29/30**: 105-110.
- BORTOLAMI G.C., CARBOGNIN L. & GATTO P. (1984) - *Natural subsidence in the Lagoon of Venice*. In: JOHNSON A.I., CARBOGNIN L. & UBERTINI L. (eds) - *Land Subsidence*. Proceedings of the 3rd International Symposium on Land Subsidence, IAHS Publication, **151**: 777-784.
- BORTOLAMI G.C., FONTES J.C., MARKGRAF V. & SALIEGE J.F. (1977) - *Land, sea and climate in the northern Adriatic region during late Pleistocene and Holocene*. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, **21**: 139-156.
- BORTOLAMI G.C., FONTES J.C. & PANICHI C. (1970) - *Hydrogéologie isotopique de la Plaine de Venise. Premiers résultats et perspectives*. Atti del Convegno Internazionale sulle Acque Sotterranee, Palermo, 6-8 dicembre 1970: 7 pp.
- BORTOLAMI G.C., FONTES J.C. & PANICHI C. (1973a) - *Résultats préliminaires sur les teneurs en isotopes de l'environnement et circulation dans les aquifères du sous-sol vénitien*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **35**: 20 pp.
- BORTOLAMI G.C., FONTES J.C. & PANICHI C. (1973b) - *Isotopes du milieu et circulations dans les aquifers du sous-sol vénitien*. Earth and Planetary Sciences Letters, **19**(2): 154-167.
- BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G. & VALENSISE G. (a cura di) (1995) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. ING-SGA, Bologna: 970 pp.
- BOSCHI E., GUIDOBONI E., FERRARI G., VALENSISE G. & GASPERINI P. (a cura di) (1997) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990*. ING-SGA, Roma-Bologna, **2**: 644 pp.
- BRAMBATI A., CARBOGNIN L., QUAIÀ T., TEATINI P. & TOSI L. (2003) - *The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence*. Episodes, **26**(3): 264-268.
- BRANCOLINI G., TOSI L., RIZZETTO F., DONDA F. & BARADELLO L. (2005) - *The unconformity at the Pleistocene-Holocene boundary in the Venice coastal area (Italy)*. Geotalia 2005, Quinto Forum Italiano di Scienze della Terra, Spoleto, 21-23 settembre 2005, Epitome, **1**: 253.
- BRANCOLINI G., TOSI L., RIZZETTO F., DONDA F. & BARADELLO L., NIETO D., FANZUTTI F., WARDELL N., TEATINI P., AMOS C. & BONARDI M. (2006) - *New very high resolution seismic surveys in shallow water to study the subsurface in the Venice Lagoon*. In: CAMPOSTRINI P. (Ed.) - *Scientific Research and Safeguarding of Venice 2005*. CORILA Research, Research Program 2004-2006, Multigraf Industria Grafica Editrice, Spinea, Venezia, 417-427.

- CALDERONI G., CURZI P.V., PAGANELLI A. & SARTORI E. (1998) - *Stratigraphic palaeoenvironmental preliminary results of Late Quaternary gassy sediments in Venice Lagoon*. Abstracts of 5th International Conference on Gas Marine Sediments, Bologna, 9-12 September 1998: 98-101.
- CALDERONI G., PAGANELLI A. & SARTORI E. (2000) - *La presenza di sedimenti marini, riferibili al Tirreniano, in una carota della Laguna di Venezia, attraverso una indagine palinologica*. Convegno AIQUA, L'Eemiano e il Tirreniano in Italia, Verona, 12-13 settembre 2000: 36-37.
- CAMASSI R. & STUCCHI M. (1996) - *NT4.1: un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. Rapporto Tecnico del C.N.R.-GNDT, Milano: 86 pp.
- CAMPORESE M., GAMBOLATI G., PUTTI M., TEATINI P., BONARDI M., RIZZETTO F., TOSI L., FERRARIS S., GASPARETTO STORI G., NICOLETTI V., SILVESTRI S. & SALANDIN P. (2005) - *Monitoring and modeling peat soil subsidence in the Venice Lagoon*. In: ZHANG A. et alii (eds) - *Land Subsidence*. Proceedings of the 7th International Symposium on Land Subsidence, Shanghai, China, October 23-28, 2005, Shanghai Scientific & Technical Publ., 2: 543-551.
- CARBOGNIN L. (1992) - *Evoluzione naturale e antropica della Laguna di Venezia*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 42: 123-134.
- CARBOGNIN L., CECCONI G. & ARDONE V. (2000) - *Interventions to safeguard the environment of the Venice Lagoon (Italy) against the effects of land elevation loss*. In: CARBOGNIN L., GAMBOLATI G. & JOHNSON A.I. (eds) - *Land Subsidence*. Proceedings of the Sixth International Symposium on Land Subsidence, La Garangola, Padova, 1: 113-126.
- CARBOGNIN L., GATTO P., GAMBOLATI G. & RICCI G. (1977) - *New trend in the subsidence of Venice*. Second International Symposium on Land Subsidence, Anaheim, CA, U.S.A., IAHS Publication, 121: 65-81.
- CARBOGNIN L., GATTO P. & MOZZI G. (1981) - *La riduzione altimetrica del territorio veneziano e le sue cause*. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Rapporti e Studi, 8: 55-83.
- CARBOGNIN L., MARABINI F., TARONI G., TEATINI P. & TOSI L. (1994) - *Altimetria recente del comprensorio lagunare veneziano. Un'analisi critica*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico 193: 32 pp.
- CARBOGNIN L., MARABINI F. & TOSI L. (1995a) - *Land subsidence and degradation of the Venice littoral zone, Italy*. In: BARENS J.F., BROUWER F.J.J. & SCHROEDER F.H. (eds) - *Land Subsidence*. Proceedings of the 5th International Symposium on Land Subsidence, IAHS Publication, 234: 391-402.
- CARBOGNIN L., RIZZETTO F., TOSI L., STROZZI T., TEATINI P. & VITTURI A. (2005a) - *A new monitoring strategy to control land movements. The Veneto Region test area*. In: ZHANG A. et alii (eds) - *Land Subsidence*. Proceedings of the 7th International Symposium on Land Subsidence, Shanghai, China, October 23-28, 2005, Shanghai Scientific & Technical Publ., 1: 435-444
- CARBOGNIN L. & TARONI G. (1996) - *Eustatismo a Venezia e Trieste nell'ultimo secolo (Eustasy at Venice and Trieste in the last century)*. Atti Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, 154(3): 281-298.
- CARBOGNIN L., TEATINI P. & TOSI L. (1995b) - *Analysis of actual land subsidence in Venice and its hinterland (Italy)*. In: BARENS J.F., BROUWER F.J.J. & SCHROEDER F.H. (eds) - *Land Subsidence*. Proceedings of the 5th International Symposium on Land Subsidence, IAHS Publication, 234: 129-137.
- CARBOGNIN L., TEATINI P. & TOSI L. (2004) - *Eustasy and land subsidence in the Venice Lagoon at the beginning of the new millennium*. Journal of Marine Systems, Elsevier, 51(1-4): 345-353. doi:10.1016/j.jmarsys.2004.05.021
- CARBOGNIN L., TEATINI P. & TOSI L. (2005b) - *Land Subsidence in the Venetian area: known and recent aspects*. In: CHERUBINI C. (ed.) - *Some engineering geological case histories in Italy*. Giornale di Geologia Applicata, vol.1: 5-11. doi: 10.1474/GGA.2005-01.0-01.0001
- CARBOGNIN L. & TOSI L. (1995) - *Situazione altimetrica attuale del comprensorio veneziano e i suoi riflessi sull'ambiente lagunare*. Geologia Applicata e Idrogeologia, Ed. Cotecchia, 30: 303-313.
- CARBOGNIN L. & TOSI L. (2003) - *Il Progetto ISES per l'analisi dei processi di intrusione salina*

- e subsidenza nei territori meridionali delle province di Padova e Venezia. Grafiche Erredici, Padova: 96 pp.
- CARMINATI E., DOGLIONI C. & SCROCCA D. (2003) - *Apennines subduction-related subsidence of Venice*. Geophysical Research Letters, **30**(13): 1717. doi:10.1029/2003GL017001
- CARULLI G.B., NICOLICH R., REBEZ A. & SLEJKO D. (1990) - *Seismotectonics of the NW external Dinarides*. Tectophysics, **179**: 111-25.
- CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R. & CAPPELLI V. (1986) - *Pianura Padana: interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*. 73° Congresso Società Geologica Italiana, Roma, 29 settembre - 4 ottobre 1986: 28 pp.
- CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991) - *Inventario delle faglie attive fra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale)*. Il Quaternario, **4**(2): 333-410.
- CASTIGLIONI G.B. (1978) - *Il ramo più settentrionale del Po nell'antichità*. Atti e Memorie dell'Accademia Patavina di Scienze, Lettere ed Arti, **90**(3): 157-164.
- CASTIGLIONI G.B. (1982) - *Questioni aperte circa l'antico corso del Brenta nei pressi di Padova*. Atti e Memorie dell'Accademia Patavina di Scienze, Lettere ed Arti, **94**(3): 159-170.
- CASTIGLIONI G.B. (1989) - *Idrografia della pianura padovana in base ad indizi geomorfologici*. In: RONCONI G. (a cura di) - *Padova città d'acque*. La Garangola, Padova: 12-13.
- CASTIGLIONI G.B., GIRARDI A. & RODOLFI G. (1987) - *Le tracce degli antichi percorsi del Brenta per Montà e Arcella nei pressi di Padova: studio geomorfologico*. Mem. Scienze Geologiche, **39**: 129-149.
- CATALANO R., BARTOLINI C., FABBRI A., LEMBO P., MARANI M., MARSELLA E., ROVERI M. & ULZEGA A. (1996) - *Norme generali delle linee guida di rilevamento geologico nelle aree marine da sottoporre al Servizio Geologico Italiano - Rapporto Finale*. Commissione di studio per la cartografia geologica marina: 48 pp.
- CATI A., SARTORIO D. & VENTURINI S. (1989) - *Carbonate platforms in the subsurface of the northern Adriatic area*. Mem. Soc. Geol. It., **40**: 295-308.
- CAVALLIN A & MARCHETTI M. (1995) - *Morphoneotectonic photointerpretation support for seismic hazard*. Adv. Space Res., **15**(11): 45-95.
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1971) - *Sondaggi profondi per lo studio della subsidenza. Relazioni sul pozzo Venezia 1 - C.N.R. 1ª fase. Operazioni di cantiere e analisi delle carote*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Laboratorio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico.
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F. (1996a) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. Il Quaternario, **9**(2): 697-704.
- CORREGGIARI A., TRINCARDI F. & FIELD M. E. (1996b) - *Late-Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf*. In: DE BATIST M. & JACOBS J. (eds) - *Geology of siliciclastic shelf seas*. Geol. Soc. Amer. Sp. Pub., **117**: 155-169.
- DAL PRÀ A., GOBBO L., VITTURI A. & ZANGHERI P. (2000) - *Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia*. Provincia di Venezia, Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio, Ufficio Difesa del Suolo, Grafiche Erredici, Padova: 128 pp.
- D'AMBROSI C. (1969) - *L'Adriatico nel Quaternario*. Atti Museo Civ. St. Nat., Trieste, **26**, 5(7): 129-175.
- DAVIS J.C. (1986) - *Statistical and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons, 2nd edition, New York: 646 pp.
- DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G., CONCHETTO E., BORTOLI A., DELL'ANDREA E. MARTINI G. & MENEGUS L. (1999) - *Controllo di eventuali danni ambientali determinati dagli emungimenti praticati nelle aree di Cavallino, Treporti, Punta Sabbioni e isola di Sant'Erasmus (Provincia di Venezia)*. Regione del Veneto - Segreteria Regionale per l'Ambiente, C.N.R. - G.N.D.C.I., Venezia: 118 pp.
- DOGLIONI C. & BOSELLINI A. (1987) - *Eoalpine and mesoalpine tectonics in the Southern Alps*. Geol. Rundsch., **76**(3): 735-754.
- DONAZZOLO R., HIEKE MERLIN O., MENEGAZZO VITTURI L. & PAVONI B. (1984) - *Heavy metal content*

- and lithological properties of recent sediments in the northern Adriatic. *Marine Pollution Bulletin*, **15**(3): 93-101.
- DONNICI S. & SERANDREI BARBERO R. (2004) - *Paleogeografia e cronologia dei sedimenti tardo-pleistocenici ed olocenici presenti nel sottosuolo di Valle Averto (Laguna di Venezia, bacino meridionale)*. Lavori Soc. Ven. Scienze Naturali, **29**: 101-108.
- DONNICI S. & SERANDREI BARBERO R. (2005). - *I foraminiferi di ambiente vallivo della Laguna di Venezia*. Lavori Soc. Ven. Scienze Naturali, **30**: 25-36.
- FANTONI R., CATELLANI D., MERLINI S., ROGLEDI S. & VENTURINI S. (2002) - *La registrazione degli eventi deformativi cenozoici nell'avampaese veneto-friulano*. Mem. Soc. Geol. It., **57**: 301-313.
- FAVERO V. (1985) - *Evoluzione della Laguna di Venezia ed effetti indotti da interventi antropici sulla rete fluviale circumlagunare*. In: MINISTERO DEI LL. PP. - MAGISTRATO ALLE ACQUE - *Laguna, fiumi, lidi: cinque secoli di gestione delle acque nelle Venezia*. Atti del Convegno indetto dal Magistrato alle Acque, Venezia, 10-12 giugno 1983: 402-409.
- FAVERO V. (1987) - *The Venetian Lagoon: the evolution and the environment*. 13th International Meeting on Organic Geochemistry, Venezia, 25th September 1987: 12 pp.
- FAVERO V. (1989) - *Il Naviglio di Brenta*. Periodico "Provincia di Venezia", VI/89, Tipografia Commerciale, Venezia.
- FAVERO V. (1999) - *I pericoli per la struttura dei lidi in età storica*. In: AA. VV. - *Murazzi. Le muraglie della paura*. Grafiche Veneziane, Venezia: 45-67.
- FAVERO V., ALBEROTANZA L. & SERANDREI BARBERO R. (1973) - *Aspetti paleoecologici, sedimentologici e geochimici dei sedimenti attraversati dal pozzo VE Ibis-C.N.R.* Consiglio Nazionale delle Ricerche - Laboratorio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **63**: 52 pp.
- FAVERO V., LEPLAT P., MENNIG J.J. & PASSEGA R. (1979) - *Exemple de distribution de la matière organique au Quaternaire : sondage C.N.R. VE-1, Venise*. Revue de l'Institut Français du Pétrole, **34**(3): 351-370.
- FAVERO V., PAROLINI R. & SCATTOLIN M. (a cura di) (1988) - *Morfologia storica della laguna di Venezia*. Arsenale Editrice, Venezia: 80 pp.
- FAVERO V. & PASSEGA R. (1980) - *Quaternary turbidites in a neritic environment: well C.N.R. VE 1, Venice, Italy*. *Journal of Petroleum Geology*, **3**(2): 153-174.
- FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1978) - *La sedimentazione olocenica nella piana costiera tra Brenta ed Adige*. Mem. Soc. Geol. It., **19**: 337-343.
- FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1980) - *Origine ed evoluzione della Laguna di Venezia - Bacino meridionale*. Lavori Soc. Ven. Sc. Nat., **5**: 49-71.
- FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1983) - *Oscillazioni del livello del mare ed evoluzione paleoambientale della Laguna di Venezia nell'area compresa tra Torcello ed il margine lagunare*. Lavori Soc. Ven. Sc. Nat., **8**: 83-102.
- FONTES J.CH. & BORTOLAMI G.C. (1972) - *Subsidence of the area of Venice during the past 40,000 years*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Laboratorio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **54** : 11 pp.
- FONTES J.CH. & BORTOLAMI G.C. (1973) - *Évolution des confins adriatiques septentrionaux au Pleistocène supérieur et à l'Holocène*. Colloques Internationaux du C.N.R.S., **219**: 155-161.
- GALADINI F., GALLI P., MOLIN D. & CIURLETTI G. (2001) - *Searching for the seismogenic source of the 1117 earthquake in northern Italy: a multidisciplinary approach*. In: GLADE T., ALBINI P. & FRANCES F. (eds) - *The Use of Historical Data in Natural Hazards Assessment*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, the Netherlands: 3-27.
- GALADINI F., POLI M.E. & ZANFERRARI A. (2005) - *Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with M-6 in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy)*. *Geophys. J. Int.*, **160**: 1-24.
- GAMBOLATI G. & FREEZE R.A. (1973) - *Mathematical simulation of the subsidence of Venice. 1. Theory*. *Water Resources Research*, **9**: 721-733.

- GAMBOLATI G. & GATTO P. (1975) - *Simulazione della subsidenza di Venezia*. In: *Venezia e i problemi dell'ambiente*, ed. Il Mulino, Bologna: 299-360.
- GAMBOLATI G., GATTO P. & FREEZE R.A. (1974a) - *Mathematical simulation of the subsidence of Venice*. 2. *Results*. Water Resources Research, **10**: 563-577.
- GAMBOLATI G., GATTO P. & FREEZE R.A. (1974b) - *Predictive simulation of the subsidence of Venice*. Science, **183**: 849-851.
- GAMBOLATI G., PUTTI M., TEATINI P., CAMPORESE M., FERRARIS S., GASPARETTO-STORI G., NICOLETTI V., RIZZETTO F., SILVESTRI S. & TOSI L. (2005) - *Peatland Oxidation Enhances Subsidence in the Venice Watershed*. EOS-Transactions American Geophysical Union, **23**, **86**: 217-220.
- GAMBOLATI G., M. PUTTI, P. TEATINI & G. GASPARETTO STORI (2003) - *Subsidence due to peat oxidation and impact on drainage infrastructures in a farmland catchment south of the Venice Lagoon*. 1st Int. Conf. on Groundwater in Geological Engineering, Bled (Slovenia), September 22-26, 2003.
- GATTO P. (1973) - *Ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo veneziano sulla base delle documentazioni di 120 pozzi artesiani e geotecnici*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Laboratorio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **33**: 17 pp.
- GATTO P. (1979) - *La laguna di Venezia. Conservazione dell'ambiente fisico. Subsidenza, idrodinamica lagunare e difesa dei litorali*. Atti del XI Congresso della Società Italiana di Biologia Marina, Orbetello, 23-24 maggio 1979: 6 pp.
- GATTO P. (1984) - *Il cordone litoraneo della laguna di Venezia e le cause del suo degrado*. Istituto Veneto Scienze Lettere ed Arti, Rapporti e Studi, **9**: 163-193.
- GATTO P. & CARBOGNIN L. (1981) - *The Lagoon of Venice - natural environmental trend and man-induced modification*. Hydrological Sciences - Bulletin des Sciences Hydrologiques, **26**: 379-391.
- GATTO P. & FAVERO V. (1973) - *Possibilità di applicazione del carotaggio radioattivo (gamma e neutron ray) nell'esplorazione del sottosuolo di Venezia*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Laboratorio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **47**.
- GATTO P. & PREVIADELLO P. (1974) - *Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella Laguna di Venezia di un'argilla sovraconsolidata nota come "Caranto"*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Laboratorio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **70**: 45 pp.
- GAZZI P., ZUFFA G.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., **12**: 1-37.
- GUELORGET O. & PERTHUISOT J.P. (1983) - *Le domaine paralique*. Travaux du Laboratoire de Geologie, Presses de l'Ecole Normale Supérieure, Paris, **16**: 136 pp.
- HAMMERL C. (1994) - *The earthquake of January 25th, 1348: discussion of sources*. In: ALBINI P. & MORONI A. (eds) - *Materials of the CEC Project "Review of historical seismicity in Europe"*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico, Milano, **2**: 225-240.
- HIEKE MERLIN O., MENEGAZZO VITTURI L. & SEMENZATO G. (1979) - *Contributo alla conoscenza dei sedimenti superficiali della Laguna Veneta*. Atti Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, **137**: 35-51.
- HOROWITZ A. (1967) - *Palynological studies in the Lagoon of Venice*. Mem. Biogeogr. Adriat., **7**: 17-27.
- IACCARINO E. & MOLIN D. (1978) - *Raccolta di notizie macrosismiche dell'Italia nord-orientale dall'anno 0 all'aprile 1976*. Comitato Nazionale Energia Nucleare, Roma: 63 pp.
- ILICETO V. (1994) - *Il rischio sismico nella provincia di Venezia*. Provincia di Venezia, **18**: 5-6.
- JOBSTRAIBIZER, P. & MALESANI, P. (1973) - *I sedimenti dei fiumi veneti*. Mem. Soc. Geol. It., **12**: 411-452.
- KENT V.D., RIO D., MASSARI F., KUKLA G. & LANCI L. (2002) - *Emergence of Venice during the Pleistocene*. Quaternary Science Review, **21**: 1719-1727.
- LEONARDI P. (1970) - *Trattato di Geologia*. UTET, Torino: 1005 pp.

- LEONARDI P., MORELLI C., NORINELLI A. & TRIBALDO G. (1973) - *Sintesi geologica e geofisica riguardante l'area veneziana e zone limitrofe*. Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia, **34** : 24 pp.
- LEVORATO (2002) - *Studio geomorfologico della pianura sud-orientale della provincia di Padova*. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Geografia "G. Morandini", Università degli Studi di Padova.
- MAGISTRATO ALLE ACQUE & CONSORZIO VENEZIA NUOVA (1999) - *Nuovi interventi per la salvaguardia di Venezia. Interventi per il recupero ambientale e morfologico della laguna di Venezia*. Rapporto interno.
- MARCELLO A. & SPADA N. (1968) - *Notizia di una vicenda climatica antica nella Laguna di Venezia*. Mem. Biogeogr. Adriatica, **8**: 1-8.
- MARMO C. (1989) - *Terraemotus non sunt multiplicandi praeter necessitatem. Le metamorfosi dei terremoti dalle fonti ai repertori dei prodigi*. In: GUIDOBONI E. (a cura di) - *I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea - Storia Archeologia Sismologia*. ING-SGA Bologna: 286-306.
- 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 in the past two million years*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **202**: 273-308.
- MC CLENNEN C., AMMERMAN A. & SCHOCK S. (1997) - *Framework stratigraphy for the Lagoon of Venice, Italy: revealed new seismic-reflection profiles and cores*. Journal of Coastal Research, **13**(3): 745-759.
- MEADE R.H. (1964) - *Removal of water and rearrangement of particles during the compaction of clayey sediments - Review*. U.S. Geological Survey Professional Paper, **497-B**: 23 pp.
- MERCALLI G. (1883) - *Vulcani e fenomeni vulcanici in Italia*. Ristampa anastatica del 1981, Arnoldo Forni Editore, Sala Bolognese: 372 pp.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1973) - *Pozzi Lido 1 e Marghera 1*. Comitato per lo Studio dei Provvedimenti a Difesa della Città di Venezia, III gruppo di lavoro, Relazione AGIP, S. Donato Milanese.
- MONACHESI, G. & STUCCHI, M. (1998) - *DOM 4.1, an intensity database of damaging earthquakes in the Italian area*. GNDT - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Milano: <http://emidius.itim.mi.cnr.it/DOM/home.html>.
- MONACHESI G. & STUCCHI M. (a cura di) (2000) - *DOM 4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Milano: <http://emidius.mi.ingv.it/DOM/home.html>.
- MOSETTI F. & D'AMBROSI C. (1966) - *Cenni sulle vicissitudini costiere dell'alto Adriatico dedotte dalla attuale morfologia del fondo marino*. Atti e Mem. Commiss. Grotte "Eugenio Boegan", **6**: 19-31.
- MOZZI G., BENINI G., CARBOGNIN L., GATTO P. & MASUTTI M. (1975) - *Situazione idrogeologica nel sottosuolo di Venezia. Evoluzione delle pressioni di strato negli acquiferi artesiani*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **66**: 49 pp.
- MOZZI P., BINI C., ZILOCCHI 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.
- MÜLLENDERS W., FAVERO V., COREMANS M. & DIRICKX M. (1996) - *Analyses polliniques des sondages à Venise (VE1, VE1bis, VE2)*. Aardkundige Mededelingen, **7**: 87-117.
- MURST (1997) - *Carta geomorfologica della Pianura Padana; 3 fogli, scala 1:250.000*. S.El.Ca., Firenze.
- NICOLICH R., DELLA VEDOVA B., GIUSTINIANI M. & FANTONI R. (2004) - *Carta del sottosuolo della Pianura Friulana*. Litografia Artistica Cartografica, Firenze.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (1983) - *North American Stratigraphic Code*. Amer. Assoc. Petroleum Geol. Bull., **67**: 841-875.
- PELLEGRINI G.B. (1988) - *Aspetti morfologici ed evidenze neotettoniche della Linea Schio-Vicenza*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **1**: 69-82.

- PERIN G., BONARDI M., FABRIS R., SIMONCINI B., MANENTE S., TOSI L. & SCOTTO S. (1997) - *Heavy metal pollution in central Venice Lagoon bottom sediments: evaluation of the metal bioavailability by geochemical speciation procedure*. Environmental Technology, **18**: 593-604.
- PICOTTI V., COBIANCHI M., FANTONI R. & MASETTI D. (2002) - *Platform to basin transitions: tectonic control and patterns in the Mesozoic of the eastern Southern Alps*. Mem. Sci. Geol., **54**: 115-118.
- PIRAZZOLI P.A., PLANCHAIS N., ROSSET-MOULINIER M. & THOMMERET J. (1981) - *Interprétation paléogéographique d'une tourbe de Torson di Sotto (Lagune de Venise, Italie)*. Géologie Méditerranéenne, **8**(3): 121-128.
- POLI M.E. (1995) - *Evidenze di tettonica a thrust dinarica nelle Prealpi Giulie meridionali (Italia nord-orientale)*. Atti Ticinensi Sci. Terra, s. 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. & RENNER G. (2004) - *Normal focal mechanisms in the Julian Alps and Prealps: seismotectonic implications for the Italian-Slovenian region*. Boll. Geof. Teor. Appl., **45**: 51-69.
- POLI M.E. & ZANFERRARI A. (1995) - *Dinaric thrust tectonics in the southern Julian Prealps (Eastern Southern Alps, NE Italy)*. Proceedings of the first Croatian Geological Congress, Opatija, Croatia, October 18-21, **2**: 465-468.
- RAVAIOLI M., ALVISI F. & MENEGAZZO VITTURI L. (2003) - *Dolomite as a tracer for sediment transport and deposition on the northwestern Adriatic continental shelf (Adriatic Sea, Italy)*. Continental Shelf Research, **23**: 1359-1377.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1999) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 223 - Ravenna*. Scala 1:50.000, Servizio Geologico d'Italia, Laboratorio di Cartografia Digitale e GIS, Dip. Scienze della Terra (Università di Siena).
- RICCI LUCCHI F. (1978) - *Sedimentologia - Parte III: Ambienti sedimentari e facies*. CLUEB, Bologna: 504 pp.
- RICKWOOD P.C., ALBANI A.D., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1992) - *The geochemistry of unconsolidated sediments from the Gulf of Venice, Italy*. University of New South Wales, Centre for Marine Science, Techn. Contribution, **3**: 46 pp.
- RIZZETTO F., TOSI L., BONARDI M., GATTI P., FORNASIERO A., GAMBOLATI G., PUTTI M. & TEATINI P. (2002) - *Geomorphological evolution of a part of the southern catchment of the Venice Lagoon (Italy): the Zennare Basin*. In: CAMPOSTRINI P. (ed) - *Scientific research and safeguarding of Venice*. Co.Ri. La. Research Program 2001 Results, Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, La Garangola, Padova: 217-228.
- RIZZETTO F., TOSI L., BONARDI M., SERANDREI BARBERO R., DONNICI S. & TOFFOLETTO F. (2005) - *The Geological Map of Italy: Map Sheets 128 "Venezia" and 148-149 "Chioggia-Malamocco"*. Geitalia 2005, Quinto Forum Italiano di Scienze della Terra, Spoleto, 21-23 settembre 2005, Epitome, **1**: 70-71.
- RIZZETTO F., TOSI L., CARBOGNIN L., BONARDI M. & TEATINI P. (2003) - *Geomorphological setting and related hydrogeological implications of the coastal plain south of the Venice Lagoon (Italy)*. In: SERVAT E., NAJEM W., LEDUC C. & SHAKEEL A. (eds) - *Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions*. IAHS Publication, **278**: 463-470.
- SERANDREI BARBERO R. (1972) - *Indagine sullo sfruttamento artesiano nel Comune di Venezia 1846-1970*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **31**: 100 pp.
- SERANDREI BARBERO R. (1975) - *Il sondaggio Ve 2: stratigrafia e paleoecologia*. Giornale di Geologia, **40**: 168-180.
- SERANDREI BARBERO R., ALBANI A. & BONARDI M. (2004) - *Ancient and modern salt marshes in the Lagoon of Venice*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **202**: 229-244.
- SERANDREI BARBERO R., ALBANI A., BONARDI M. & DONNICI S. (2003) - *The present evolutionary trend of foraminiferal biotopes: a comparison with the distribution of populations in 1983*. Co.Ri.La., Seconda Riunione Annuale, Venezia, 31 marzo-2 aprile 2003.

- SERANDREI BARBERO R., ALBANI A., DONNICI S. & RIZZETTO F. (2005a) - *Foraminifera as proxy record of marginal environments: the age of the sediments of the Venice Lagoon*. In: CAMPOSTRINI P. (ed.) - *Scientific Research and Safeguarding of Venice*. Co.Ri.La. Research Program 2001-2003, La Garangola, Padova, **3**: 145-156.
- SERANDREI BARBERO R., ALBANI A. & ZECCHETTO S. (1997) - *Palaeoenvironmental significance of a benthic foraminiferal fauna from an archaeological excavation in the Lagoon of Venice, Italy*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **136**: 41-52.
- SERANDREI BARBERO R., BERTOLDI R., CANALI G., DONNICI S. & LEZZIERO A. (2005b) - *Paleoclimatic record of the past 22,000 years in Venice (Northern Italy): biostratigraphic evidence and chronology*. *Quatern. Intern.*, **140/141**: 37-52.
- SERANDREI BARBERO R., CARBOGNIN L., TARONI G. & COVA E. (1999) - *Distribution of recent benthic foraminifera in the southern basin of the Venice lagoon (Italy): statistical evaluation of taxa significance*. *Micropaleontology*, **45**: 1-13.
- SERANDREI BARBERO R., DONNICI S. & LEZZIERO A. (2002) - *Contributo alla conoscenza dell'Area Arsenale a Venezia: l'evoluzione del territorio negli ultimi 25.000 anni*. *Atti dell'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti*, **160**: 363-383.
- SERANDREI BARBERO R., LEZZIERO A., ALBANI A. & ZOPPI U. (2001) - *Depositi tardo-pleistocenici ed olocenici nel sottosuolo veneziano: paleoambienti e cronologia*. *Il Quaternario*, **14**(1): 9-22.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1992) - *Carta Geologica d'Italia - 1:50.000. Guida al rilevamento*. Quaderno 1, ser. 3: 203 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1999) - *La Carta Geologica di Pianura in scala 1:50.000 - Linee guida per il rilevamento e la cartografia*. Quaderni SGN, Serie III, Pre-stampa a cura della Regione Emilia-Romagna - Ufficio Geologico: 1-13.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (2001) - *Indicazioni per il rilevamento del Quaternario continentale*. Circolare CARG: SGN/2155/UICARG, 11 maggio 2001.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (2004) - *Nuove linee guida per il rilevamento geologico delle aree marine ricadenti nei Fogli CARG alla scala 1:50.000*. In stampa.
- SLEJKO D., CARULLI G.B., NICOLICH R., REBEZ A., ZANFERRARI A., CAVALLIN A., DOGLIONI C., CARRARO F., CASTALDINI D., ILICETO V., SEMENZA E. & ZANOLLA C. (1989) - *Seismotectonics of the Southern-Eastern Alps: a review*. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, **31**(122): 109-136.
- 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.
- STEFANON A. (1984) - *Sedimentologia del Mare Adriatico: rapporti tra erosione e sedimentazione olocenica (Sedimentology of the Adriatic Sea: relationships between Holocene sedimentation and erosional processes)*. *Boll. di Oceanografia Teorica ed Applicata*, **2**(4): 281-324.
- STRAATEN L.M.J.U., VAN (1967) - *Sedimentation in the North-Western part of the Adriatic Sea*. *Proceedings of the 17th Symposium Colston Research Soc., Bristol, 1965, London Butterworths Sci. Pub., Colston Papers*, **17**: 143-162.
- STROZZI T., CARBOGNIN L., ROSSELLI R., TEATINI P., TOSI L. & WEGMÜLLER U. (2003a) - *Ground vertical movements in urban areas of the Veneto Region (Italy) detected by DInSAR*. *Proceedings of the 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems*, **1**: 90-194.
- STROZZI T., TOSI L., WEGMÜLLER U., WERNER C., TEATINI P. & CARBOGNIN L. (2003b) - *Land subsidence monitoring service in the Lagoon of Venice*. *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2003*, **1**: 212-214.
- STROZZI T., WEGMÜLLER U., WERNER C., TEATINI P. & TOSI L. (2005) - *SAR Interferometric Point Target analysis and application to the monitoring of land subsidence in the Venice Lagoon*. In: ZHANG A. et alii (eds) - *Land Subsidence*. *Proceedings of the 7th International Symposium on Land Subsidence, Shanghai, China, October 23-28, 2005, Shanghai Scientific & Technical Publ.*, **1**: 417-425.
- STUIVER M. & VAN DER PLICHT H. (1998) - *Editorial Comment*. *Radiocarbon*, **40**(3):12-13.
- STUIVER M., REIMER P.J., BARD E., BECK J.W., BURR G.S., HUGHEN K.A., KROMER B., McCORMAC G., VAN DER PLICHT J. & SPURK M. (1998) - *INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration*. *Radiocarbon*, **40**(3): 1041-1083.

- TALMA A. S. & VOGEL J. C. (1993) - *A simplified approach to calibrating ^{14}C dates*. Radiocarbon, **35**(2): 317-322.
- TEATINI P., BAÙ D. & GAMBOLATI G. (2000) - *Water-gas dynamics and coastal land subsidence over Chioggia Mare field, Northern Adriatic Sea*. Hydrogeology Journal, **8**(5): 462-479.
- TEATINI P., GAMBOLATI G. & TOSI L. (1995) - *A new 3-D non-linear model of the subsidence of Venice*. In: BARENDIS J.F., BROUWER F.J.J. & SCHROEDER F.H. (eds) - *Land Subsidence*. Proceedings of 5th Int. Symp. on Land Subsidence, IAHS Publication, **234**: 353-361.
- TEATINI P., PUTTI M., GAMBOLATI G., FERRARSI S. & CAMPORESE M. (2004) - *Reversibile/irreversible peat surface displacements and hydrological regime in the Zennare Basin, Venice*. In: CAMPOSTRINI P. (ed.) - *Scientific Research and Safeguarding of Venice*. Corila Research Program 2001-2003, La Garangola, Padova, **2**: 93-106.
- TEATINI P., TOSI L., STROZZI T., CARBOGNIN L., WEGMÜLLER U. & RIZZETTO F. (2005) - *Mapping regional land displacements in the Venice coastland by an integrated monitoring system*. Remote Sensing of Environment, **98**: 403-413.
- TOSI L. (1993) - *Caratteristiche geotecniche del sottosuolo del litorale veneziano*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **171**: 34 pp.
- TOSI L. (1994a) - *Rapporto e prime interpretazioni sulle analisi paleontologiche condotte su campioni tardo-quadernari del sottosuolo del litorale veneziano*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Rapporto Tecnico **182**: 52 pp.
- TOSI L. (1994b) - *I sedimenti tardo-quadernari dell'area litorale veneziana: analisi delle caratteristiche fisico-meccaniche*. Geologia Tecnica ed Ambientale, **2**: 47-60.
- TOSI L. (1994c) - *L'evoluzione paleoambientale tardo-quadernaria del litorale veneziano nelle attuali conoscenze*. Il Quaternario, **7**(2): 589-596.
- TOSI L., CARBOGNIN L., TEATINI P., ROSSELLI R. & GASPARETTO STORI G. (2000) - *The ISES Project: subsidence monitoring of the catchment basin south of the Venice Lagoon, Italy*. In: CARBOGNIN L., GAMBOLATI G. & JOHNSON A.I. (eds) - *Land Subsidence*. Proceedings of the 6th International Symposium on Land Subsidence, La Garangola, Padova (Italy), **2**: 113-126.
- TOSI L., RIZZETTO F., BONARDI M., DONNICI S., SERANDREI BARBERO R. & TOFFOLETTO F. (2006) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 128 - Venezia* (in stampa). APAT-Servizio Geologico d'Italia - Regione Veneto.
- TRINCARDI F., CORREGGIARI A. & ROVERI M. (1994) - *Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: the Adriatic Semienclosed Basin*. Geo-Marine Letters, **14**: 41-51.
- VEGGIANI A. (1994) - *I deterioramenti climatici dell'Età del Ferro e dell'alto Medioevo*. Bollettino della Società Torricelliana di Scienze e Lettere, Faenza, **45**: 3-80.
- VENZO G.A. & STEFANINI S. (1967) - *Distribuzione dei carbonati nei sedimenti di spiaggia e marini dell'Adriatico settentrionale tra Venezia e Trieste*. St. Trent. Sc. Nat., sez. A, **44**(2): 178-201.
- ZANETTIN B. (1955) - *Note illustrative della carta geologica delle Tre Venezie: Fogli "Venezia" ed "Adria"*. Soc. Cooperativa Tipografica, Padova: 37 pp.
- ZANFERRARI A., GIRARDI A., PIANETTI F. & SEDEA R. (1980a) - *Dati preliminari sulla neotettonica dei fogli 50: Padova (p.p.) e 64: Rovigo (p.p.)*. Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubblicazione **356**: 437-461.
- ZANFERRARI A., PIANETTI F., MATTANA U., DALL'ARCHE L. & TONIELLI V. (1980b) - *Evoluzione neotettonica e schema strutturale dell'area compresa nei fogli 38: Conegliano, 37: Bassano del Grappa (p.p.) e 39: Pordenone (p.p.)*. Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubblicazione **356**: 397-435.
- ZANON F.S. (1937) - *Storia sismica della provincia di Venezia*. Annuario 1937 dell'Osservatorio Geofisico del Seminario Patriarcale di Venezia, ser. 2, **10**: 53-89.
- ZUNICA M. (1974) - *La bonifica del Delta Brenta. Un esempio di trasformazione del paesaggio nella laguna di Venezia*. Rivista Geografica Italiana, **81**(3): 345-400.

PROGETTO
CARG

APPENDICE

Nelle pagine seguenti si riportano le analisi micropaleontologiche e la determinazione dei paleoambienti effettuate nei sondaggi più rappresentativi.

sondaggio	SEV 33		CARG 3		ON 43			FF 47						
	ambiente		delta	laguna	laguna esterna	delta	laguna interna	laguna chiusa (con apporti dulciicoli)						
profondità l.m.m. (m)	3,97	6,33	8,58	8,99	9,83	1,63	11,53	13,28	15,13	16,33	16,73	3,23	10,88	11,98
profondità p.c. (m)	4,49	6,85	9,10	9,50	10,35	0,80	10,70	12,45	14,30	15,50	15,90	2,50	10,15	11,25
<i>Haplochromis caranienis</i> (d'Orbigny, 1939)														
<i>Ammobaculites agglutinans</i> (d'Orbigny, 1846)			0,6											
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu, 1808)														
<i>Eggerella scabra</i> (Williamson, 1858)					0,8		0,8					0,7		
<i>Textularia agglutinans</i> d'Orbigny, 1839														
<i>Textularia conica</i> d'Orbigny, 1839														
<i>Spirillina vivipara</i> Ehrenberg, 1843								2,5						
<i>Spiriocolina antillarum</i> d'Orbigny, 1839														
<i>Spiriocolina excavata</i> d'Orbigny, 1846														
<i>Spiriocolina lucida</i> Cushman & Todd, 1944														
<i>Spiriocolina soldanii</i> Fornasini, 1886														
<i>Massilia disciformis</i> (Williamson, 1858)							1,6					1,5		
<i>Quinqueloculina agglutinata</i> Cushman, 1917							0,8		2,1			1,5		8,7
<i>Quinqueloculina bicornis</i> (Walker & Jacob, 1798)														
<i>Quinqueloculina caroliniana</i> d'Orbigny, 1839														
<i>Quinqueloculina cultrata</i> (Brady, 1881)														
<i>Quinqueloculina elegantis</i> (Williamson, 1858)														
<i>Quinqueloculina tenusacii</i> d'Orbigny, 1826														
<i>Quinqueloculina laevigata</i> d'Orbigny, 1826														
<i>Quinqueloculina lamarkiana</i> d'Orbigny, 1839														
<i>Quinqueloculina padana</i> Perconigi, 1984							0,6	0,8	0,7					
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus, 1758)			0,4											
<i>Quinqueloculina subpolygona</i> Parr, 1945							9,4	13,6	15,2	16,9	30,2			0,9
<i>Quinqueloculina</i> spp.														
<i>Wilhelmina subrotunda</i> (Montagu, 1803)														
<i>Trochoculina tricarinata</i> d'Orbigny, 1826														
<i>Trochoculina tripartita</i> (Lamarck, 1804)														
<i>Sigmoculina quata</i> (Terquem, 1878)														
<i>Denialina</i> sp.														
<i>Nodosaria perversa</i> (Schwäger, 1866)														
<i>Lenticulina limboosa</i> (Reuss, 1863)														
<i>Neoleptoculina peregrina</i> (Schwäger, 1866)														
<i>Anaplicoculina scalaris</i> (Baisch, 1791)														
<i>Ladaria clavata</i> d'Orbigny, 1846														
<i>Ladaria laevis</i> (Montagu, 1803)														
<i>Proceroladaria senilis</i> (d'Orbigny) Jones, 1984														
<i>Strobilina cybba mytiliformis</i> (Williamson, 1858)														
<i>Strobilina probata</i> (d'Orbigny, 1826)								1,6	1,7	2,1	5,1	14,1		
<i>Rissulina fasciata carinata</i> (Stegoboltoni, 1906)								0,8	0,8	0,7	0,7			
<i>Rissulina laevigata</i> (Reuss, 1860)														
<i>Rissulina lucida</i> (Williamson, 1848)														
<i>Rissulina orbignyana</i> Sequenza, 1862														
<i>Bolivina pseudoplicata</i> Heron-Allen & Earland, 1930														
<i>Bolivina spanhulata</i> (Williamson, 1858)														
<i>Bolivina striatula</i> (Cushman, 1922)														
<i>Cassidulina caminata</i> Sussini, 1892														
<i>Cassidulina laevigata</i> d'Orbigny, 1826							0,6							

sondaggio	SM 2		SM 3		LITO 5							
	laguna (barene)	laguna interna	laguna interna	laguna	piattaforma	laguna	litorale					
profondità (m.n.m. (m))	5,60 2,80	7,30 4,50	9,60 6,80	10,25 7,45	11,50 8,70	6,27 5,65	7,52 6,90	8,24 8,99	8,94 9,65	11,44 12,15	13,05 13,76	14,49 15,20
<i>Radophracinoides canariensis</i> (d'Obigny, 1939)								0,3				
<i>Amnibacillaria adglutinans</i> (d'Obigny, 1846)			0,9									0,3
<i>Prochloranina munda</i> (Montagu, 1846)				1,0								
<i>Eggerella scabra</i> (Williamson, 1858)										0,4	0,2	3,0
<i>Textularia adglutinans</i> (d'Obigny, 1839)						0,3	0,4				0,2	1,8
<i>Textularia conica</i> (d'Obigny, 1833)												1,6
<i>Spirulina vivipara</i> Ehrenberg, 1843												
<i>Spirulina artilianum</i> d'Obigny, 1839												
<i>Spirulina excavata</i> d'Obigny, 1846												
<i>Spirulina lucida</i> Cushman & Parsons, 1944												
<i>Spirulina sordana</i> (Williamson, 1858)												
<i>Massilia disciformis</i> (Williamson, 1858)			0,9			1,6	1,1				0,4	0,3
<i>Quinquecostella agglutinata</i> Cushman, 1917						0,3	1,1				2,6	4,8
<i>Quinquecostella bicornis</i> (Walker & Jacob, 1798)												7,5
<i>Quinquecostella cantabiana</i> d'Obigny, 1839						3,3	1,3		0,4		1,7	1,0
<i>Quinquecostella cultura</i> (Bilby, 1881, 1858)											0,7	5,1
<i>Quinquecostella eledaris</i> (Williamson, 1858)							0,5	0,9			0,2	1,5
<i>Quinquecostella leuostach</i> (d'Obigny, 1826)							0,3				0,2	0,3
<i>Quinquecostella leuostach</i> (d'Obigny, 1826)							0,3				0,2	0,3
<i>Quinquecostella lateralis</i> d'Obigny, 1839												
<i>Quinquecostella padana</i> Perchella, 1854, 1839												
<i>Quinquecostella seminulum</i> (Linnaeus, 1758)												
<i>Quinquecostella subpolyzona</i> Parr., 1945												
<i>Quinquecostella</i> spp.												
<i>Trilobella subrotunda</i> (Montagu, 1803)												
<i>Trilobella truncata</i> d'Obigny, 1826						5,0	4,7	0,2		0,4	0,3	8,7
<i>Trilobella truncata</i> d'Obigny, 1826						2,5	0,3	1,5			1,5	1,6
<i>Trilobella truncata</i> (Lamarck, 1804)												2,7
<i>Sargassum grale</i> (Leiqun, 1878)												0,3
<i>Penalina</i> sp.												
<i>Nocostella puvosa</i> (Schwabe, 1866)												0,3
<i>Leucostella limboza</i> (Reuss, 1863)												
<i>Neoblasticella peregrina</i> (Schwabe, 1866)												
<i>Amphicostella scalaris</i> (Baird, 1911)												
<i>Lageria carata</i> d'Obigny, 1846												
<i>Lageria laevis</i> (Montagu, 1803)												
<i>Polysolenia seminifera</i> d'Obigny (Jones, 1884)												
<i>Globulina cyzura mytiliformis</i> (Williamson, 1858)												
<i>Globulina problemata</i> (d'Obigny, 1826)												
<i>Fissulina fasciata carinata</i> (Leptolium, 1906)			0,8	0,3								0,9
<i>Fissulina leuogata</i> (Reuss, 1863)												0,3
<i>Fissulina leuogata</i> (Reuss, 1863)												0,3
<i>Fissulina lucida</i> (Williamson, 1848)												0,4
<i>Fissulina orbignyana</i> Sequenza, 1882												
<i>Bolivina pseudoplicata</i> (Peron-Allou & Eslandi, 1930)												
<i>Bolivina spathulata</i> (Williamson, 1858)												
<i>Bolivina striatula</i> (Cushman, 1924)												
<i>Cassidulina caninata</i> Silvestri, 1882												
<i>Cassidulina leuogata</i> d'Obigny, 1826										0,4	1,6	0,2

PROGETTO
CARG

PROGETTO
CARG

PROGETTO
CARG