ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Organo Cartografico dello Stato (legge n° 68 del 2-2-1960)

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

foglio 178

VOGHERA

A cura di:

P.L. Vercesi[1], **P. Falletti**[2,3], **C. Pasquini**[1], **L. Papani**[4,5], **C. Perotti**[1], **G. Tucci**[4,5]

Con i contributi di:

A. Rovida[6], **M. Cobianchi**[1], **M. Credali**[2], **N. Mancin**[1], **F. Torri**[4], **S. Rossi**[4]

(1) Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università di Pavia
(2) Regione Lombardia
(3) ARPA Piemonte
(4) Consulente di Regione Lombardia
(5) Consulente di ARPA Lombardia
(6) INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Ente realizzatore: Regione Lombardia

PROGETTO CARG

Direttore del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA: C. Campobasso

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

Direttori della Direzione Generale competente - Regione Lombardia:
R. Compiani, M. Presbitero, M. Rossetti, M. Nova, B. Mori, P. Baccolo

Dirigenti della struttura competente - Regione Lombardia: **M. Presbitero, B. Mori, R. Laffi, A. De Luigi, N. Padovan, D. Fossati, A. Biancardi**

Responsabili del Progetto CARG per la Regione Lombardia:
M. Presbitero, A. Piccin

Coordinatore scientifico:
P.L. Vercesi

Per il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA:

Revisione scientifica:
E. Chiarini, L. Martarelli, R.M. Pichezzi

Coordinamento cartografico:
D. Tacchia (coord.), **S. Falcetti**

Revisione informatizzazione dei dati geologici:
L. Battaglini, R. Carta, R.M. Pichezzi (ASC)

Coordinamento editoriale ed allestimento per la stampa:
M.L. Vatovec, S. Falcetti

Per Regione Lombardia:

Coordinamento editoriale e allestimento cartografico:
M. Credali

Informatizzazione dei dati geologici:

coordinamento e direzione lavori: **M. Credali**
informatizzazione: **F. Torri, F. Mandozzi, G. Tucci, L. Papani, C. Pasquini, F. Falletti**
collaudo: a cura di **Lombardia Informatica** S.P.A.

Allestimento cartografico per la stampa della Banca Dati
a cura di **InfoCartoGrafica** s.n.c. - Piacenza

Gestione tecnico-amministrativa del Progetto CARG:
M.T. Lettieri - *Servizio Geologico d'Italia - ISPRA*
A. Piccin, G.B. Siletto, M. Credali e P. Belotti - *Regione Lombardia*

Si ringraziano i componenti del precedente Comitato Geologico per il loro contributo scientifico

Stampa: **InfoCartoGrafica** s.n.c. - Piacenza

PROGETTO CARG

INDICE

I - INTRODUZIONE . . . . . pag. 7
1. - CARATTERI GEOLOGICI SALIENTI . . . . . » 8
2. - CRITERI ADOTTATI PER IL RILEVAMENTO . . . . . » 10
3. - METODOLOGIA SEGUITA PER LE ANALISI BIOSTRATIGRAFICHE . . . . . » 11
4. - STESURA DELLE NOTE ILLUSTRATIVE . . . . . » 13

II - STUDI PRECEDENTI E INQUADRAMENTO GEOLOGICO . » 15
1. - STUDI PRECEDENTI. . . . . » 15
1.1. - Appennino Vogherese . . . . . » 15
1.2. - Bacino Terziario Piemontese . . . . . » 17
1.3. - Successioni Quaternarie . . . . . » 18
2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO . . . . . » 19
2.1. - L'Appennino Settentrionale . . . . . » 19
2.2. - Le Unità Liguri . . . . . » 21
2.3. - La Successione Epiligure . . . . . » 23
2.4. - Il Bacino Terziario Piemontese . . . . . » 25
2.5. - Le Unità Subliguri . . . . . » 26
2.6. - Le Unità Padane . . . . . » 27
2.7. - Il Modellamento Quaternario del Territorio: Geologia e Geomorfologia . . . . . » 27
2.7.1. - *Area montuosa* . . . . . » 28
2.7.1.1. - Catture fluviali e deviazioni brusche di corsi d'acqua . . . . . » 29
2.7.1.2. - Paleosuperfici, selle e calanchi . . . . . » 31
2.7.2. - *Area pedemontana* . . . . . » 33
2.7.3. - *Pianalto distale* . . . . . » 35
2.7.4. - *La pianura* . . . . . » 36
2.8. - Inquadramento Regionale dei Depositi Continentali Quaternari del Foglio e Problemi di Correlazione . . . . . » 36
2.8.1. - *Considerazioni conclusive e unità usate per i depositi continentali del Foglio* . . . . . » 41

III - STRATIGRAFIA . . . . . » 45
1. - UNITÀ SUBLIGURI. . . . . » 45
1.1. - Unità Tettonica Canetolo: Sottounità Tettonica Penice . . . . . » 45
1.1.1. - *Flysch di Monte Penice* (**PEN**) . . . . . » 45
2. - UNITÀ LIGURI. . . . . » 46
2.1. - Unità Tettonica Bettola . . . . . » 46
2.1.1. - *Flysch di Bettola* (**BET**). . . . . » 46
2.1.2. - *Formazione di Val Luretta* (**VLU**). . . . . » 47

PROGETTO CARG

2.1.2.1. - Membro di Poviago (**VLU_1**) ..... pag. 47
2.1.2.2. - Membro di Monteventano (**VLU_2**) .....» 48
2.1.2.3. - Membro di Genepreto (**VLU_3**) .....» 49
2.2. - Unità Tettonica Groppallo .....» 52
2.2.1. - *Complesso di Pietra Parcellara* (**CPP**) .....» 52
2.3. - Unità Tettonica Cassio .....» 53
2.3.1. - *Arenarie di Scabiazza* (**SCB**) .....» 53
2.3.2. - *Argille varicolori di Cassio* (**AVV**) .....» 55
2.3.3. - *Flysch di Monte Cassio* (**MCS**) .....» 56
2.4. - Unità Tettonica Monte delle Tane .....» 57
2.4.1. - *Complesso di Monte Ragola: olistoliti di argille a palombini* (**ap**) .» 57
3. - SUCCESSIONE DEL BACINO TERZIARIO PIEMONTESE ..» 57
3.1. - Marne di Vigoponzo (**VIG**) .....» 57
3.2. - Formazione di Dernice - Litozona Pelitica (**DRN_C**) .....» 58
3.3. - Conglomerati di Savignone - Membro di Monte Rivalta (**SAV_1**) ...» 58
3.4. - Formazione di Monastero (**MST**) .....» 59
3.5. - Formazione di Gremiasco .....» 60
3.5.1. - *Membro di Nivione* (**GEM_2**) .....» 60
3.6. - Formazione di Castagnola .....» 61
3.6.1. - *Membro di Costa Grande* (**FCA_1**) .....» 62
3.6.2. - *Membro del Torrente Dorbida* (**FCA_2**) .....» 62
3.7. - Marne di Monte Brugi (**BGU**) .....» 63
4. - SUCCESSIONE EPILIGURE .....» 65
4.1. - Brecce Argillose di Baiso (**BAI**) .....» 65
4.2. - Marne di Monte Piano (**MMP**) .....» 65
4.3. - Formazione di Ranzano (**RAN**) .....» 66
4.3.1. - *Membro del Pizzo d'Oca* (**RAN_1**) .....» 68
4.3.2. - *Membro di Val Pessola* (**RAN_2**) .....» 69
4.3.3. - *Membro di Varano de' Melegari* (**RAN_3**) .....» 69
4.4. - Formazione di Antognola (**ANT**) .....» 73
4.5. - Brecce Argillose della Val Tiepido - Canossa (**MVT**) .....» 74
4.5.1. - *Litozona inferiore* (**MVT_a**) .....» 76
4.5.2. - *Litozona superiore* (**MVT_b**) .....» 76
4.6. - Formazione di Contignaco (**CTG**) .....» 76
4.7. - Arenarie di Monte Vallassa (**AVL**) .....» 77
4.8. - Marne di S. Agata Fossili (**SAF**) .....» 81
4.9. - Brecce Argillose di Costa Pelata (**BPE**) .....» 82
5. - SUCCESSIONE POST-FASE MESSINIANA .....» 84
5.1. - Gruppo Gessoso Solfifera (**GS**) .....» 84
5.1.1. - *Formazione di Sapigno* (**GNO**) .....» 84
5.1.2. - *Conglomerati di Cassano Spinola* (**CCS**) .....» 85
5.1.2.1. - Membro delle Arenarie di Monte Arzolo (**CCS_1**) .....» 86

PROGETTO CARG

5.2. - Argille Azzurre (**FAA**) . . . . . pag. 86
5.2.1. - *Conglomerati di Mondondone* (**FAA$_a$**) . . . . . » 87
5.3. - Sabbie di Asti (**AST**) . . . . . » 87
6. - DEPOSITI QUATERNARI . . . . . » 88
6.1. - Unità del Bacino del Fiume Po . . . . . » 89
6.1.1. - *Conglomerati di Monte Brienzone* (**CNZ**) . . . . . » 89
6.1.2. - *Gruppo di Cà d'Andrino* (**GD**) . . . . . » 91
6.1.3. - *Gruppo di Torrazza Coste* (**TZ**) . . . . . » 93
6.1.4. - *Sintema di Codevilla* (**LLX**) . . . . . » 94
6.1.5. - *Sintema di Rivanazzano* (**URV**) . . . . . » 94
6.1.6. - *Sintema di Voghera* (**VOH**) . . . . . » 95
6.2. - Unità del Bacino del Torrente Staffora . . . . . » 96
6.2.1. - *Conglomerati di Bagnaria* (**UBG**) . . . . . » 96
6.2.2. - *Unità di Torretta* (**TTS**) . . . . . » 98
6.2.3. - *Unità di Varzi* (**VRZ**) . . . . . » 99
6.2.4. - *Unità dell'Ardivestra* (**ADV**) . . . . . » 99
6.2.5. - *Unità di Nizza* (**NIZ**) . . . . . » 100
6.3. - Unità del Bacino del Torrente Curone . . . . . » 101
6.3.1. - *Unità di Momperone* (**UMO**) . . . . . » 101
6.3.2. - *Unità di Brignano* (**UBI**) . . . . . » 102
6.4. - Unità del Bacino del Torrente Schizzola . . . . . » 102
6.4.1. - *Sintema di Rivazza* (**RVX**) . . . . . » 102
6.5. - Unità non Distinte in Base al Bacino di Appartenenza . . . . . » 103
6.5.1. - *Alteriti* (**b$_6$**) . . . . . » 103
6.5.2. - *Gruppo di Retorbido* (**RE**) . . . . . » 104
6.5.3. - *Sintema del Po* (**POI**) . . . . . » 105

IV - TETTONICA . . . . . » 109
1. - INTRODUZIONE . . . . . » 109
2. - LE PRINCIPALI STRUTTURE TETTONICHE . . . . . » 112
2.1. - La Linea Villalvernia-Varzi . . . . . » 112
2.2. - Il Sovrascorrimento del M. Calenzone . . . . . » 113
2.3. - Il Margine Nord-Occidentale della Finestra di Bobbio . . . . . » 114
2.4. - Il Fronte di Sovrascorrimento dell'Unità Tettonica Cassio . . . . . » 114
2.4.1. - *Il sovrascorrimento del Lago di Trebecco* . . . . . » 115
2.4.2. - *La finestra tettonica di Canavera* . . . . . » 115
2.4.3. - *La "Ruga di Buscofà"* . . . . . » 116
2.5. - Il Sovrascorrimento di Mansano . . . . . » 116
2.6. - La Faglia della Val Schizzola . . . . . » 116
2.7. - La Struttura di Zebedassi . . . . . » 116
2.8. - Il Fronte Ligure . . . . . » 117
3. - SUCCESSIONE DEGLI EVENTI . . . . . » 117
4. - CENNI DI NEOTETTONICA . . . . . » 120

PROGETTO CARG

V - ASPETTI AMBIENTALI ED APPLICATIVI . . . . . pag. 123
1. - RISORSE IDRICHE . . . . . » 123
1.1. - Le Risorse Idropotabili . . . . . » 123
1.2. - Le Acque Minerali . . . . . » 127
1.3. - Produzione di Energia Idroelettrica . . . . . » 128
2. - CAVE E MINIERE . . . . . » 129
3. - PATRIMONIO GEOLOGICO . . . . . » 132
4. - RISCHI NATURALI . . . . . » 133
4.1. - Sismicità . . . . . » 133
4.2. - Frane e Deformazioni Gravitative . . . . . » 136
4.3. - Prevenzione del Rischio Geologico, Idrogeologico e Sismico nella Pianificazione Territoriale in Regione Lombardia . . . . . » 137

VI - ABSTRACT . . . . . » 141

VII - ENGLISH LEGEND . . . . . » 145

BIBLIOGRAFIA . . . . . » 156

PROGETTO CARG

PROGETTO CARG

I - INTRODUZIONE

Il Foglio 178-Voghera della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 è stato realizzato nell'ambito del Progetto CARG (Legge n. 226/1999) attraverso una convenzione stipulata tra il Servizio Geologico d'Italia e Regione Lombardia. Il coordinamento scientifico del Foglio è stato eseguito dal Prof. P.L. Vercesi (Università degli Studi di Pavia) con il supporto del Prof. C. Perotti (Università degli Studi di Pavia) per gli aspetti legati alla tettonica; la direzione del rilevamento geologico è stata svolta dal Prof. P.L. Vercesi con il supporto del Dott. P. Falletti.

Dal punto di vista amministrativo il territorio compreso nel Foglio 178-Voghera (584,7 km^2) ricade per 496 km^2 in territorio lombardo (pari all'84,8% del totale); i settori ai margini occidentale ed orientale del Foglio fanno parte rispettivamente della Regione Piemonte (64 km^2 circa, pari all'11%) e della Regione Emilia-Romagna (24,7 km^2, pari al 4,2%).

L'area ricadente in territorio lombardo interessa il settore pedecollinare-montano della Provincia di Pavia e rappresenta l'unica area lombarda nella quale si riscontra una sia pur limitata, ma di rilevante interesse geologico, porzione di Appennino settentrionale.

Il Foglio comprende, con l'eccezione delle aree di pianura circostanti la città di Voghera, aree collinari e montuose, attraversate, da W ad E, dal Torrente Curone, dal Torrente Staffora e dai suoi affluenti Nizza e Ardivestra, dal Torrente Schizzola, dal Torrente Coppa e dal suo affluente Ghiaia di Montalto, dal Torrente Versa e dal Torrente Tidone. La distribuzione altimetrica del territorio in esame è compresa tra i 100 m s.l.m. della pianura e i 1253 m s.l.m. del M. D'Alpe (Fig. 1).

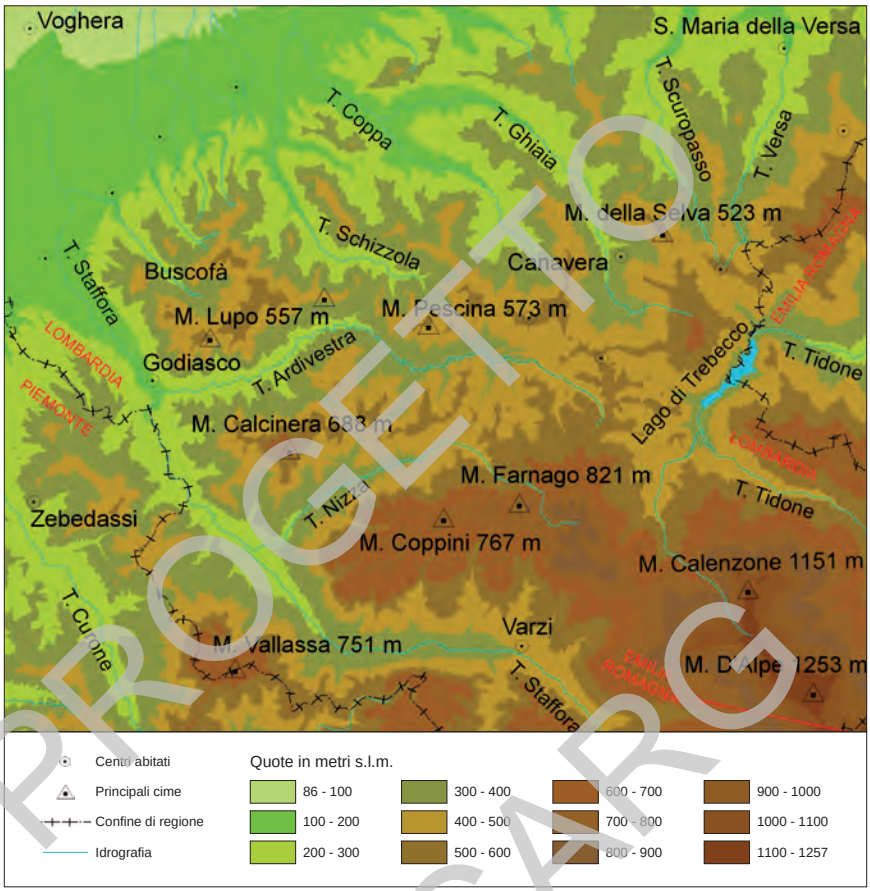


Fig. 1 - *Rappresentazione schematica del territorio del Foglio 178-Voghera secondo fasce altimetriche.*

PROGETTO CARG

1. - CARATTERI GEOLOGICI SALIENTI

Il territorio compreso nel Foglio 178-Voghera può essere suddiviso in tre settori con caratteristiche geologiche differenti:

- una porzione a quote basse, all'estremità nord-occidentale, caratterizzata da depositi continentali di origine alluvionale, corrispondenti a circa 44,7 km^2, equivalenti al 7,6% del totale;
- l'Appennino vogherese, che rappresenta la porzione nord-occidentale dell'Appennino settentrionale e che occupa circa l'88% della superficie del Foglio. Si tratta di un edificio a falde di ricoprimento, che in questo settore è costituito da unità tettoniche di origine oceanica (Unità Liguri, di età cretacico-eocenica)

e da successioni sintettoniche marine cenozoiche (Unità Epiliguri nel senso più generale del termine, di età Eocene medio - Miocene medio), che si sono deposte nei bacini satelliti individuatisi sul dorso della coltre alloctona delle Unità Liguri in sovrascorrimento. Il margine sud-orientale del Foglio arriva a lambire le unità subliguri (formazione di Monte Penice *Auct.*) affioranti al bordo settentrionale della finestra tettonica di Bobbio.

L'intensità della deformazione si attenua progressivamente verso l'esterno della catena, fino al margine della catena stessa, costituito dalla "monoclinale pedeappenninica" (successioni neoautoctone di età messiniana e pliocenica), che sigilla in superficie le strutture connesse alle deformazioni mioceniche;

- il Bacino Terziario Piemontese, nel settore sud-occidentale del Foglio. Tale bacino, individuatosi nell'Eocene superiore - Oligocene come bacino episuturale all'interno dell'arco alpino occidentale, e successivamente coinvolto nella storia compressionale della catena appenninica, sutura la giustapposizione delle Alpi Marittime all'Appennino settentrionale ed è rappresentato, nel Foglio, dalla sua terminazione orientale. Si tratta di successioni terrigene dell'Eocene superiore - Miocene basale, in gran parte depostesi ad opera di correnti di torbidità o in seguito a fenomeni di risedimentazione in massa. Il Bacino Terziario Piemontese interessa circa il 4,4% della superficie del Foglio (26 km^2 circa).

La porzione di Appennino studiata costituisce la terminazione nord-occidentale dell'Appennino settentrionale. Le principali fasi di strutturazione di quest'area appenninica, tuttavia, risentono in modo cospicuo dell'interazione tra gli archi appenninici e le strutture alpine, progressivamente convergenti nei settori di avanfossa.

L'Appennino vogherese e il Bacino Terziario Piemontese risultano giustapposti tramite la linea Villalvernia-Varzi, espressione superficiale di una faglia subverticale ad andamento E-W con trascorrenza sinistra, ben evidenziato dall'allineamento di elementi morfotettonici (faccette trapezoidali, Gelati & Massiotta, 1977) nel tratto di valle Staffora compreso tra Bagnaria e Varzi. La linea tettonica Villalvernia-Varzi è stata ritenuta da alcuni Autori (Boni, 1962; Elter & Pertusati, 1973) il limite Alpi-Appennino, poiché lungo di essa si realizza la rimobilizzazione della "placca" del Monte Antola, già messa in posto durante la fase mesoalpina dell'orogenesi alpina, suturata dal Bacino Terziario Piemontese.

In questo contesto sono individuabili le seguenti problematiche geologiche regionali:

- le fasi deformative delle Unità Liguri, già strutturate durante l'Eocene e rimobilizzate durante le fasi mioceniche, e più in generale il problema del riconoscimento delle strutture mesoalpine coinvolte, a partire dall'Oligocene, nella costituzione della catena appenninica;
- le superfici di discontinuità riconoscibili all'interno delle successioni epiliguri – correlabili grazie alle metodologie della stratigrafia fisica e databili con l'analisi micropaleontologica – come elementi chiave per la ricostruzione

PROGETTO CARG

dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei bacini satelliti (o di *piggy-back*), i quali, a loro volta, testimoniano le fasi di strutturazione della catena;
- l'interpretazione della Villalvernia-Varzi, faglia probabilmente sviluppata a livello crostale, attiva dall'Oligocene e avente un carattere di trascorrenza almeno dal Pliocene, e le sue relazioni con il Bacino Terziario Piemontese;
- lo studio dei *mélanges* caotici e la loro interpretazione, nel contesto delle strutture deformate del margine appenninico;
- la presenza di spezzoni di successioni triassico-giurassiche;
- la ricostruzione delle fasi deformative tardive, testimoniate dagli *onlap* progressivi delle unità tortoniane, messiniane, plioceniche e quaternarie sulle strutture frontali;
- gli studi di carattere sismoneotettonico e morfoneotettonico sulle deformazioni recenti ed in atto.

Tutto il settore appenninico e del Bacino Terziario Piemontese compreso nel Foglio è interessato da diffusi fenomeni franosi, per la frequenza delle facies argillose e la presenza di zone fortemente tettonizzate. Il rischio idrogeologico connesso a tali problematiche ha portato in passato all'apertura, da parte di Regione Lombardia, di un Ufficio Speciale per l'Oltrepò Pavese, con sede in Voghera, e a numerosi interventi legislativi; a questo riguardo è possibile menzionare i 32 centri abitati dichiarati instabili dell'Oltrepò Pavese (C.N.R. GNDCI, 1997), che sono stati oggetto della Legge n. 445/1908 che ne imponeva il trasferimento o il consolidamento. Inoltre Regione Lombardia ha stanziato, con le leggi n. 59 del 5/9/1978 e n. 35 del 6/7/1981, cospicue somme per il risanamento idrogeologico di ampi settori dell'Appennino pavese e vogherese (Piani d'Area).

A rischio idrogeologico sono soggette anche le aree esondabili della Valle Staffora, la cui determinazione è stata oggetto di studi recenti (Natale, 1998).

Riguardo al rischio sismico, in base alla classificazione introdotta dall'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/3/2003, nel Foglio 178-Voghera ricadono 21 comuni in zona 4 (a bassissima sismicità), 14 in zona 3 (a bassa sismicità) e uno in zona 2 (a media sismicità) nella parte lombarda (Provincia di Pavia); 2 comuni in zona 4 e uno in zona 3 nel settore emiliano (Provincia di Piacenza); 8 comuni in zona 3 nel settore piemontese (Provincia di Alessandria).

2. - CRITERI ADOTTATI PER IL RILEVAMENTO

Il rilevamento geologico del Foglio è stato eseguito nel periodo 2005-2010, alle scale 1:10.000 e 1:5.000, utilizzando come basi topografiche, la Carta Tecnica della Regione Lombardia (scala 1:10.000), la Carta Tecnica della Regione Emilia-Romagna (scale 1:5.000 e 1:10.000) e la Carta Tecnica della Regione Piemonte (scala 1:10.000). I criteri del rilevamento hanno seguito le linee guida nazionali previste da ISPRA (ex APAT). Tra gli anni 2008 e 2009 al fine di completare il rilevamento del Foglio, Regione Lombardia si è avvalsa del supporto di ARPA Lombardia.

PROGETTO CARG

Le unità continentali quaternarie sono state distinte usando le unità stratigrafiche a limiti inconformi (*Unconformity-Bounded Stratigraphic Units*, UBSU) oppure le unità litostratigrafiche.

Si sottolinea che i corpi geologici così cartografati rispondono comunque alle caratteristiche di quelli indicati come "allounità" nella cartografia geologica alla scala 1:10.000 realizzata da Regione Lombardia, fatto salvo per le differenze connesse alla diversa scala di rappresentazione.

La Sottocommissione di Stratigrafia del Quaternario della IUGS (International Union of Geological Sciences) ha recentemente ratificato la delibera di fissare la base del Sistema/Periodo Quaternario alla base del Piano/Età Gelasiano (Finney, 2011). Su richiesta del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA, la classificazione del Quaternario è stata adattata a tale delibera.

Per le unità di substrato sono state utilizzate unità litostratigrafiche, ma con particolare attenzione alla presenza di superfici di discordanza. Infatti, come riportato nei Quaderni SGN (serie III, n° 9 - 2003, Capitolo 5, pag. 33) una formazione "*.. può includere anche discontinuità deposizionali, a meno che non coincidano con significativi cambiamenti litologici*" e "*la presenza di importanti discontinuità all'interno di una formazione è poco desiderabile. Nel panorama geologico italiano esistono numerose situazioni nelle quali, in presenza di discontinuità che rappresentino delle ampie lacune temporali ed abbiano estensione regionale, è preferibile separare formazioni diverse, anche in presenza di una relativa omogeneità litologica*". Seguendo queste indicazioni, si è cercato, ove possibile, di fare in modo che le formazioni cartografate nel Foglio 178-Voghera avessero limiti coincidenti con superfici di discordanza. Questo è vero soprattutto per le formazioni della Successione Epiligure e del Bacino Terziario Piemontese, che godono generalmente di buone condizioni d'affioramento e per le quali una consolidata letteratura ha da tempo dimostrato che la presenza delle superfici di discordanza materializza gli eventi che guidano la sedimentazione (deformazione tettonica, cambiamenti di provenienza del sedimento, spostamenti di depocentro), e che è indispensabile tenere conto di ciò per una migliore comprensione del contesto in cui esse si situano.

3. - METODOLOGIA SEGUITA PER LE ANALISI BIOSTRATIGRAFICHE

La maggior parte dei campioni raccolti è stata preparata ed analizzata sia attraverso i lavati che gli *smear-slide* per fornire una biostratigrafia integrata a foraminiferi planctonici e a nannofossili calcarei. L'attribuzione bio- e cronostratigrafica dei campioni è stata ottenuta attraverso la correlazione con gli schemi zonali proposti da Martini (1971), Fornaciari & Rio (1996) e Catanzariti *et alii* (1997).

La biostratigrafia integrata a foraminiferi planctonici e a nannofossili calcarei è stata effettuata seguendo lo schema di Catanzariti *et alii* (2002), integrato da Mancin *et alii* (2007), e rappresentato in Fig. 2. Esso riporta una suddivisione del Plio-Pleistocene diversa da quella della nuova scala cronostratigrafica del 2010 (Finney, 2011).

PROGETTO CARG

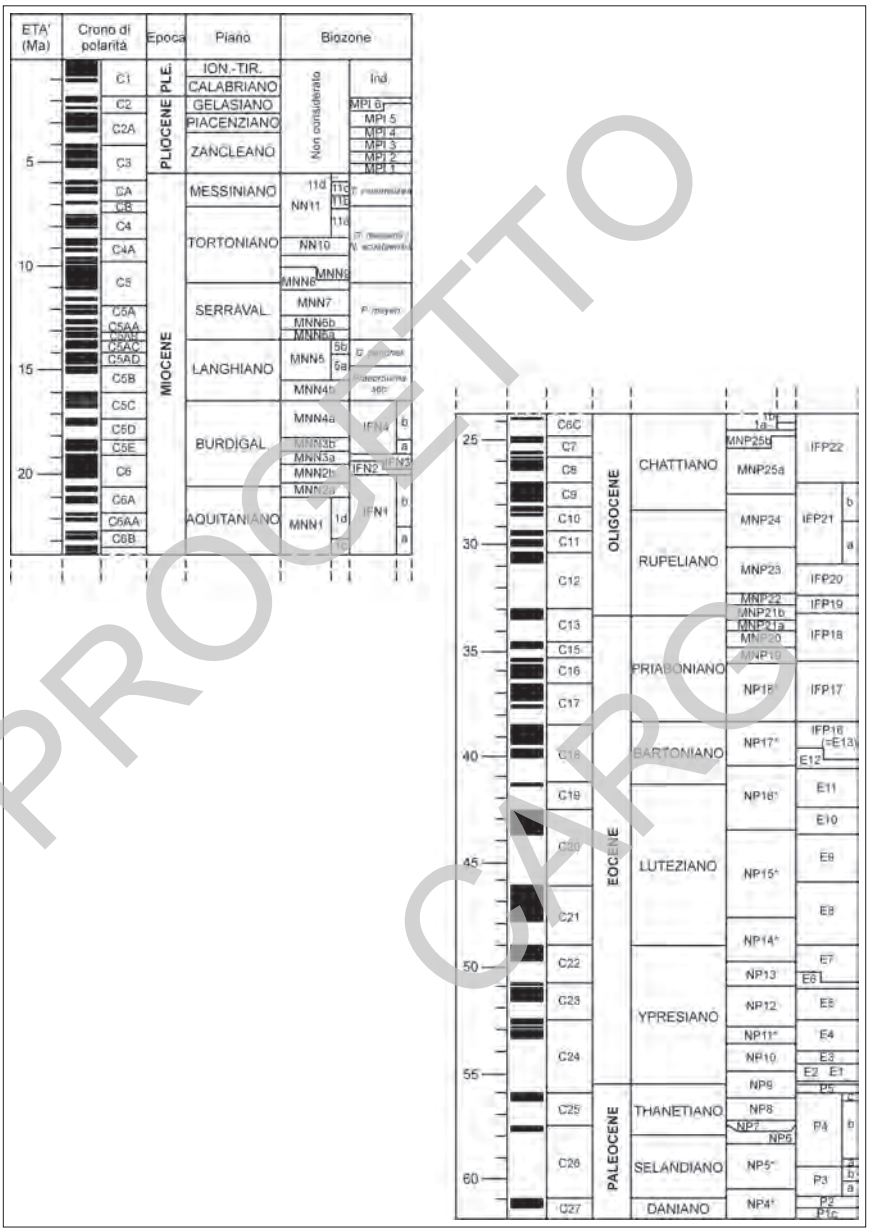


Fig. 2 - *Schema bio-cronostratigrafico standard per il Cenozoico. La calibrazione magnetocronologica è stata tratta da* Gradstein et alii *(2004). Le biozone utilizzate sono: NP, MNP e MNN per i nannofossili calcarei e P, E, IFP, IFN e MPL per i foraminiferi planctonici.*

PROGETTO CARG

4. - STESURA DELLE NOTE ILLUSTRATIVE

La stesura delle Note è stata curata dagli Autori riportati di seguito.

Coordinamento e revisione generale del testo: P.L. Vercesi.

Introduzione (Cap. I): P.L. Vercesi, L. Papani, G. Tucci con contributi di M. Cobianchi e N. Mancin.

Studi precedenti e inquadramento geologico (Cap. II): P.L. Vercesi, L. Papani e C. Pasquini.

Stratigrafia (Cap. III): P. Falletti, L. Papani, C. Pasquini, G. Tucci, P.L. Vercesi con contributi di M. Cobianchi e N. Mancin.

Tettonica (Cap. IV): P.L. Vercesi, L. Papani, G. Tucci, C. Perotti.

Aspetti ambientali e applicativi (Cap. V): A. Rovida (sismicità), P.L. Vercesi (risorse idriche), M. Credali (prevenzione del rischio idrogeologico nella pianificazione territoriale in Regione Lombardia), F. Torri (frane e deformazioni gravitative), S. Rossi (cave e miniere).

PROGETTO CARG

PROGETTO
CARG

PROGETTO CARG

II - STUDI PRECEDENTI E INQUADRAMENTO GEOLOGICO

1. - STUDI PRECEDENTI

1.1. - Appennino Vogherese

L'area del Foglio 178-Voghera ricade completamente all'interno di quella del precedente Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971), e ne riprende i temi geologici fondamentali: la porzione occidentale dell'Appennino settentrionale, la Linea Villalvernia-Varzi e il Bacino Terziario Piemontese nonché, marginalmente, la Finestra di Bobbio (meglio illustrata nel Foglio 197-Bobbio (Servizio Geologico d'Italia, 1997; Elter *et alii*, 1997).

Fin dal XIX secolo, molti sono stati gli studiosi che si sono occupati dell'Appennino pavese, a cominciare da Taramelli (1877, 1878, 1882), secondo cui l'Appennino della Provincia di Pavia è costituito da una sola successione stratigrafica, con alla base i "calcari marnosi del Penice", seguiti con contatto stratigrafico dalle arenarie e dalle argille scagliose con ofioliti; l'assetto tettonico viene spiegato con grandi piegamenti. Sempre Taramelli (1916) riafferma la presenza di un'unica successione stratigrafica e le sue vedute autoctoniste, ma la successione è ora costituita da macigno eocenico, argille scagliose, galestri e dal calcare marnoso ad *Helminthoidea*. Secondo Steinmann (1907) invece esistono più successioni stratigrafiche e la tettonica, come nelle Alpi, è per grandi falde di ricoprimento; anche Rovereto (1926, 1939) è un convinto sostenitore dello schema faldista, e distingue, dal basso, una "*zona inferiore autoctona, o in falda, di facies piacentino-pavese, che si presenta anche in facies spezzino-toscana*", una "*... falda mediana, di arrivo post-luteziano, composta da rocce sedimentarie*

ed ignee di età titonica o cretacea", e un "*.... neoautoctono composto da rocce sedimentarie dell'Eocene superiore*". Sacco (1891) afferma che esiste una sola successione stratigrafica, che inizia dalle argille scagliose cretaciche; la sovrapposizione di queste al macigno eocenico viene giustificata da grandi pieghe coricate e diapiri. Con la I edizione del Foglio 71 Voghera (Servizio Geologico d'Italia, 1929), Sacco riafferma quanto sopra esposto. Secondo Ludwig (1929) nella zona di Bobbio vengono distinte la "*Untere Gesteins-Serie*", autoctona, cui si sovrappone la "*Serpentin-Serie*", alloctona, e le neoautoctone "*Obere Gesteins-Serie*" e "*Costa Formation*". Anelli (1938) è convinto dell'esistenza di un ricoprimento, che si sarebbe realizzato come "immane slittamento regionale" in parecchie tappe, con un acme alla fine dell'Eocene e alcune riprese posteriori. Signorini (1946) individua terreni autoctoni su cui si mettono in posto, per scivolamenti gravitativi, terreni alloctoni e afferma che "*... il massimo dell'accumulo e della molteplicità del materiale di ricoprimento si raggiunge nell'Appennino ligure-piacentino*". Merla (1952, 1957) opera la fondamentale distinzione tra unità autoctone, alloctone e semialloctone, cioè la base, ancora attuale, per capire la struttura tettonica dell'Appennino; in particolare, l'Autore considera alloctoni tutti i terreni del Foglio 71 Voghera al di sopra del Macigno, attribuito all'Oligocene e al di sotto del Pliocene. Pieri (1961) definisce in dettaglio, a livello regionale, la successione semialloctona del margine appenninico padano, che già Merla aveva descritto. De Rosa *et alii* (1966) istituiscono, tramite accurato rilevamento stratigrafico-sedimentologico di dettaglio, la Formazione di Val Luretta, analisi ripresa da Cobianchi *et alii* (1995).

Di fondamentale importanza è poi il lavoro di Elter *et alii* (1966), che impostano lo schema strutturale dell'Appennino settentrionale e ne delineano gli elementi fondamentali. Quanto enunciato rimane tuttora una pietra miliare nella geologia dell'Appennino e viene successivamente ripreso in numerosi lavori di Elter (1973, 1975a, b) e di altri Autori anche recenti.

Con la II edizione del Foglio 71 Voghera (Servizio Geologico d'Italia, 1969), e le relative note illustrative (Bellinzona *et alii*, 1971), la "scuola pavese", guidata da Boni, riconosce la presenza di diverse successioni stratigrafiche, che vengono viste tutte come autoctone, in contrasto con quanto sostenuto da Merla; peculiare è l'interpretazione di parte degli estesi affioramenti di rocce caotiche come risultanti dalla venuta a giorno di diapiri fangosi che interrompono la continuità laterale delle varie successioni.

Gelati & Pasquarè (1970), diversamente da Merla, distinguono le successioni oligo-mioceniche dell'Appennino pavese, sedimentate sulle Unità Liguri esterne, da quelle del Bacino Terziario Piemontese, depostesi sulla successione Antola-Pagliaro.

Gelati *et alii* (1974) attribuiscono le formazioni affioranti nel Foglio 71 Voghera a 4 successioni, o complessi: il "Complesso Caotico Pluriformazionale", la "Successione Stratigrafica Eocenico-Miocenica", il "Complesso delle Argille Varicolori" e la "Successione Stratigrafica Paleocenico-Oligocenica".

Panini *et alii* (2002) e Panini *et alii* (2006) sviluppano il rilevamento geologico

PROGETTO CARG

della zona di Borgo Priolo e della zona di Varzi; il loro lavoro è particolarmente mirato allo studio dei tanti affioramenti di unità a tessitura caotica, molte delle quali vengono reinterpretate come "brecce sedimentarie", cioè unità frutto di colate fangose sottomarine.

Cibin *et alii* (2001) affrontano il problema dei Bacini Epiliguri a livello regionale, con particolare riguardo all'evoluzione delle fonti di alimentazione: nell'area del Foglio 178-Voghera si occupano della Formazione di Ranzano della zona di Ruino.

Sotto l'aspetto prettamente strutturale sono da ricordare diversi lavori, sviluppati tra gli anni '70 e '80, che hanno compendiato le conoscenze regionali sull'Appennino settentrionale. Tra questi, degni di menzione, sono quelli di Bortolotti *et alii* (1969), che hanno predisposto la Carta Strutturale dell'Appennino settentrionale; AA. VV. (1980) che hanno elaborato le "Sezioni geologico-strutturali in scala 1:200.000 attraverso l'Appennino settentrionale"; Boccaletti & Coli (1982) con le relative note illustrative e Boccaletti *et alii* (1987).

L'ultima sintesi di carattere regionale è stata prodotta da Cerrina Feroni *et alii* (2002) che, nell'ambito del progetto CARG, hanno prodotto la "Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo con sezioni geologiche e note illustrative", reinterpretando gli elaborati realizzati dai diversi gruppi di ricerca che hanno collaborato alla stesura dei nuovi Fogli della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, per la Regione Emilia-Romagna. La zona coperta da questo studio si estende ad occidente sino al T. Curone comprendendo, pressoché in modo totale, anche il Foglio 178-Voghera.

1.2. - Bacino Terziario Piemontese

Il primo lavoro ad occuparsi del Bacino Terziario Piemontese (BTP) nel suo complesso fu quello di Sacco (1890), nel quale si affermava che la successione di tale bacino è tipicamente trasgressiva, documentando una ingressione marina che procede da NE verso SW, tra l'Oligocene inferiore ed il Miocene medio; anche Rovereto (1939) si occupa del problema e riconosce la diacronia della trasgressione, che inizia nell'Oligocene inferiore nella zona centro-orientale per finire nell'Oligocene superiore nella zona occidentale. In seguito, molti Autori (es. Lorenz, 1960, 1969; Charrier *et alii*, 1964) dibatterono sull'esitenza di due trasgressioni. Fu Franceschetti (1967) a riconoscere la presenza di una seconda trasgressione, legata alla deposizione della formazione di Visone (Miocene inferiore). Nello stesso periodo, si tenne un acceso dibattito circa la presenza di una importante lacuna al contatto tra il substrato e la successione del BTP (Segnini, 1961; Tedeschi & Cococcetta, 1961; Boni, 1962; Elter & Nardi, 1962; Labesse, 1966; Ibbeken, 1970), che ora viene riconosciuta unanimemente (vedi Foglio 196-Cabella Ligure e relative note illustrative, Servizio Geologico d'Italia, in stampa).

Nel corso degli anni '70, '80 e '90, diversi lavori furono dedicati allo studio stratigrafico-sedimentologico di varie porzioni della successione del Bacino

PROGETTO CARG

Terziario Piemontese (Gelati, 1967, 1974, 1977; Galbiati, 1976; Gelati & Gnaccolini, 1978, 1980; Andreoni *et alii*, 1981; Ghibaudo *et alii*, 1985; Cavanna *et alii*, 1989), favoriti dalle ottime condizioni di affioramento che vi si riscontrano, tali da permettere, in alcuni casi, dettagliati studi dell'interazione tra tettonica e sedimentazione (Cazzola *et alii*, 1981, 1985; Stocchi *et alii*, 1992; Baruffini *et alii*, 1994; Di Giulio & Galbiati, 1995; Mutti *et alii*, 1995; Di Biase, 1998); infine, a partire dagli anni '80, diversi lavori della "scuola di Milano" sono stati dedicati al tentativo di correlare le successioni stratigrafiche dei vari settori del Bacino Terziario Piemontese in un unico quadro complessivo (Gelati & Gnaccolini, 1982, 1988, 2003; Gelati *et alii*, 1993), attraverso l'uso delle classiche metodologie litostratigrafiche integrate con dati di biostratigrafia e con una certa attenzione all'individuazione di superfici di inconformità presenti in tutta l'area.

Anche se le successioni del Bacino Terziario Piemontese sono essenzialmente regolari, localmente si riscontrano in esse fenomeni deformativi sia pure di lieve entità, che sono stati cartografati da Cavanna *et alii* (1989) e descritti da Fossati *et alii* (1988).

1.3. - Successioni Quaternarie

La *Descrizione geologica dei terreni della Provincia di Pavia* di Taramelli (1916) è il testo principale che descrive le "alluvioni quaternarie", distinguendo le "alluvioni diluviali glaciali" dalle "alluvioni postglaciali (*alluvium*)". La descrizione prende in esame però solo la zona di pianura, mentre non vi è cenno alle zone collinari.

La distinzione tra *diluvium* e *alluvium* viene ripresa e confermata nel Foglio 71 Voghera della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 del 1929: il *diluvium* viene attribuito al Pleistocene e descritto come "Alluvioni ciottoloso-ghiaioso-terrose più o meno ferrettizzate", mentre all'Olocene vengono attribuite "Alluvioni sabbioso-ghiaioso-ciottolose" e "Alluvioni sabbioso-ghiaioso-ciottolose (*alluvium*)".

La conoscenza della successione quaternaria vede un notevole progresso con i rilevamenti e le descrizioni riportati nella seconda edizione del Foglio 71 Voghera (Servizio Geologico d'Italia, 1969) e le relative note illustrative (Bellinzona *et alii*, 1971). In questo lavoro i terreni quaternari sono stati suddivisi in unità basate sulla litologia, sulle caratteristiche morfologiche e sul colore di alterazione pedogenetica dei suoli.

Vengono individuate tre unità pleistoceniche e due unità oloceniche, con una unità comprendente depositi sia "würmiani" sia "più recenti non separabili cartograficamente". I limiti tra le unità sono considerati sfumati e non vengono individuate discontinuità. Nessuna correlazione viene effettuata tra le unità pleistoceniche e i periodi glaciali.

La struttura dei depositi quaternari delineata nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971) viene

PROGETTO CARG

sostanzialmente confermata dagli studi successivi. Pellegrini & Vercesi (1995) distinguono i depositi quaternari continentali in più unità utilizzando criteri morfostratigrafici e pedostratigrafici. Questi Autori, pur prendendo in considerazione le unità allostratigrafiche (Bini *et alii*, 1991) e le UBSU (Salvador, 1987), non procedono a distinzioni formali poiché sul terreno non sono individuabili le discontinuità limite né sembra possibile una loro estrapolazione. Distinguono invece due unità morfologiche di "suoli antichi" – vetusuoli rubefatti con copertura di loess –, una inferiore e una superiore, separate localmente da una scarpata di terrazzo e che tuttavia, nell'area interessata dai nuovi rilevamenti, assumono la forma di pendii dolci e ondulati.

Ulteriori rilevamenti nella parte occidentale del Foglio 178-Voghera, al margine appenninico (Mantelli & Vercesi, 2000), hanno portato a individuare depositi continentali a tetto delle sabbie di Asti appartenenti al Pleistocene (conglomerati di Monte Brienzone). Questi depositi, descritti come sabbie e ghiaie fluviali con ciottoli embricati e sporadiche strutture a lamine convesse verso l'alto, hanno rivelato direzioni di correnti dirette verso S-SW.

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1. - L'Appennino Settentrionale

L'Appennino settentrionale (Fig. 3) è costituito da un insieme alloctono, formato dalle Unità Liguri, che sovrascorre l'insieme autoctono delle Unità Tosco-Umbro-Romagnole, cioè la copertura deformata dell'avampaese adriatico (Fig. 4).

Il basamento adriatico affiora, al di sotto dei summenzionati insiemi, nella zona delle Alpi Apuane, del M. Pisano e della Montagnola Senese.

L'Appennino settentrionale è un segmento del grande sistema di catene formatesi in seguito alla chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese (Fase Eoalpina) e alla collisione continentale (Fase Mesoalpina) tra le placche europea e adriatica. In tale sistema, la litosfera oceanica ligure-piemontese è stata inizialmente subdotta sotto la placca adriatica, al cui margine si formò un prisma d'accrezione a doppia vergenza (Doglioni *et alii*, 1998): la vergenza principale fu europea, ed è visibile ovunque nell'edificio alpino; la vergenza adriatica è visibile nelle Alpi meridionali. Nella catena appenninica la vergenza adriatica (verso E) è probabilmente il risultato delle successive fasi tettoniche oligo-mioceniche indotte nella retrocatena alpina dalla subduzione verso W della placca adriatica; tale subduzione rimpiazzò progressivamente nel settore meridionale la subduzione alpina (diretta verso E), forzando una porzione del prisma eo- e mesoalpino a sovrascorrere sul margine adriatico (Carminati *et alii*, 2004). L'apertura prima del bacino ligure-provenzale (Oligocene superiore - Miocene inferiore) e poi del bacino tirrenico (Miocene superiore), secondo tale modello, possono essere

PROGETTO CARG

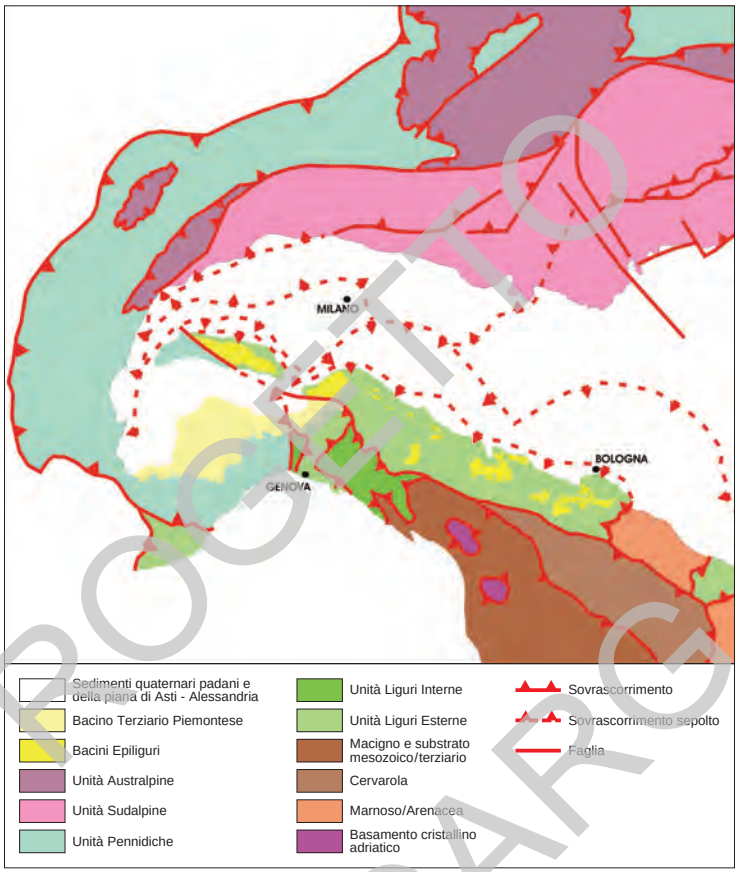


Fig. 3 - *Schema strutturale dell'Appennino settentrionale e delle Alpi.*

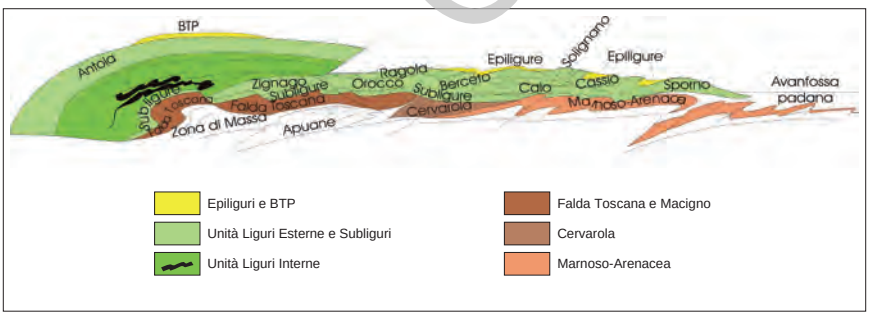


Fig. 4 - *La struttura dell'Appennino settentrionale (da Elter, 1994, modificato).*

PROGETTO CARG

considerate come fenomeni estensionali di retroarco, legati alla subduzione appenninica, che hanno "boudinato" il prisma alpino (Fig. 5).

In sintesi, la gran parte dell'evoluzione geodinamica pre-oligocenica dell'Alloctono Ligure è stata alpina: dal *rifting* triassico, allo *spreading* giurassico, che portarono all'individuazione dell'Oceano Ligure-Piemontese, alla fase di convergenza cretacica superiore che provocò la subduzione della crosta oceanica (Fase Eoalpina) e alla collisione continentale eocenica (Fase Mesoalpina, o Ligure), seguita, essenzialmente nell'Oligocene, dalle fasi est-vergenti che portarono la catena appenninica a sovrascorrere sulla placca adriatica.

2.2. - Le Unità Liguri

L'Alloctono Ligure è costituito da rocce ad affinità oceanica, che appartengono a due diversi domini (Elter *et alii*, 1966): il Dominio Ligure Interno, caratterizzato dalla presenza di ofioliti in posizione primaria ed il Dominio Ligure Esterno, caratterizzato invece dalla presenza di ofioliti risedimentate.

Il motivo di tale differenza risiede nella diversa collocazione paleogeografica dei due domini (Fig. 6): il Dominio Ligure Interno era un segmento di Oceano Ligure-Piemontese con la sua copertura sedimentaria giurassico-paleocenica (diaspri del Giurassico superiore, calcari a Calpionelle del Berriasiano-Valanginiano, argille a palombini del Valanginiano - Santoniano e sedimenti torbiditici

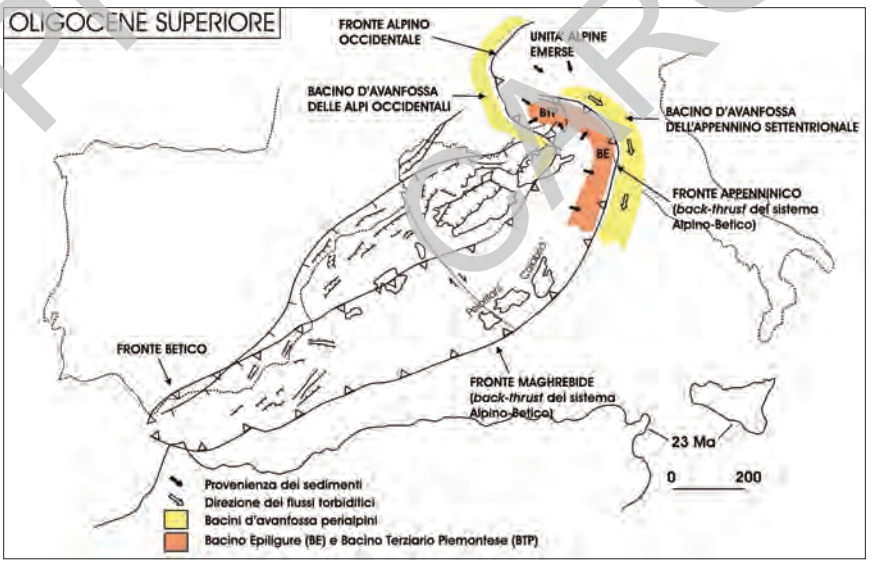


Fig. 5 - *L'Appennino settentrionale come* back-thrust *alpino (modificato da Doglioni* et alii, *1999).*

PROGETTO GARG

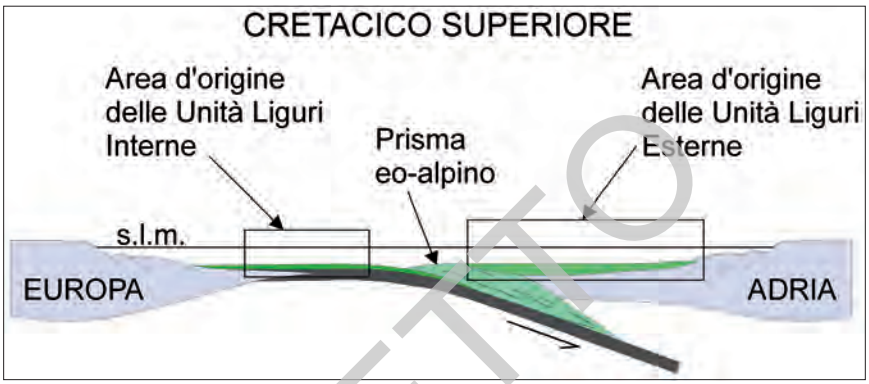


Fig. 6 - *Le originarie posizioni paleogeografiche delle Unità Liguri Interne ed Esterne.*

silicoclastici del Cretacico superiore, costituiti dalle Ardesie di M. Verzi del Campaniano, Scisti Zonati del Campaniano superiore - Maastrichtiano inferiore e Arenarie del M. Gottero del Campaniano superiore - Paleocene inferiore) e, probabilmente, era molto prossimo al paleo-margine europeo, dal momento che i sedimenti torbiditici silicoclastici erano alimentati da tale area.

Il Dominio Ligure Esterno, invece, contiene sedimenti deposti nell'area di transizione tra Oceano Ligure-Piemontese e continente adriatico, ossia unità clastiche di età cretacico-eocenica scollate dal loro originario substrato, sulla cui natura si può speculare (oceanica o continentale assottigliata), ma su cui non esistono dati certi. Si tratta di successioni essenzialmente bipartite, la cui parte inferiore è costituita dai cosiddetti "Complessi di Base" (Elter & Raggi, 1965) che, nella zona più prossima alle Unità Liguri Interne (Zona S. Stefano - Zignago *Auct.*, *Western Successions* in Marroni *et alii*, 2002), comprendono depositi di scivolamento gravitativo e torbiditi ad alimentazione ofiolitica mentre, nella zona più esterna, sopra le argille a palombini, si trovano torbiditi silicoclastiche (arenarie di Scabiazza e conglomerati dei Salti del Diavolo) ad alimentazione austro-sudalpina. La parte superiore delle Unità Liguri Esterne è costituita dai "Flysch ad Elmintoidi" *Auct.*, che sono torbiditi ad alimentazione mista silicoclastico-carbonatica, ossia correnti di torbida silicoclastiche che inglobavano ingenti quantità di fanghi carbonatici lungo il loro cammino. I flysch ad Elmintoidi sono presenti in tutto l'edificio alpino e si depongono in discordanza sul loro substrato, già deformato dalla tettonica eo-alpina, costituito dai Complessi di Base. Nella parte esterna del Dominio Ligure Esterno (Zona Emiliana *Auct.*, *Eastern Successions* in Marroni *et alii*, 2002), la sedimentazione, sopra ai flysch ad Elmintoidi di Monte Caio, Monte Cassio, Bettola, prosegue con spesse successioni di torbiditi carbonatiche e silicoclastiche di età paleocenico-eocenica inferiore.

Con la Fase Ligure si ha la fine della sedimentazione nel Dominio Ligure: gli eventi collegati alla collisione continentale hanno determinato sia la defor-

PROGETTO CARG

mazione delle Unità Liguri che la disattivazione dei sistemi di produzione e trasporto del sedimento attivi fino ad allora. Al di sopra delle Unità Liguri deformate si depone, in discordanza, la Successione Epiligure.

Nell'area del Foglio 178-Voghera affiorano estesamente le Unità Liguri Esterne di Monte Cassio e di Bettola, mentre non affiorano le Unità Liguri Interne.

2.3. - La Successione Epiligure

Come originariamente definita da Ricci Lucchi & Ori (1985), la Successione Epiligure è stata deposta sul dorso delle Falde Liguri durante il loro moto di ricoprimento dell'avampaese adriatico e delle sue coperture (Unità Tosco-Umbro-Romagnole). In realtà, come evidenziato da Mutti *et alii* (1995), l'età della parte inferiore della Successione Epiligure (brecce argillose di Baiso, Marne di M. Piano, Formazione di Ranzano) è precedente allo sviluppo delle avanfosse appenniniche, databile all'Oligocene superiore. Ne deriva che lo schema di Ricci Lucchi & Ori (1985) delle formazioni epiliguri come bacini satellite delle avanfosse appenniniche, è applicabile solo a partire dalla deposizione della Formazione di Antognola (Oligocene superiore - Miocene inferiore). Le formazioni più antiche individuano quella che Mutti *et alii* (1995) hanno chiamato Successione Epimesoalpina perchè, insieme alla coeva successione del Bacino Terziario Piemontese, sono state deposte a sigillare le deformazioni della Fase Mesoalpina (Fase Ligure); tali successioni registrano al loro interno gli eventi che hanno preceduto le fasi della strutturazione appenninica, in senso stretto, con il sovrascorrimento dell'Alloctono Ligure sulle Unità Tosco-Umbro-Romagnole. Per questo motivo, Cibin *et alii* (2001) parlano di Successione Epiligure Alpina (Eocene medio - Oligocene inferiore) e di Successione Epiligure Appenninica (Oligocene superiore - Miocene superiore).

La terminologia introdotta da Mutti *et alii* (1995) apporta un grado di complessità forse eccesivo per queste Note e, anche per facilitare i confronti coi Fogli geologici già pubblicati, si utilizzerà la terminologia di Cibin *et alii* (2001).

Il cambiamento del quadro paleogeografico, rispetto al Dominio Ligure, è sostanziale: la Fase Ligure ha deformato e portato in erosione le Unità Liguri, con la conseguenza che le Successioni Epiliguri alpine ed appenniniche sono, in buona parte, costituite da sedimenti prodotti dall'erosione di tali unità.

Le brecce argillose di Baiso sono la prima unità epiligure alpina, immediatamente successiva alla Fase Ligure; esse sono costituite da accumuli di frane sottomarine che hanno mobilizzato sedimenti appartenenti a varie Unità Liguri Esterne. Si tratta di un'unità non ubiquitaria, che è presente solo nei bacini epiliguri interni (cioè quelli più meridionali), dove poggia, generalmente, sulle Unità Cassio e Monghidoro; nei bacini epiliguri esterni, adagiati sui Flysch Liguri Terziari, le brecce argillose di Baiso sono per lo più assenti. Questo è sicuramente da mettere in relazione al diverso grado di deformazione delle due zone: la zona

PROGETTO CARG

dei Flysch Liguri Terziari, al momento della deposizione delle brecce argillose di Baiso, era ancora poco deformata.

La formazione seguente, le Marne di M. Piano (Eocene medio-superiore), è costituita da sedimenti pelagici per lo più argillosi, siltosi e marnosi, che sono diffusi in tutto l'Appennino settentrionale: rappresentano una stasi negli apporti sedimentari grossolani, perché i sistemi di produzione e trasporto del sedimento, dopo la Fase Ligure, non si sono ancora compiutamente riorganizzati o, forse, le Unità Liguri non sono ancora emerse (Vescovi *et alii*, 1998); solo nel bolognese, in questo lasso di tempo, sono presenti le arenarie di Loiano (Eocene medio) che rappresentano il prodotto dell'erosione del locale substrato ligure, cioè le formazioni di M. Venere e di Monghidoro (Papani, 1998; Cibin *et alii*, 2001).

I depositi del membro basale della Formazione di Ranzano, cioè il membro del Pizzo d'Oca (RAN_1, Eocene superiore - Oligocene inferiore) sono alimentati da correnti di torbida provenienti da W, che verosimilmente trasportano detrito proveniente dalle Unità Austroalpine delle Alpi occidentali (Papani, 1998; Cibin *et alii*, 2001), già emerse all'epoca (Castellarin, 1976; Cerrina Feroni *et alii*, 2004).

I successivi due membri della Formazione di Ranzano, membro della Val Pessola (RAN_2, Oligocene inferiore) e membro di Varano de' Melegari (RAN_3, Oligocene inferiore) sono invece costituiti da sedimenti provenienti dall'erosione delle Unità Liguri dell'Appennino (Cibin, 1993a, b).

Con i depositi della Formazione di Antognola (Oligocene superiore - Miocene inferiore) si assiste ad un drastico cambiamento paleogeografico: inizia la strutturazione appenninica *s.s.*, con il sovrascorrimento dell'Alloctono Ligure e la risultante inflessione della crosta adriatica che permette la costituzione del primo bacino di avanfossa appenninico, in cui si deposita il Macigno. Con la sovrapposizione delle falde si assiste ad un aggiustamento isostatico che comporta la subsidenza dell'Alloctono Ligure, la contemporanea interruzione dell'erosione delle Unità Liguri e l'alimentazione del Bacino Epiligure Appenninico con il detrito proveniente dalle Unità Pennidiche delle Alpi (Cibin *et alii*, 2001). Questo tipo di alimentazione si mantiene anche per la successiva Unità Epiligure: la Formazione di Contignaco (Aquitaniano superiore - Burdigaliano inferiore).

L'unica eccezione è rappresentata dai depositi delle brecce argillose della Val Tiepido - Canossa (Chattiano? - Aquitaniano) che sono costituite da materiale di origine ligure franato nel Bacino Epiligure: con ogni probabilità si è trattato di un episodio di limitata durata che non ha sostanzialmente modificato il quadro esposto. La Formazione di Contignaco, in realtà, è importante perché contiene sedimenti ricchi in silice (*Lower Miocene siliceous zone*, di Amorosi *et alii*, 1995) che costituiscono un *marker* stratigrafico di eccezionale continuità, presente in tutti i bacini allora attivi: il Bacino Epiligure Appenninico, il Bacino Terziario Piemontese ed il bacino di avanfossa appenninico (Unità Cervarola).

Un nuovo importante cambiamento paleogeografico si ha al limite Burdigaliano - Langhiano, allorchè si verifica la deformazione delle precedenti unità Epiliguri e la deposizione, in discordanza su esse, dei depositi di piattaforma ter-

PROGETTO CARG

rigena del Gruppo Bismantova (corrispondente alle arenarie di Monte Vallassa del Foglio 178-Voghera): la situazione descritta è visibile in tutto l'Appennino ed è da mettere in relazione a un'importante fase tettonica che porta in erosione dapprima le Unità Epiliguri (con alimentazione della Formazione di Contignaco di età Aquitaniano superiore - Burdigaliano inferiore) e poi le Unità Liguri, principalmente flysch ad Elmintoidi (detrito che alimenta le sovrastanti arenarie di Monte Vallassa, di età Burdigaliano superiore? - Serravalliano). Nel complesso, la successione sedimentaria delinea un *trend fining and deepening upward*.

Il Miocene superiore è rappresentato, nella Successione Epiligure, dalla Formazione del Termina (marne di S. Agata Fossili), costituita da sedimenti argilloso-marnosi bioturbati, associati ad arenarie parimenti bioturbate e banchi di calcareniti; si tratta di sedimenti deposti in un bacino poco profondo, del quale sono conservati soprattutto ambienti di piattaforma esterna.

Nell'area del Foglio 178-Voghera la Successione Epiligure affiora estesamente al tetto delle Unità Cassio e Bettola.

2.4. - Il Bacino Terziario Piemontese

Il Bacino Terziario Piemontese viene considerato come un bacino episuturale (*sensu* Bally & Snelson, 1980) con ciclo trasgressivo-regressivo di età Eocene superiore - Miocene superiore che poggia in discordanza su unità deformate durante la Fase Ligure: in particolare, sigilla i rapporti tra l'Unità Antola e le unità alpine pennidiche di tipo Piemontese (Gruppo di Voltri) e Brianzonese.

La particolarità del BTP è che il settore occidentale, ad W della Linea Sestri - Voltaggio, può essere considerato come un bacino di *piggy-back* alpino, che poggia su unità Pennidiche; il settore orientale, invece, può essere visto come uno dei Bacini Epiliguri dell'Appennino, in quanto poggia sull'Unità Antola, la più elevata delle unità tettoniche liguri dell'Appennino settentrionale.

In realtà, il settore orientale del BTP, nella sua porzione dell'Eocene medio e superiore è del tutto analogo agli altri Bacini Epiliguri Alpini (Mutti *et alii*, 1995; Foglio 196-Cabella Ligure) e, in esso, si depongono le marne di Vigoponzo (equivalenti alle Marne di Monte Piano) e la formazione di Dernice (corrispondente al membro del Pizzo d'Oca, RAN_1, della Formazione di Ranzano). Di questi sedimenti non v'è traccia negli altri settori del BTP (ad W della Linea Sestri - Voltaggio), perché la sedimentazione vi inizia solo al limite Eocene - Oligocene, con i sedimenti coevi del membro della Val Pessola (RAN_2) della Formazione di Ranzano. Al limite Eocene - Oligocene, dunque, va posto un evento (Fase Ligure II di Mutti *et alii*, 1995) che porta le Unità Pennidiche a sovrapporsi tettonicamente alla porzione occidentale dell'Unità Antola con la sua copertura epiligure alpina. Questo evento, che segna l'esumazione del Gruppo di Voltri che diventa la più importante fonte di produzione di sedimento dell'area, con ogni probabilità si realizza lungo la Linea Sestri - Voltaggio ed il suo prolungamento sepolto, verso N e NW, sotto i depositi oligo-miocenici del BTP.

PROGETTO CARG

Su questo nuovo paesaggio si depongono in discordanza angolare i sedimenti della Formazione di Molare (settore occidentale del BTP) e dei conglomerati di Savignone (settore orientale del BTP). Da questo momento il BTP diviene l'attuale bacino, con un settore orientale, inizialmente epiligure, ed un settore occidentale, nato come "Epipennidico", che evolvono congiuntamente, sebbene con evidenti differenze, sigillando il nodo Alpi - Appennino.

Nell'area del Foglio 178-Voghera il BTP è presente lungo il margine meridionale del Foglio in una ridotta apofisi ad andamento W-E, delimitata a N dalla Linea Villalvernia - Varzi.

2.5. - Le Unità Subliguri

L'Insieme Subligure, o Unità di Canetolo *Auct.*, nell'accezione più comune, viene ritenuto come l'estremo lembo orientale (o nord-orientale) del Dominio Ligure e costituiva il collegamento tra il Dominio Ligure Esterno ed il Dominio Toscano. Data la sua posizione paleogeografica, l'Insieme Subligure fu la prima unità alloctona a venire in contatto con l'"autoctono", durante la strutturazione appenninica.

Essa, perciò, è la più profonda delle unità tettoniche alloctone, sotto a tutte le Unità Liguri e, di conseguenza, si presenta molto deformata.

L'Insieme Subligure è costituito da depositi torbiditici carbonatici del Paleocene - Eocene (argille e calcari di Canetolo, calcari e argille di Santa Maria, flysch di Monte Penice, flysch di Vico, calcari di Groppo del Vescovo) molto simili ai Flysch Liguri Terziari, di cui rappresentava, probabilmente, l'estrema propaggine. Non si conosce la base stratigrafica di queste successioni ma, essendo interposto tra il Dominio Ligure Esterno ed il Dominio Toscano, si ritiene poggiasse sul margine adriatico assottigliato.

Dopo la Fase Ligure, in discordanza, sull'Unità di Canetolo, si deposero successioni torbiditiche terrigene eocenico-mioceniche (le arenarie di Rio Fuino, le arenarie di Ponte Bratica e le arenarie di Aveto - Petrignacola) che possono essere considerate "episubliguri", cioè deposte sulle unità tettoniche subliguri nelle fasi iniziali della strutturazione appenninica. Tali formazioni mostrano più di un'analogia con i coevi depositi epiliguri alpini della Formazione di Ranzano.

Le età di tali formazioni sono assai controverse, in particolare per la Formazione della Val d'Aveto, datata all'Eocene da Elter *et alii* (1964), al Langhiano da Boni *et alii* (1968), da Aiello (1975), Vannucci & Wezel (1978) e da Rossi & Vercesi (2011), viene attribuita alla parte alta del Rupeliano (zona MNP23) da Elter *et alii* (1999) e a un generico Rupeliano nel Foglio 196-Cabella Ligure.

In ogni caso, con il Miocene inferiore cessa la sedimentazione "episubligure", allorchè il Dominio Subligure viene definitivamente incorporato alla base dell'Alloctono Ligure.

Nell'area del Foglio 178-Voghera il Dominio Subligure è rappresentato

PROGETTO CARG

solo dalla sottounità Penice dell'Unità Canetolo (Fogli 196-Cabella Ligure e 197-Bobbio) che affiora limitatamente nell'angolo sud-orientale del Foglio.

2.6. - Le Unità Padane

Col termine Unità Padane sono indicate le unità autoctone adriatiche sulle quali è tettonicamente sovrapposto l'Alloctono Ligure. Nell'area del Foglio 178-Voghera le Unità Padane non affiorano, ma costituiscono il substrato delle successioni plioceniche e quaternarie della pianura vogherese e del margine appenninico. Una serie di pozzi per ricerca di idrocarburi (Volpedo 1, 2, 3 e 4; Staffora 1dir.; Fornace 1; Calvignano 1; Cadelazzi 1), insieme a dati ed interpretazioni presenti in letteratura, consente di delineare, seppure con una certa approssimazione, l'andamento del Fronte Ligure sepolto dai sedimenti del margine appenninico; si può affermare, senza troppa incertezza, che a N di tale fronte, al di sotto dei sedimenti plio-quaternari, esistono sedimenti del Miocene medio e superiore che costituiscono probabilmente parte del riempimento di un'avanfossa appenninica.

2.7. - Il Modellamento Quaternario del Territorio: Geologia e Geomorfologia

L'area del Foglio presenta quattro ambiti fisiografici diversi, legati ciascuno a precise caratteristiche geologiche e di modellamento del territorio (Fig. 7):

1) un'area prettamente montuosa, in gran parte solcata da corsi d'acqua dai percorsi spesso complicati dal controllo strutturale e neotettonico. Il modellamento è qui legato innanzitutto all'erosione fluviale e alla sua interazione con i movimenti recenti della catena, mentre la sedimentazione continentale è limitata a ridotti lembi di depositi entro gli incisi fluviali. Grande peso nelle definizione delle forme del territorio hanno inoltre gli estesi fenomeni franosi che interessano soprattutto i versanti modellati sui Complessi Caotici (*Auct.*);
2) una fascia di blandi ed articolati rilievi pedemontani degradanti verso NW, che rappresentano il fronte della catena appenninica emergente dalla Pianura. Essa è caratterizzata dalla presenza di estesi lembi di depositi quaternari profondamente alterati, appoggiati in discordanza sulla successione marina e reincisi dal drenaggio attuale;
3) una sorta di pianalto distale al raccordo fra Appennino e Pianura, rilevato su di essa di pochi metri, costituito da depositi continentali di varia granulometria incassati gli uni negli altri;
4) la porzione prossimale della Pianura Padana, solcata dal corso dello Staffora.

Entro queste fasce, le forme del paesaggio dipendono strettamente dai complessi cicli di sedimentazione delle unità quaternarie, nonché dalla loro interazione con la tettonica in atto. I caratteri morfologici principali verranno quindi esaminati entro il più ampio quadro dei lineamenti geologici di cui sono espressione, e separatamente per ogni area sopra distinta.

PROGETTO CARG

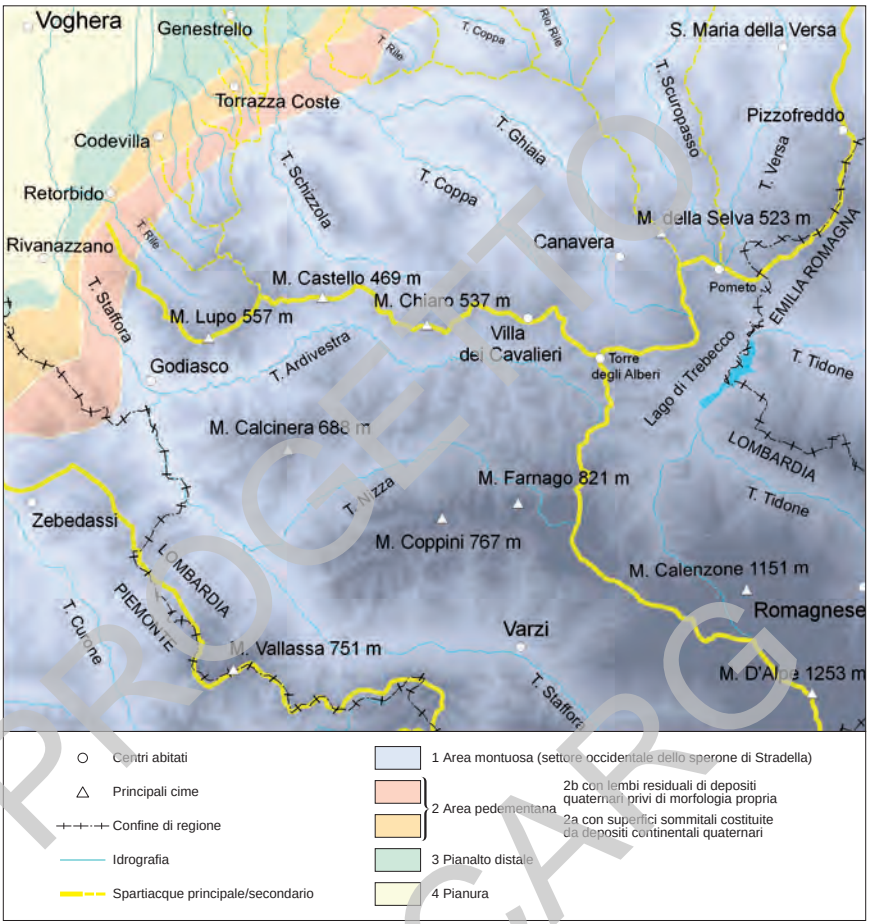


Fig. 7 - *Rappresentazione schematica degli ambiti fisiografici distinti entro il Foglio 178-Voghera.*

PROGETTO CARG

2.7.1. - *Area montuosa*

Questa porzione occupa circa il 90% dell'intero Foglio, ed è suddivisa tra i grandi bacini dello Staffora e del Tidone, che abbracciano verso N una porzione centrale caratterizzata da piccoli bacini, indipendenti sino allo sbocco in pianura; nell'angolo sud-occidentale inoltre è compreso un breve tratto del bacino del Curone (Fig. 7:1).

Il corso dello Staffora si presenta diviso in tre segmenti, con direzioni rispettivamente SE-NW dal margine meridionale del Foglio sino a Varzi, E-W fra Varzi e Bagnaria, nuovamente SE-NW da Bagnaria sino allo sbocco in

pianura. All'altezza di Godiasco la valle, in genere piuttosto ampia e con un fondo riempito da lembi di sedimenti terrazzati, presenta una brusca strozzatura, legata a un grande corpo di frana di età imprecisata, che interrompe la continuità laterale dei corpi sedimentari alluvionali, influenzando tutta la sedimentazione a monte. Appena a monte di Godiasco confluisce il bacino laterale dell'Ardivestra, che meandreggia entro una valle stretta, orientata circa E-W; a S di questa, all'altezza di Ponte Nizza, confluisce la Val di Nizza, altro asse di drenaggio locale ad analogo orientamento. Sia nella valle principale che in quelle tributarie sono presenti lembi isolati di depositi alluvionali reincisi e sospesi a varie quote sul fondovalle attuale. Non essendo stati descritti profili di alterazione, risulta impossibile qualsiasi correlazione tra tali lembi e i depositi allo sbocco in pianura. Essi vengono quindi descritti come unità a sé stanti, legate al bacino locale dello Staffora e ai suoi sottobacini.

A W dello Staffora, la valle del Curone, a decorso SE-NW, appare strozzata verso la pianura dalla soglia in roccia di Barca, appena a E del limite del Foglio; anche in questo caso, qualsiasi correlazione con le unità di pianura risulta problematica. I ridotti lembi di depositi presenti nel fondovalle vengono quindi descritti come unità locali relative a questo bacino.

Verso E, il corso del Tidone entra nel Foglio all'altezza di Romagnese, scendendo verso NW, quindi devia per un breve tratto assumendo decorso SW-NE oltre la località le Moline, per poi tornare, fuori dal Foglio, con decorso WNW-ESE. La presenza dell'invaso artificiale di Trebecco costituisce un elemento di discontinuità entro il tratto intermedio, interrompendo la continuità dei lembi di depositi alluvionali presenti nel fondovalle. Essi continuano nel limitrofo Foglio 179-Ponte dell'Olio (Servizio Geologico d'Italia, 2005; Di Dio *et alii*, 2005) ove vengono attribuiti a AES_8, unità riferita all'intervallo Pleistocene superiore postglaciale - Olocene. Nel presente Foglio si mantiene tale attribuzione cronologica, riferendo quindi i depositi del fondovalle del Tidone al sintema del Po, unità estesa a tutti i bacini idrografici e che copre tale intervallo stratigrafico.

In generale, tutto il reticolato idrografico si presenta segmentato in tratti con orientazioni ricorrenti, legate alle fasi di strutturazione recente della catena. Analogamente, la conformazione degli spartiacque, sovente incisi da selle, e la morfologia subpianeggiante di alcune aree in quota, appaiono controllate da movimenti neotettonici. L'importanza di tali indizi per ricostruire l'evoluzione recente del territorio giustifica l'approfondimento di tali tematiche in dettaglio, e con riferimento al più ampio contesto regionale dello sperone di Stradella.

2.7.1.1. - Catture fluviali e deviazioni brusche di corsi d'acqua

L'andamento irregolare dei corsi d'acqua, che evidenziano anche in pianta gomiti di deviazione fluviale, nonché la posizione di selle e paleosuperfici ha portato a ricostruire le modificazioni dei corsi d'acqua imputando la causa delle

PROGETTO CARG

loro variazioni planimetriche a movimenti differenziali dell'area (Pasquini & Vercesi, 2007a, 2007b) (Fig. 8).

Con l'emersione post-messiniana si impostano il primo reticolato idrografico e i bacini dei corsi d'acqua occidentali che fluivano verso W-NW.

Tra il Pliocene e il Pleistocene medio, si verifica un sollevamento che coinvolge il margine occidentale dell'Arco Emiliano, corrispondente all'area mediana dell'arco strutturale di Pavia (Gobetti & Perotti, 1990) e un contemporaneo abbassamento differenziale interessante i settori occidentali e sud-orientali. Questa configurazione dell'area è testimoniata, tra l'altro, dal gomito di deviazione dei torrenti Staffora, Ardivestra e Curone (nel limitrofo Foglio 196-Cabella Ligure) verso SW.

PROGETTO

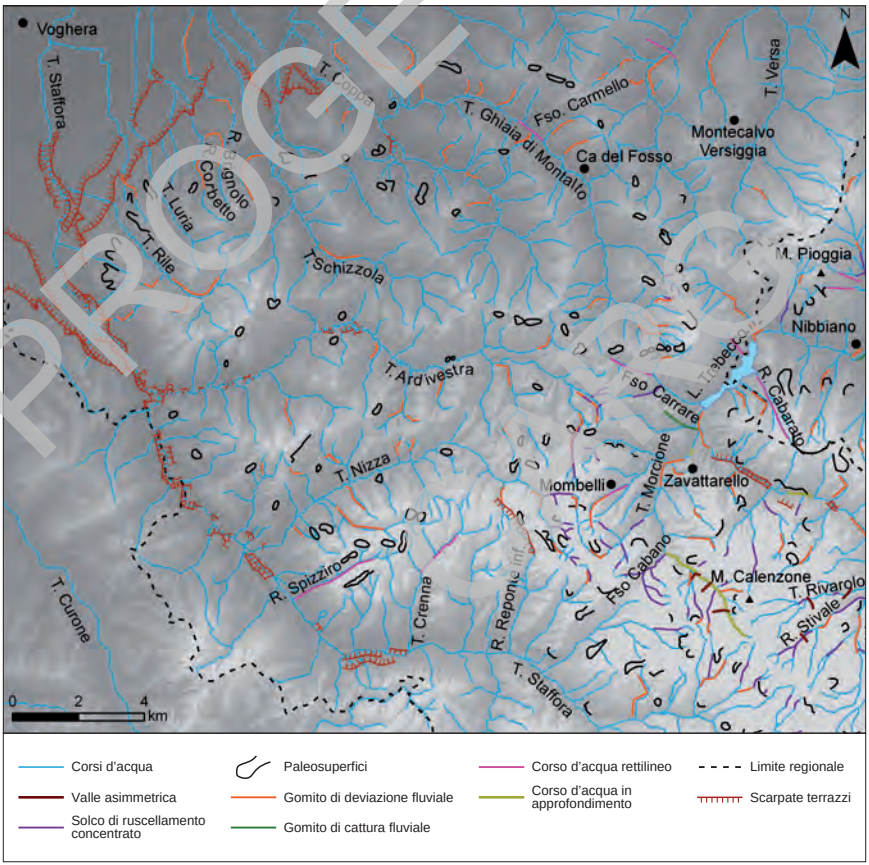


Fig. 8 - *Quadro sintetico del reticolato idrografico con evidenziati i principali elementi morfoneotettonici (Pasquini & Vercesi, 2007b, modificato).*

Gli aggiustamenti isostatici e tettonici del Pleistocene medio-superiore portano da un lato al continuo innalzamento della catena e dall'altro all'abbassamento del settore nord-occidentale, di entità maggiore in prossimità della pianura (Arca & Beretta, 1985). I corsi d'acqua con andamento circa N-S arretrano fino a catturare il T. Staffora e il T. Curone, creando l'attuale configurazione della zona occidentale.

Anche a occidente (zona del T. Curone) si ritrovano significativi indizi di movimenti post-pliocenici: il contatto tettonico tra le arenarie di Ranzano (membro di Pizzo d'Oca) e i conglomerati di Mondondone verticalizzati (litozona appartenente alle Argille Azzurre e datata al Pliocene inferiore), nonché le direzioni di scorrimento dei corsi d'acqua, disposte in modo anomalo e soggette, nel Quaternario, a cambi di direzione (Mantelli & Vercesi, 2000).

2.7.1.2. - Paleosuperfici, selle e calanchi

L'analisi delle paleosuperfici (condotta in una zona più ampia compresa tra il T. Staffora e la Val Nure (Fig. 9) (Pasquini & Vercesi, 2007a) ha permesso di ricostruire l'evoluzione paleoaltimetrica del margine appenninico. Le paleosuperfici si presentano sia come lembi isolati sia come digitazioni allungate verso la pianura con una direzione che segue l'arco strutturale. Sono ubicate a varie quote, appartengono a cinque ordini diversi, sono modellate generalmente in rocce di origine marina e sono incise da corsi d'acqua che ne hanno determinato lo smembramento. Generalmente sono meglio conservate nella zona orientale.

Alcune paleosuperfici sono osservabili alla sommità del "piastrone" costituito dalle arenarie di Monte Vallassa che formano la sinclinale di Pizzocorno.

Le selle riscontrate sono numerose, sia singole che in allineamento. Alcune selle osservate risultano particolarmente interessanti per la ricostruzione del reticolato idrografico pregresso: sul versante destro della Valle Ardivestra (1), a N di S. Eusebio (2), tra le valli Ghiaia e Coppa a W di Canavera (3), nei pressi del T. Versa (4) e presso il Passo di Pietragavina (5). Queste selle sono state rilevate in modo da escludere che la loro presenza sia da mettere in relazione a un cambiamento litologico o alla presenza di significativi disturbi tettonici, e quindi si ritiene siano la testimonianza del passaggio di un corso d'acqua.

L'analisi della disposizione delle paleosuperfici e delle selle nonché di altre forme anomale, tra cui allineamenti di vette e creste a sviluppo rettilineo, hanno permesso di ricostruire l'evoluzione recente dell'area (Pasquini & Vercesi, 2007a, 2007b).

Il riferimento dell'orizzonte a *Hyalinea balthica* non deformato nel sottosuolo della pianura antistante l'area di Castell'Arquato, datato a 700.000 anni BP (AQUATER, 1978), e la stima di 1 grado dell'angolo di *tilting* del membro superiore della Formazione di Castell'Arquato (affiorante nel limitrofo Foglio 180-Bardi), hanno consentito di calcolare in 0,375 mm/anno il tasso di sollevamento al margine della pianura a partire dal Pleistocene superiore.

PROGETTO CARG

Fig. 9 - *Carta delle paleosuperfici osservabili tra la Valle Staffora e la Val Nure (Pasquini & Vercesi, 2007a, modificata). In rosso è evidenziata la porzione appartenente al Foglio 178-Voghera. I numeri indicano le località riportate nel testo.*

L'angolo di inarcamento di 1 grado è confermato dalla pendenza di 0,9 gradi dell'ordine più antico (I ordine) delle paleosuperfici.

Nella zona di spartiacque tra Adriatico e Tirreno il tasso di sollevamento è di circa 1,03 mm/anno (Pasquini & Vercesi, 2007a).

L'analisi della pendenza media delle paleosuperfici mostra che questa aumenta passando dall'ordine più antico a quello più recente. Poiché la pendenza media di un determinato ordine di paleosuperfici corrisponde alla pendenza media del corso d'acqua durante il corrispondente intervallo di tempo, l'aumento della pendenza nel tempo conferma il progressivo sollevamento della struttura ricavato dai dati geologici, e il progressivo abbassamento del livello di base relativo dei corsi d'acqua.

Inoltre, la suddivisione in cinque ordini di paleosuperfici evidenzia un'evoluzione del processo di erosione dei corsi d'acqua non progressiva e regolare ma "a scatti", dove a un periodo di erosione, durante il quale si modellava una topografia a basso gradiente, seguiva un periodo di ringiovanimento della topografia, che portava a un significativo cambiamento dei livelli topografici.

Il fatto che gli ordini di paleosuperfici siano chiaramente distinguibili in tutta l'area indica che tale evoluzione non sia dovuta all'azione di singole faglie e non dipenda dal litotipo eroso ma sia controllata da fattori generali quali il sollevamento regionale e quello climatico.

I momenti di ringiovanimento potrebbero corrispondere quindi a momenti (fasi) glaciali, con accentuazione dell'abbassamento relativo del livello di base dei corsi d'acqua, mentre i periodi di formazione delle superfici subpianeggianti o a debole pendenza potrebbero corrispondere a fasi interglaciali.

Inoltre si è evidenziato un sollevamento aggiuntivo nella zona meridionale superiore a 500 m, che è stato ricondotto all'azione di faglie con andamento circa ortogonale alla direzione dei corsi d'acqua principali.

L'analisi delle pendenze ricavate dalle paleosuperfici nel bacino del F. Trebbia evidenzia situazioni anomale. Infatti, mentre per il 1° e il 2° ordine di paleosuperfici le pendenze aumentano progressivamente, quando si imposta il 3° ordine si assiste ad una diminuzione del valore di pendenza. Questa condizione mette in luce una variazione dell'andamento planimetrico del F. Trebbia, che può essere ricondotta al suo anomalo comportamento nei pressi di Ponte Organasco (6 in Fig. 9) dove, alla confluenza con il T. Avagnone (7 in Fig. 9), disegna un secco gomito a 90°, passando da un andamento circa S-N ad un andamento circa W-E.

L'analisi delle paleosuperfici evidenzia che a livello del 2° ordine il F. Trebbia (8 in Fig. 9) poteva proseguire verso N, mentre a partire dal 3° ordine si evidenzia una soglia che attualmente costituisce lo spartiacque tra il T. Avagnone (7 in Fig. 9) e il T. Montagnola (9 in Fig. 9).

2.7.2. - *Area pedemontana*

Verso l'angolo nord-occidentale del Foglio, al piede dei rilievi appenninici propriamente detti, si estende una fascia, larga dai due ai tre km e a decorso circa

PROGETTO CARG

SW-NE, caratterizzata da basse alture costituite in gran parte da depositi continentali pleistocenici e dalle successioni marine plioceniche, sollevati durante le fasi più recenti o subattuali di strutturazione del fronte della catena, e reincisi dai corsi d'acqua principali, nonché da tutta una serie di corsi d'acqua minori, di ridotta lunghezza e a carattere locale (Fig. 7: 2a, b).

Complessivamente il settore è solcato dai grandi incisi dello Staffora, a W, e da quelli del Rile, dello Schizzola e del Coppa, che ne interrompono la continuità laterale. A questi ultimi sono sottesi bacini idrografici che non superano i 100 km^2 di area, risultando delimitati verso meridione dalla dorsale che da Monte Lupo - Monte Castello - Monte Chiaro si estende verso oriente sino agli abitati di Villa dei Cavalieri, Torre degli Alberi, Pometo, Cà Albertini. Tale assetto influisce sia sull'entità del trasporto solido da parte di questi corsi d'acqua, sia sulla composizione petrografica dei sedimenti, che risultano caratterizzati dalle sole litologie affioranti nella porzione più distale del rilievo appenninico.

Fra questi corsi d'acqua principali il fronte collinare si presenta ulteriormente segmentato da tutta una serie di incisi torrentizi e valloni, con una morfologia complessivamente molto articolata, condizionata dalla facile erodibiltà del substrato pleistocenico, costituito da depositi relativamente poco cementati, e dalle sviluppate coltri di alterazione.

Nel dettaglio si possono riconoscere due gradini morfologici principali, omogenei per quote e caratteristiche:

a) una fascia compresa a SW, in sinistra dello Staffora, fra i 200 e i 340 m s.l.m., che si abbassa nel settore centrale, fra i 150 e i 250 m s.l.m., e degrada verso NE sino a quote comprese tra i 100-110 m circa e i 150 m s.l.m., in corrispondenza di Montebello della Battaglia (nel limitrofo Foglio 160-Pavia). Essa è costituita da rilievi a profilo arrotondato e spesso con relitti di superfici sommitali, lungo i quali sono conservati depositi continentali profondamente alterati, con profili troncati e spesso ridotti agli orizzonti più profondi, caratterizzati da ciottoli residuali.

Caratteristica è qui la presenza di una netta discontinuità morfologica, posta a quote maggiori in destra idrografica dello Staffora e che si attesta attorno ai 200 m di quota nel settore fra lo Staffora e lo Schizzola. Essa è evidenziata da lembi di superfici sospese o da nette riduzioni di pendenza dei crinali che separano le singole vallecole, quali quelle ben visibili lungo il versante sotto Piana, sotto Boschetto delle Guardie e sotto Cadelazzi.

b) alture con ossatura in roccia, elevate al di sopra di tale lineamento morfologico, su cui poggiano lembi di depositi isolati dall'erosione successiva e completamente privi di morfologia conservata.

Complessivamente, l'intera fascia di depositi appare "aprirsi" verso NE su aree più estese, sino all'ampio e articolato altopiano fra Torrazza Coste e Montebello della Battaglia, con superfici sommitali poste mediamente attorno ai 150 m s.l.m. e profondamente reinciso dall'erosione successiva.

Tutto il settore presenta una marcata asimmetria nel profilo trasversale degli incisi torrentizi: mentre in destra idrografica sono infatti più frequenti i pendii

PROGETTO CARG

a media inclinazione, interrotti da gradini morfologici dall'orlo estremamente degradato e arrotondato, in sinistra idrografica si sviluppano scarpate subverticali caratterizzate da orli molto netti, che reincidono profondamente il piastrone di depositi continentali spingendosi sino alla successione marina sottostante. Molto evidenti a questo proposito sono le estese scarpate che delimitano verso oriente i crinali su cui sorgono l'abitato di Piana e quello di Torrazza Coste, nonché il versante sinistro dello Schizzola fra Mancapane e Montebello della Battaglia. Tale lineamento morfologico sembra indicare un basculamento di origine tettonica dell'intero settore verso il quadrante nord-occidentale, successivo alla deposizione dei corpi sedimentari più antichi.

Il netto stacco morfologico fra la fascia posta al di sotto dei 200 m circa di quota e i rilievi che emergono da essa, ben evidente da foto aerea, nonché la persistenza laterale di tale elemento, suggeriscono la presenza di due grandi fasi di sedimentazione distinte, separate da superfici erosionali che delimitano una serie di corpi sedimentari più antichi, conservati come lembi residuali, ormai svincolati dalla fisiografia attuale, alla sommità dei rilievi (gruppo di Cà d'Andrino), e un litosoma più recente, anch'esso polifasico e profondamene reinciso, che struttura l'intera fascia a quote inferiori (gruppo di Torrazza Coste).

Tutti i versanti che delimitano le aree di crinale appaiono coperti da una coltre continua e polifasica di depositi di colluvio e di colata, derivati dallo smantellamento dei prodotti di alterazione sia dei corpi quaternari che delle unità marine sottostanti. Tale copertura nasconde la base dei depositi continentali, impedendo di definirne la natura, nonché lo spessore dei depositi stessi. Essa viene quindi cartografata integralmente e attribuita al gruppo di Retorbido, rientrando nella definizione di quest'ultimo (v. paragrafo 2.7.4.).

2.7.3. - *Pianalto distale*

Si tratta di un corpo polifasico, costituito da più superfici di aggradazione, che orla la pianura, soprelevato su di essa sino a una ventina di metri. La sua superficie originaria scende dai 180 m circa verso SW – ove è conservato in limitati lembi a ridosso della fascia collinare – ai 150 m s.l.m. in corrispondenza di Codevilla, sino ai 100 m presso Genestrello, e si presenta articolata in una serie di blandi solchi, riempiti da depositi di colata successivi (gruppo di Retorbido), e di dossi allungati di altezza plurimetrica, a profilo arrotondato. Il limite verso la pianura, originariamente costituito da una superficie erosionale, è caratterizzato da un gradino morfologico ben evidente anche se molto arrotondato per via dello smantellamento successivo; solo nel tratto fra Codevilla e Cascina Fornace è conservata una scarpata erosionale più netta, riconoscibile anche da foto aerea.

L'area appare modellata su sedimenti alluvionali con alternanze di corpi ghiaiosi e orizzonti di limi e materiali fini (sintema di Codevilla), facilmente smantellabili dall'erosione, e che hanno contribuito ad alimentare le estese colate di sedimenti fini che ammantano il raccordo con la pianura (gruppo di Retorbido).

PROGETTO CARG

2.7.4. - *La pianura*

L'angolo nord-occidentale del Foglio è caratterizzato dalla piana alluvionale prevalentemente ghiaiosa dello Staffora, che scende dai 150 m di quota presso Rivanazzano, ai 90 m s.l.m. in corrispondenza di Voghera.

Entro essa si distinguono due superfici principali: quella più alta e prossimale, su cui sorge Rivanazzano, è riconoscibile in destra idrografica nel tratto fra C.na Castellina, C.na Pignolo e C.na S. Pellegrino, localmente delimitata da una scarpata di altezza metrica, talora mascherata dall'attività antropica (sintema di Rivanazzano). Quella più bassa si presenta incisa dall'alveo attuale dello Staffora, con una scarpata metrica, e presenta una pendenza complessiva verso l'esterno rispetto al corso d'acqua (sintema di Voghera).

Il raccordo fra la piana e i rilievi costituiti dai depositi continentali più antichi è caratterizzato da estese colate di sedimenti fini, con locali intercalazioni di diamicton a ciottoli residuali, derivati dallo smantellamento delle unità più antiche e delle coltri di alterazione sviluppate su di esse. Tali colate costituiscono una fascia continua, polifasica, alimentata sia dai valloni principali che dai solchi che segmentano il pianalto alla base delle colline (sintema di Codevilla). Essa è caratterizzata da pendenze ridottissime, dell'ordine di pochi gradi; nel dettaglio si presenta estremamente articolata, con blande ondulazioni a rilievo meno che metrico e avvallamenti, variazioni di pendenza ad andamento radiale che suggeriscono l'accrezione di più lobi alimentati dai singoli valloni, presenza in posizione prossimale di corpi più vecchi con pendenza maggiore, canalizzati da corpi più recenti; un esempio di quest'ultima situazione è data dal complesso "cono" su cui sorge Retorbido, caratterizzato da lobi e solchi molto pronunciati, e che appare in netto risalto rispetto all'area circostante.

I depositi di colata ammantano localmente il gradino morfologico costituito dal sintema di Codevilla e annegano, in parte, la superficie del sintema di Rivanazzano, sino ad appoggiarsi alla superficie del sintema di Voghera. In generale si presentano molto arrossati, poiché derivati dallo smantellamento di originari depositi già pedogenizzati *in situ*. Tale elemento impedisce la distinzione, sulla base dell'alterazione, di fasi più antiche rispetto a fasi più recenti; appare però evidente come tale dinamica sia stata attiva nell'area sin dall'inizio della sedimentazione continentale, e si sia protratta sino all'Olocene. Tutti questi depositi vengono quindi riuniti in un unico gruppo (gruppo di Retorbido) definito in base a litologia e modalità di messa in posto, e che comprende più unità, eterocrone fra loro.

2.8. - Inquadramento Regionale dei Depositi Continentali Quaternari del Foglio e Problemi di Correlazione

I depositi continentali quaternari del Foglio 178-Voghera sopra descritti fanno parte di una più estesa fascia pedeappenninica debolmente rilevata sulla

PROGETTO CARG

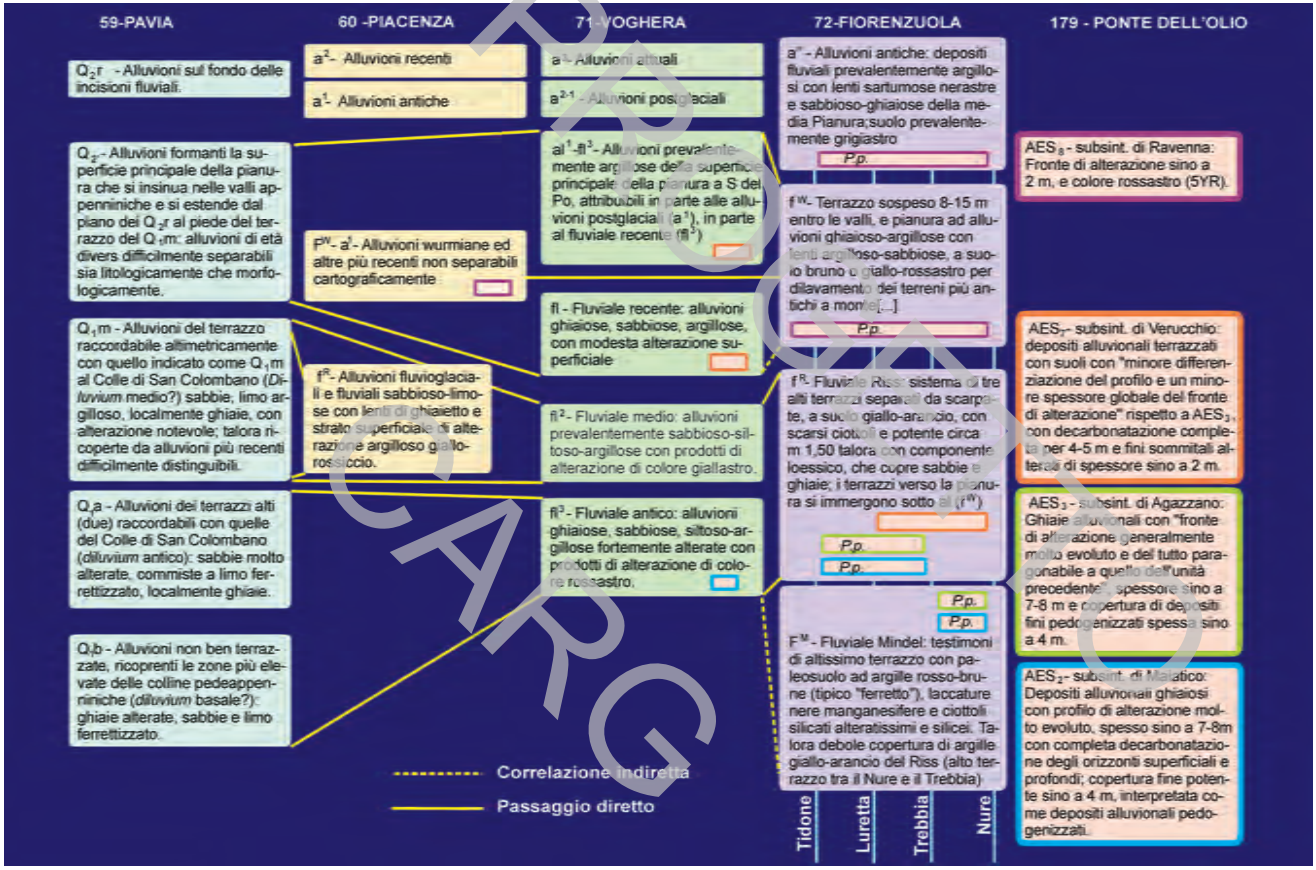
pianura, che continua nei Fogli limitrofi, nonché della relativamente ristretta fascia di pianura in sponda destra del Po; come detto, essi risentono nella loro distribuzione areale della presenza dello sperone di Stradella, il cui avanzamento verso N in tempi relativamente recenti ne interrompe la continuità laterale. Esso fa da elemento separatore fra il margine della pianura del presente Foglio e quello del limitrofo Foglio 179-Ponte dell'Olio, spingendosi ben oltre il limite settentrionale di questi, entro un'area non ancora rilevata per i nuovi Fogli in scala 1:50.000. Risulta quindi impossibile correlare direttamente i corpi sedimentari individuati nel presente Foglio con quelli già pubblicati nell'area più a E. È stato opportuno perciò analizzare in dettaglio la cartografia precedente in scala 1:100.000, redatta in momenti diversi e quindi priva di omogeneità nella definizione delle unità distinte, per vedere se fosse possibile identificare in essa singoli corpi univocamente correlabili da un lato all'altro dello sperone, da utilizzare – quasi come livello-guida – per una correlazione almeno parziale delle unità qui proposte (Tab. 1).

Nei precedenti Fogli geologici alla scala 1:100.000 (71 Voghera, Servizio Geologico d'Italia, 1969; 59 Pavia, Servizio Geologico d'Italia, 1967) viene distinto un gradino morfologico più elevato, al margine delle colline appenniniche, definito come "***fl³ - Fluviale antico:*** *alluvioni ghiaiose, sabbiose, siltoso-argillose fortemente alterate con prodotti di alterazione di colore rossastro*" (Foglio 71 Voghera), continuazione laterale di due distinti corpi precedentemente rilevati nel Foglio 59 Pavia (Servizio Geologico d'Italia, 1965; Boni, 1967): "***Q_{1b} - alluvioni non ben terrazzate****, ricoprenti le zone più elevate delle colline pedeappenniniche (*diluvium *basale?): ghiaie alterate, sabbie e limo ferretizzato*", più antico; "***Q_{1a} - alluvioni dei terrazzi alti (due)*** *raccordabili con quelle del Colle di San Colombano (*diluvium *antico): sabbie molto alterate, commiste a limo ferrettizzato, localmente ghiaie*", più recente. Nell'area dell'attuale Foglio 178-Voghera, questo livello comprende tutto il ripiano su cui sorge Torrazza Coste sino a Cadelazzi, Piane e al lembo isolato di Boffalora, con limite esterno che attraversa l'abitato di Codevilla.

A tale gradino segue nel Foglio 71 Voghera una sottile fascia fra Retorbido e Codevilla, giustapposta con un limite a tratteggio che non sembra essere legato alla morfologia, definita "***fl² - fluviale medio****: alluvioni prevalentemente sabbioso-siltoso-argillose con prodotti di alterazione di colore giallastro*"; essa chiude all'altezza di Genestrello, e non trova corrispondente nel soprastante Foglio 59 Pavia (Servizio Geologico d'Italia, 1965; Boni, 1967). Viene invece messa in evidenza qui la presenza, al piede del versante, di corpi di materiali colati dai singoli canaloni prospicienti la pianura o dalle valli, definiti "Sfatticcio argilloso e smottamenti", e che trovano un analogo corrispondente nei depositi polifasici di colata del gruppo di Retorbido distinto nel presente Foglio 178-Voghera.

Per un breve tratto, lo sperone di Stradella porta la successione marina deformata a contatto diretto con i sedimenti più recenti della pianura, mentre continuando verso E, riappaiono, quasi a ridosso del Po, i due livelli **Q_{1b}** e **Q_{1a}**. Al

PROGETTO CARG



PROGETTO CARG

piede di questi, si apre un ulteriore livello, assente invece nel settore occidentale (Foglio 71 Voghera), definito "***Q_{1m}*** *- Alluvioni del terrazzo raccordabile altimetricamente con quello indicato come Q_{1m} al Colle di San Colombano (*Diluvium *medio?): sabbie, limo argilloso, localmente ghiaie, con alterazione notevole; talora ricoperte da alluvioni più recenti difficilmente distinguibili*". Esso appare in carta inciso e terrazzato ripetutamente, e morfologicamente diverso rispetto al "fl^2 - fluviale medio" del Foglio 71 Voghera.

Di fronte a questi depositi più antichi e alterati, si apre la pianura costituita da "***Q_2*** *- Alluvioni formanti la superficie principale della pianura che si insinua nelle valli appenniniche e si estende dal piano dei Q_{2r} al piede del terrazzo del Q_{1m}: alluvioni di età diversa, difficilmente separabili sia litologicamente che morfologicamente*". Esso passa nel Foglio 71 Voghera a "***a^1-fl^3*** *- Alluvioni prevalentemente argillose della superficie principale della pianura a S del Po, attribuibili in parte alle alluvioni postglaciali (a^1), in parte al fluviale recente (fl^3)*". Manca invece nel Foglio 59 Pavia la sottile fascia parallela al margine appenninico, distinta nel Foglio 71 Voghera fra fl^2 e al^1-fl^3, definita "***fl^3*** *- Fluviale recente: alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose, con modesta alterazione superficiale*".

Nell'area a E dello sperone di Stradella, nel Foglio 72 Fiorenzuola (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Boni *et alii*, 1971), i corpi individuati nel Foglio 59 Pavia (Servizio Geologico d'Italia, 1965; Boni, 1967) sono solo in parte riconoscibili. Q_{1m} infatti in sinistra Tidone appare privo di terrazzamenti segnalati, e passa lateralmente a fl^2 (Foglio 71 Voghera); analogamente Q_{1a} passa a fl^1, mentre in destra Tidone viene evidenziato un unico grande corpo, comprendente l'intero intervallo altimetrico dei due precedenti, definito "***f^R*** *- **Fluviale Riss**: sistema di tre alti terrazzi separati da scarpate, a suolo giallo-arancio, con scarsi ciottoli e potente circa m 1,50 talora con componente loessico, che copre sabbie e ghiaie; i terrazzi verso la pianura si immergono sotto al (f^w)*". Dalla descrizione si intuisce quindi come tale unità possa conglobare le unità riconosciute nei due Fogli a occidente. Fra Tidone e Trebbia essa poggia su di un'unità più antica e sepolta, segnalata in alcuni incisi come "***f^M***".

Spostandosi lungo il margine dell'Appennino, in destra Trebbia quest'ultima assume le caratteristiche di un livello terrazzato più vecchio, che comprende sia una fascia altimetrica in cui in sponda sinistra è cartografato f^R (170-240 s.l.m.), sia la fascia altimetrica successiva sino a quota 300 m circa. Essa è definita come "***f^M*** *- **Fluviale Mindel**: testimoni di altissimo terrazzo con paleosuolo ad argille rosso-brune (tipico " ferretto"), laccature nere manganesifere e ciottoli silicati alteratissimi e silicei. Talora debole copertura di argille giallo-arancio del Riss (alto terrazzo tra il Nure e il Trebbia)*".

Tab. 1 - *Quadro delle corrispondenze fra corpi sedimentari continentali quaternari cartografati nei fogli alla scala 1:100.000 dell'area: 59 Pavia, 60 Piacenza, 71 Voghera, 72 Fiorenzuola d'Arda e relazioni con le unità distinte nel limitrofo Foglio 179-Ponte dell'Olio in scala 1:50.000 (pagina a lato).*

PROGETTO CARG

Sempre a E di Stradella, l'unità più recente nel Foglio 71 Voghera, **a^1-fl^3**, continua come **f^W** nel Foglio 72 Fiorenzuola (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Boni *et alii*, 1971), definito come: "*fluviale Würm: terrazzo sospeso 8-15 m entro le valli, e pianura ad alluvioni ghiaioso-argillose con lenti argilloso-sabbiose, a suolo bruno o giallo-rossastro per dilavamento dei terreni più antichi a monte; esso sfuma a N nell'a' ed è comprensivo del fluviale-pluviale Würm e del pl.-fl. tardowürmiano"* del Foglio 73 Parma (Servizio Geologico d'Italia, 1964; Medioli *et alii*, 1967). La medesima superficie diviene "*f^W-a^1: alluvioni würmiane e altre più recenti non separabili cartograficamente*" nel Foglio 60 Piacenza (Servizio Geologico d'Italia, 1967; Anfossi *et alii*, 1971), confermando l'estrema difficoltà di distinguere entro le fasi sedimentarie del Pleistocene superiore - Olocene. Il livello olocenico **a'** viene distinto solo a partire dal bacino del Trebbia.

Il Foglio immediatamente a oriente del presente Foglio 178-Voghera, il Foglio 179-Ponte dell'Olio (Servizio Geologico d'Italia, 2005; Di Dio *et alii*, 2005), comprende parte del vecchio Foglio 72 Fiorenzuola (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Boni *et alii*, 1971). In esso si riconoscono a grandi linee i corpi distinti nel Foglio più antico, anche se cambiano le ripartizioni, essendo mutato a monte anche il tipo di approccio. Mentre nei Fogli antichi infatti si considerano unità informali individuate con criteri ibridi (geoclimatico: Würm, Riss; morfologico-altimetrico: terrazzate, non ben terrazzate; pedologico *s.l.*: alterazione, *loess*, colore etc.), nella nuova cartografia al 50.000 vengono introdotte le UBSU, conformemente alle indicazioni del Servizio Geologico d'Italia.

Tutti i depositi continentali quaternari vengono quindi considerati entro la Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico, entro cui viene distinto un Supersintema Emiliano-Romagnolo, comprendente depositi dal Pleistocene medio all'Olocene, deposti in discordanza sul Supersintema del Quaternario Marino.

I depositi affioranti – ad esclusione di quelli degli alvei attuali (recenti e in evoluzione) – vengono riuniti tutti nel **Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore** (AES), discordante ed erosivo sul Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, sepolto. Si sottolinea come in questa scansione della successione stratigrafica sia evidente l'uso di UBSU *sensu stictu*, ovvero corpi rocciosi delimitati da definite, significative e dimostrabili superfici di discontinuità di estensione regionale (ISSC, 1994).

Unità alluvionale terrazzata, AES viene a sua volta suddivisa in subsintemi, "distinti su base morfo-pedostratigrafica".

Dal confronto delle due carte, 179-Ponte dell'Olio e 72 Fiorenzuola, appare evidente la maggior cura posta nel distinguere le scarpate erosionali che separano corpi diversi, "terrazzando" via via i più vecchi; questo porta al riconoscimento di più superfici deposizionali e allo smembramento delle vecchie partizioni, tanto da perdere qualsiasi equivalenza fra le unità riconosciute e grossomodo correlabili da un Foglio all'altro della vecchia cartografia 1:100.000, e quelle proposte in quella nuova.

Viene così riconosciuto un livello più alto e antico, definito **AES_2 - Subsintema di Maiatico**, comprendente aree terrazzate entro le quote 150-380 m

PROGETTO CARG

s.l.m., incise e basculate verso NNE, costituite da depositi alluvionali ghiaiosi con profilo di alterazione molto evoluto, spesso sino a 7-8 m con completa decarbonatazione degli orizzonti superficiali e profondi. È segnalata inoltre una copertura fine potente sino a 4 m, interpretata come depositi alluvionali pedogenizzati. Esso comprende, da W verso E: la porzione in sinistra Tidone di fl^1 nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000; un'unghia a ridosso del substrato marino fra Tidone e Luretta, attribuita a f^R nel Foglio 72 Fiorenzuola; quasi tutto il corpo f^R fra Luretta e Trebbia; la parte alta del corpo f^M fra Trebbia e Nure.

Incassato in questa prima unità, si estende **AES_3 - Subsintema di Agazzano**, comprendente aree terrazzate basculate verso NNE con pendenza inferiore rispetto a AES_2, comprese entro le quote 105-225 m s.l.m. Esse sono costituite da ghiaie alluvionali, con "fronte di alterazione generalmente molto evoluto e del tutto paragonabile a quello dell'unità precedente", con spessore sino a 7-8 m e copertura di depositi fini pedogenizzati spessa sino a 4 m. Esso viene attribuito interamente al Pleistocene medio. AES_3 comprende la rimanente parte delle superfici attribuite a f^R e f^M nel Foglio precedente.

Ambedue le unità sono sottese a una fisiografia profondamente articolata, con un drenaggio minore molto fitto, caratterizzato da numerosi solchi torrentizi subparalleli, separati da interfluvi piatti e arrotondati. Essa appare confrontabile con la fisiografia della fascia pedemontana del presente Foglio, estesa fra Genestrello, Torrazza Coste, Retorbido, e da Salice sino a Cà Bedaglia.

Entro queste superfici terrazzate di estensione triangolare limitate agli interfluvi, si estende la pianura propriamente detta. Entro essa viene distinta una fascia prossimale, segmentata dai grandi corsi d'acqua, attribuita a **AES_7 - Subsintema di Verrucchio**, e suddivisa su base morfologica e pedostratigrafica in due Unità, AES_{7a} e AES_{7b}.

AES_{7a} comprende depositi alluvionali terrazzati caratterizzati da suoli con "minore differenziazione del profilo e un minore spessore globale del fronte di alterazione" rispetto a AES_3, con decarbonatazione completa per 4-5 m e fini sommitali alterati di spessore sino a 2 m. Viene datata al Pleistocene superiore, e comprende, in sinistra Tidone un lembo di fl^2 (Foglio 71 Voghera), fra Luretta e Trebbia e ulteriormente a E la parte distale di f^R (Foglio 72 Fiorenzuola).

AES_{7b} invece corrisponde a fl^3 e a^1-fl^3 del Foglio 71 Voghera, ed è definita come con fronte di alterazione sino a 2 m, e colore rossastro (5YR); anch'essa viene riferita al Pleistocene superiore.

L'unità più recente, a ridosso dei sedimenti degli alvei attuali, è infine **AES_8 - Subsintema di Ravenna**, con profilo di alterazione che non supera il metro di spessore, e di età sino a olocenica.

2.8.1. - *Considerazioni conclusive e unità usate per i depositi continentali del Foglio*

Come si vede dalla tabella di correlazione (Tab. 1), non esiste alcuna esatta corrispondenza fra le unità distinte nel limitrofo Foglio 179-Ponte dell'Olio

PROGETTO CARG

(Servizio Geologico d'Italia, 2005; Di Dio *et alii*, 2005) e quelle individuate per le medesime aree nei vecchi Fogli alla scala 1:100.000. Inoltre anche nell'ambito della vecchia cartografia in scala 1:100.000, che copre l'intero settore sino al Po, sussistono ambiguità fra un Foglio e l'altro nella definizione delle singole unità distinte.

L'analisi critica di quanto definito dai rilevatori precedenti permette quindi di escludere qualsiasi possibilità di correlazione indiretta dei corpi sedimentari identificati al di qua e al di là dello sperone di Stradella, seguendo eventuali corpi geologici identificati univocamente entro i Fogli 1:100.000 che coprono anche la fascia più a N.

Si è scelto quindi di svincolarsi dalle suddivisioni proposte per il limitrofo Foglio 179-Ponte dell'Olio, abbandonando l'accorpamento delle unità in un unico supersintema esteso a tutti i depositi continentali sino al postglaciale, che avrebbe successivamente creato problemi per le correlazioni con le analoghe unità in sponda sinistra del Po.

I sedimenti continentali presenti entro l'area del Foglio non sono accorpabili entro singole grandi superfici di discontinuità a carattere regionale, quali quelle proposte nei Fogli più a E. In molti casi la superficie limite inferiore è una superficie erosionale che si incide entro la successione marina sottostante, troncando anche la base dei corpi continentali precedenti; la "superficie teorica" che delimita la base dell'intero corpo del "continentale pleistocenico-olocenico *p.p.*" appare qui piuttosto come una superficie polifasica, costituita dall'inviluppo di più superfici successive, quindi non isocrone, ciascuna con caratteristiche diverse.

Vengono usate per i depositi più recenti unità stratigrafiche a limiti inconformi (UBSU), pur tenendo conto della non piena applicabilità della definizione di queste (ISSC, 1994) ai depositi continentali cartografati.

Le caratteristiche dei corpi cartografati sono infatti molto simili a quelle previste dall'Allostratigrafia (NASC, 1983), soprattutto per quanto concerne natura, estensione, riconoscimento e rango delle superfici-limite che identificano le varie unità, tanto da rendere queste ultime confrontabili piuttosto con le "allounità" già utilizzate nella banca dati geologica di Regione Lombardia per l'area in sinistra idrografica del Po (Bini *et alii*, in stampa). Rispetto alle UBSU infatti, le superfici di discontinuità che delimitano superiormente e inferiormente queste unità del Quaternario continentale differiscono per le seguenti caratteristiche:

- non corrispondono necessariamente ad *unconformity*;
- non sono quasi mai entrambe identificabili, ma sono più frequentemente solo tracciabili per interpolazione;
- solo raramente hanno estensione regionale, come invece è previsto "preferibilmente" per le UBSU (Bini *et alii*, 2004).

Per i corpi più antichi conservati in lembi entro la fascia pedemontana, nonché per i depositi di colata polifasici ubiquitariamente presenti lungo tutta la fascia pedemontana, vengono invece usate unità litostratigrafiche, in quanto definite essenzialmente in base a litologia (alteriti su depositi alluvionali) e posizione stratigrafica.

PROGETTO CARG

Viene inoltre distinta una successione relativa al bacino del Po, estesa sino allo sbocco dei bacini laterali, e non correlabile direttamente con i depositi presenti all'interno delle valli, a monte delle soglie morfologiche sopra citate (di Barca per il bacino del Curone e di Godiasco per lo Staffora). Per questi ultimi si fa quindi riferimento a successioni di significato locale, distinte a scala di singolo bacino. Viene considerato inoltre come bacino a sé stante tutto il riempimento alluvionale, presumibilmente terrazzato e polifasico, presente entro il fondovalle del Coppa e dello Schizzola (sintema di Rivazza), in quanto troncato distalmente dal margine settentrionale del Foglio e quindi non correlabile ad alcuna delle unità riconosciute per l'asse padano principale.

I depositi olocenici sino ad attuali in tutte le loro facies vengono qui attribuiti al sintema del Po, unità estesa a tutto il grande bacino idrografico padano lombardo e veneto, comprensivo di tutti i suoi affluenti, e già riconosciuto nei Fogli in sponda sinistra del fiume nei Fogli lombardi e veneti; ciò in quanto tali depositi rappresentano sia per intervallo cronologico che per facies l'equivalente transpadano di tale unità, già definita sull'altra sponda.

PROGETTO CARG

PROGETTO
CARG

PROGETTO CARG

III - STRATIGRAFIA

1. - UNITÀ SUBLIGURI

1.1. - Unità Tettonica Canetolo: Sottounità Tettonica Penice

La Sottounità tettonica Penice è presente al margine sud-orientale del Foglio, dove viene in contatto con l'Unità Cassio. Il contatto è di natura tettonica e avviene lungo una superficie fragile con una cinematica complessa a basso angolo. Nel Foglio 178-Voghera la Sottounità Penice è costituita solo dal flysch di Monte Penice (Paleocene superiore - Eocene medio); essa è confrontabile con l'Unità Canetolo (Elter *et alii*, 1964) appartenente al Dominio Subligure.

1.1.1. - *Flysch di Monte Penice* (**PEN**)

Unità torbiditica calcareo-marnosa di età Paleocene superiore - Eocene medio (cfr. Formazione di M. Penice, Bellinzona *et alii*, 1968; Plesi, 1974, 1975), che affiora nell'angolo sud-orientale del Foglio, nei pressi del paese di Vigomarito e lungo la SP 461 nei pressi del Passo Penice.

In origine, la Formazione di Monte Penice fu suddivisa in due membri: "calcare e argilla di S. Maria" (membro inferiore) e "alberese di Penice" (membro superiore); Elter *et alii* (1997) nel Foglio 197-Bobbio eliminano tale distinzione, perché ritengono che il membro inferiore rappresenti, in realtà, una litofacies che si presenta a più livelli stratigrafici.

A tal proposito si ricorda che in Val Nure (zona a E di Selva) si può osservare il passaggio stratigrafico tra il sottostante "alberese di Penice" e il "calcare e argilla di Santa Maria" (Perotti *et alii*, 1989).

Il flysch di Monte Penice è costituito dall'alternanza di calcari marnosi, calcari e marne chiare. Gli strati sono generalmente spessi e molto spessi, fino a banchi, e presentano basi arenitiche medio-fini, talvolta biocalcarenitiche con rare nummuliti e discocicline. Sono inoltre presenti, in via subordinata, torbiditi silicoclastiche pelitico-arenacee in strati da sottili a medi e rari strati di emipelagiti scure prive di carbonati.

Nell'area del Foglio lo spessore dell'unità non è valutabile in quanto il limite superiore è di natura tettonica. Nel limitrofo Foglio 179-Ponte dell'Olio (Servizio Geologico d'Italia, 2005; Di Dio *et alii*, 2005) è stato stimato uno spessore di almeno 800 m, includendo anche la litofacies del calcare e argilla di S. Maria, non presente in questo Foglio.

Attribuzione cronologica. L'età dell'unità, determinata nel limitrofo Foglio 197-Bobbio (Servizio Geologico d'Italia, 1997; Elter *et alii*, 1997), è compresa tra il Paleocene superiore e l'Eocene medio (biozone NP9 - NP15).

2. - UNITÀ LIGURI

2.1. - Unità Tettonica Bettola

L'Unità tettonica Bettola comprende il flysch di Bettola (Campaniano superiore - Paleocene basale) e la Formazione di Val Luretta (Paleocene inferiore - Eocene medio). Nell'ambito del Foglio il flysch di Bettola è presente solo nella finestra tettonica di Canavera e in una piccola area sulla sponda occidentale del Lago di Trebecco, mentre la Formazione di Val Luretta occupa l'intera porzione nord-orientale del Foglio. In generale, sull'Unità tettonica Bettola sovrascorrono le Unità tettoniche Groppallo e Cassio, come si vede in particolare nella zona del Lago di Trebecco. Nelle restanti parti del Foglio, tale contatto tettonico è mascherato dalle unità caotiche della Successione Epiligure.

2.1.1. - *Flysch di Bettola* (**BET**)

Il flysch di Bettola corrisponde ai "calcari di Bettola" di Braga (1965). Nell'area del Foglio affiora esclusivamente nei pressi di Canavera e in Valle Ghiaia di Montalto in corrispondenza della confluenza del Fosso Gonelin, in un contesto di finestra tettonica. Nel Foglio 71 Voghera (Servizio Geologico d'Italia, 1969) era stato cartografato come Formazione di Val Luretta.

È costituito da calcari marnosi chiari, talora a base calcarenitica, associati a marne e marne calcaree, in strati da spessi a molto spessi. Si tratta di sequenze torbiditiche calcareo-marnose in facies di flysch ad Elmintoidi.

Data la condizione degli affioramenti non è possibile valutarne lo spessore. Nel limitrofo Foglio 179-Ponte dell'Olio (Servizio Geologico d'Italia, 2005;

PROGETTO CARG

Di Dio *et alii*, 2005) viene stimato in qualche centinaio di metri.

Attribuzione cronologica. I campioni prelevati nell'area del Foglio sono risultati sterili o poco significativi. Datazioni effettuate nei Fogli vicini (Di Dio *et alii*, 2005) consentono di attribuire l'unità all'intervallo Campaniano superiore - Paleocene basale.

2.1.2. - *Formazione di Val Luretta* (**VLU**)

La Formazione di Val Luretta corrisponde ai "Calcari di Pietra de' Giorgi" (Braga, 1965; Boni, 1967; Servizio Geologico d'Italia, 1965) ed è costituita da torbiditi in strati arenaceo-marnosi e calcareo-marnosi di età Paleocene inferiore - Eocene medio. Essa è stata istituita da De Rosa *et alii* (1966) e suddivisa in due membri, rispettivamente membro di Poviago alla base e membro di Monteventano al tetto; la revisione operata da Cobianchi *et alii* (1995) ha introdotto un nuovo membro sommitale denominato membro di Genepreto. L'unità è stata formalizzata in Delfrati *et alii* (2000).

Nel Foglio 178-Voghera, nonostante le limitate e sporadiche esposizioni e restando difficoltoso il tracciamento dei limiti litostratigrafici tra i membri, viene mantenuta tale tripartizione anche sulla base degli esiti delle analisi biostratigrafiche condotte.

Il membro di Genepreto affiora nella parte nord-orientale del Foglio lungo una fascia diretta NW-SE tra gli abitati di Lirio e Golferenzo; il membro di Monteventano affiora nell'angolo nord-orientale del Foglio, a NE di Pinerolo e a N di Spagna; il membro di Poviago affiora a S dei due precedenti (loc. Caseo).

2.1.2.1. - Membro di Poviago (**VLU_1**)

Il membro di Poviago si presenta in strati arenaceo-pelitici medi e spessi, localmente molto spessi, di origine torbiditica, quasi sempre molto deformati (Fig. 10). Esso è costituito da arenarie grigio-nocciola medie e fini e da marne e marne siltose grigio-verdastre, con un rapporto arenaria/pelite >1. Intercalati ad esse, si distinguono 4 livelli di marne rosate in strati molto spessi e banchi. La base (Di Dio *et alii*, 2005) è caratterizzata dal passaggio per alternanze ai litotipi del sottostante flysch di Bettola, costituiti da calcari e calcari marnosi bianchi a base calcarenitica. In località Caseo è presente una limitata successione con livelli arenitici e calcarenitici affioranti, che non sono stati campionati in quanto ritenuti non idonei per la datazione con il nannoplancton. Essi sono stati comunque attribuiti, per la loro facies, al membro di Poviago. Sempre nella suddetta località è visibile il limite tra il membro di Poviago e la Formazione di Antognola, che affiora anch'essa per breve tratto e che è stata oggetto di campionamento (si veda paragrafo 4.4).

Lo spessore viene stimato tra i 200 e i 300 m.

PROGETTO CARG

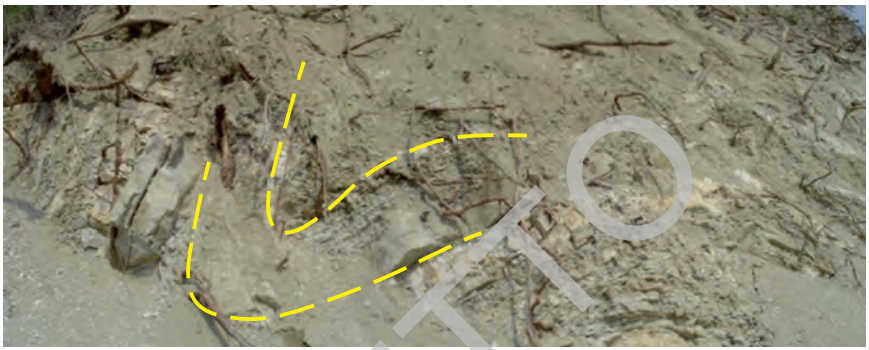


Fig. 10 - *Piega rovescia entro il membro di Poviago della Formazione di Val Luretta in località Caseo (Valle Versa).*

Attribuzione cronologica. Sulla base dei dati provenienti dal limitrofo Foglio 179-Ponte dell'Olio (Servizio Geologico d'Italia, 2005; Di Dio *et alii*, 2005), l'età del membro è riferita al Daniano - Thanetiano.

2.1.2.2. - Membro di Monteventano (**VLU$_2$**)

Il membro intermedio, fondamentalmente arenaceo-pelitico, si differenzia sostanzialmente dal precedente per l'assenza di marne rosate e per il progressivo arricchimento verso l'alto in strati calcarei e calcareo-marnosi da medi a molto spessi.

Il membro di Monteventano è stato osservato con un buon dettaglio a W dell'abitato di Molgheto (Valle Ghiaia di Montalto) (Fig. 11) su un fronte di cava.

L'analisi dei campioni raccolti ha mostrato un abbondante rimaneggiamento cretacico e daniano dei nannofossili. La forma più recente osservata è *Ericsonia formosa* (Kamptner) che compare nell'Ypresiano superiore, ma che, essendo specie ad ampia distribuzione stratigrafica, non consente una precisa attribuzione zonale. I foraminiferi planctonici sono rarissimi e mal conservati, le uniche specie riconosciute sono *Acarinina bulbrooki* (Bolli) e *Globanomalina pseudoscitula* (Glaessner) entrambe distribuite nell'Eocene inferiore e medio. L'integrazione dei dati micropaleontologici non permette un'attribuzione cronostratigrafica certa, in ogni caso l'età della sezione non può essere più antica dell'Ypresiano superiore.

Lo spessore è stato misurato nel limitrofo Foglio 179-Ponte dell'Olio (Servizio Geologico d'Italia, 2005; Di Dio *et alii*, 2005) in 230 m.

Attribuzione cronologica. L'integrazione dei dati provenienti sia da letteratura (Di Dio *et alii*, 2005) sia dalle analisi condotte sul Foglio 178-Voghera consente di riferire l'età del membro al Thanetiano - Ypresiano.

PROGETTO CARG

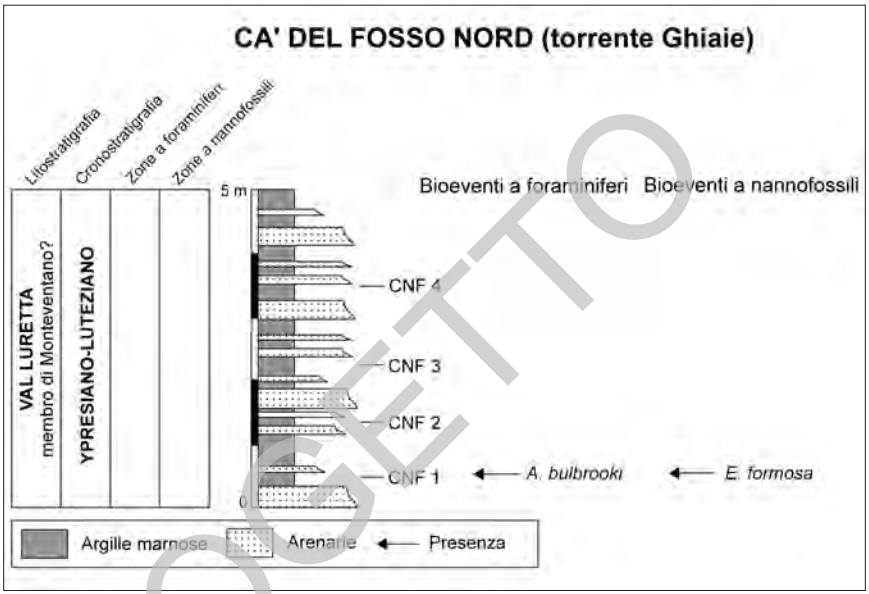


Fig. 11 - *Sezione di campionamento della Formazione di Val Luretta in località Cà del Fosso Nord.*

2.1.2.3. - Membro di Genepreto (**VLU_3**)

Il membro sommitale è costituito in prevalenza da calcari e calcari marnosi, talora a base calcarenitica, associati a marne e marne calcaree grigio chiare, in strati da medi a molto spessi. Localmente sono presenti intercalazioni di arenarie grossolane e medie grigio scure in strati medi, e di marne argillose grigio-verdastre e rosso-vinate in strati medi e spessi (Fig. 12).

Il membro di Genepreto è stato osservato con un buon dettaglio a S dell'abitato di Lirio (Valle Scuropasso) in corrispondenza della ex-cava Palazzina dove è stata campionata la sezione riportata in figura 13, e presso Case Chiapponi, dove è stata campionata una seconda sezione (Fig. 14).

Si tratta di sezioni di limitata estensione ma che nel contesto generale, che è decisamente carente di affioramenti, costituiscono significativi elementi di riferimento.

Le associazioni a nannofossili rinvenute nella sezione in località Cava Palazzina sono caratterizzate dalla presenza di numerose specie attribuibili al genere *Discoaster* ed in particolare alla specie *D. sublodoensis* Bramlette & Sullivan in associazione con *Ericsonia formosa* (Kamptner), *Sphenolithus primus* Perch-Nielsen, *S. anarrhopus* Bukry & Bramlette, *S. editus* Perch-Nielsen e *S. radians* Deflandre, frequenti *Zeughrablithus bijugatus* Deflandre. L'associazione ed in particolare la presenza del *marker D. sublodoensis* hanno permesso

PROGETTO CARG

Fig. 12 - *Affioramento della Formazione di Val Luretta in località Cava Palazzina: particolare delle intercalazioni di marne rosso-vinate nel membro di Genepreto in Valle Scuropasso.*

PROGETTO CARG

di attribuire il tratto di successione campionata alla zona NP14-Ypresiano (Martini, 1971).

Le associazioni a foraminiferi invece sono caratterizzate dalla presenza di *Morozovella aragonensis* (Nutt.) e *Acarinina soldadoensis* Bronniman. Sono inoltre presenti in associazione *Morozovella lensiformis* Subbotina, *M. caucasica* Glaessner e *Acarinina pentacamerata* Subbotina. Dal punto di vista biostratigrafico la sezione è attribuibile alle zone E6-E7 indifferenziate (Berggren & Pearson, 2005).

L'integrazione dei dati micropaleontologici permette di datare la sezione all'Ypresiano sommitale.

Presso Case Chiapponi (Fig. 14) sono stati raccolti 6 campioni denominati progressivamente CC1-CC6. Il contenuto in nannofossili è caratterizzato da associazioni abbondanti e ben diversificate nei campioni CC2-CC5; i campioni CC1 e CC6 sono invece risultati sterili. Da CC2 a CC4 sono presenti in associazione frequenti *Discoaster sublodoensis* Bramlette & Sullivan, *D. lodoensis* Bramlette & Riedel, *D. kuepperi* Stradner, *D. gemmeus* Stradner, *D. diastypus* Bramlette & Sullivan in associazione con *Ericsonia formosa* (Kamptner), *Sphe-*

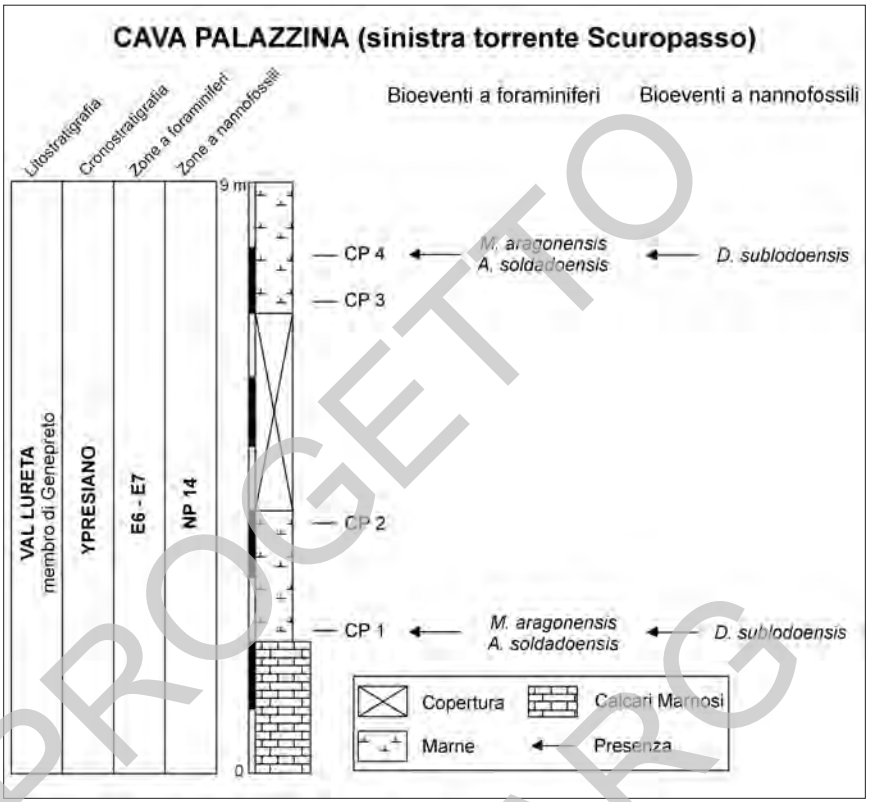


Fig. 13 - *Sezione di campionamento della Formazione di Val Lureta (membro di Genepreto) in località Cava Palazzina.*

nolithus radians Deflandre, *Chiasmolithus* spp. Nel campione CC5 compare *Nannotetrina* sp. Pertanto è possibile correlare l'intervallo sino al campione CC4 alla zona NP14 (Martini, 1971) e la parte alta della sezione alla zona NP15. I foraminiferi sono caratterizzati dalla presenza di *Morozovella aragonensis* (Nutt.) e *Guembelitroides higginsi* in associazione con *Morozovella caucasica* Glaessner, *Acarinina pentacamerata* Subbotina e a partire dal campione CC4 *Globogerinatheka mexicana kugleri* (Bolli, Loeblich & Tappan). Tali associazioni sono riferibili alle zone E8-E9 (Berggren & Pearson, 2005). L'età della sezione è riferibile al Luteziano.

Lo spessore è stimabile nell'area del Foglio intorno ai 200 m.

Attribuzione cronologica. L'integrazione dei dati provenienti sia da letteratura (Di Dio *et alii*, 2005) sia dalle analisi condotte sul Foglio 178-Voghera determina un'età riferibile all'Ypresiano *p.p.* - Luteziano.

PROGETTO CARG

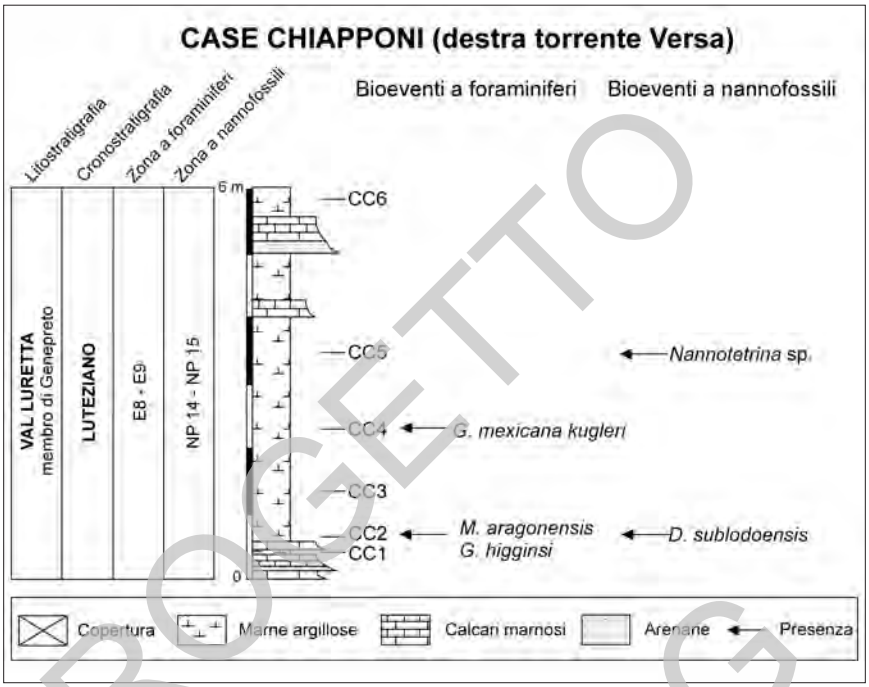


Fig. 14 - *Sezione di campionamento della Formazione di Val Luretta (membro di Genepreto) in località Case Chiapponi.*

2.2. - Unità Tettonica Groppallo

2.2.1. - *Complesso di Pietra Parcellara* (**CPP**)

Nel Foglio 178-Voghera sono stati attribuiti al complesso di Pietra Parcellara alcuni limitati affioramenti di argilliti grigie fogliettate che inglobano masse stratificate e scompaginate di calcari a Calpionelle e tipo palombini e, senza un preciso ordine stratigrafico, olistoliti eterometrici di rocce ad affinità ofiolitica (distinte in carta, laddove di dimensioni cartografabili, come serpentiniti, **Σ**). Questa unità affiora solo nella zona di Pozzol Groppo - Zebedassi, a cavallo tra Val Curone e Val Staffora, al limite occidentale del Foglio. Si è scelta temporaneamente questa attribuzione per via delle caratteristiche litologiche ma il complesso di Pietra Parcellara classicamente è interposto tra l'Unità tettonica Cassio e l'Unità tettonica Bettola, mentre in questo caso manca l'Unità tettonica Bettola. Il complesso di Pietra Parcellara è costituito da depositi torbiditici e di scivolamento in massa.

PROGETTO CARG

Questa unità è in contatto tettonico sul flysch di Monte Cassio ed è sovrastata, sempre tettonicamente, dalle arenarie di Scabiazza.

Attribuzione cronologica. In letteratura l'età di messa in posto del complesso di Pietra Parcellara è Cretacico superiore (?).

2.3. - Unità Tettonica Cassio

L'Unità tettonica Cassio è presente nel settore sud-orientale del Foglio ed è costituita dal flysch di Monte Cassio, da un "complesso di base" *Auct*., rappresentato dalle argille varicolori di Cassio, con intercalazioni di conglomerati e arenarie (conglomerati dei Salti del Diavolo) e dalle arenarie di Scabiazza.

L'Unità tettonica Cassio è stata suddivisa in due sottounità tettoniche (Ghiselli *et alii*, 1994), rispettivamente denominate Sottounità Calenzone e Sottounità Scabiazza; la prima è costituita dal flysch di Monte Cassio e dalle argille varicolori di Cassio mentre la seconda dalle arenarie di Scabiazza. Si segnala che nell'area del Foglio 178-Voghera il contatto tra le arenarie di Scabiazza e le argille varicolori di Cassio è di natura tettonica in corrispondenza del versante N-NE del Monte Calenzone (sinistra idrografica del T. Tidone) mentre altrove (destra idrografica del T. Tidone, Case Cagnone, Gabbione) è stato ritenuto di natura stratigrafica.

2.3.1. - *Arenarie di Scabiazza* (**SCB**)

Le arenarie di Scabiazza (cfr. *Scabiazza Sandstein*, Ludwig, 1929; *arenarie di Scabiazza*, Braga, 1965; Bellinzona *et alii*, 1971) nel Foglio 178-Voghera affiorano soprattutto nella sua porzione sud-orientale e, in particolare, le migliori esposizioni si trovano in destra idrografica del T. Tidone (Fig. 15). Si tratta di alternanze di litareniti grigio-nocciola, fini e medie, frequentemente micacee (con sottilissimi letti di muscovite), ricche di frustoli carboniosi, e di marne siltose grigio-scure in strati da sottili a medi. Localmente si intercalano livelli di argille rossastre. In generale, sul terreno, l'unità presenta un elevato grado di deformazione tettonica, che di fatto ha sempre impedito ogni tentativo di discriminarne una organizzazione interna.

Tradizionalmente vengono individuate due litofacies (non distinte cartograficamente in questo Foglio):

- la litofacies arenaceo-pelitica, costituita da arenarie grossolane e medie alternate ad argille marnose, in strati medi e spessi (facies tipo F8+F9 di Mutti, 1992);
- la litofacies pelitico-arenacea, formata da litareniti micacee medie e fini e da peliti carbonatiche (calcari marnosi) in strati medi e spessi (facies tipo F8+F9 di Mutti, 1992). Quest'ultima litofacies è suddivisa ulteriormente in due parti: l'inferiore costituita da litareniti medio-fini e da peliti carbonatiche e la superiore da litareniti micacee medio-fini e da peliti molto marnose.

PROGETTO CARG

Fig. 15 - *Arenarie di Scabiazza: facies arenaceo-pelitica in giacitura rovescia. Affioramento presso Case Lazzati.*

PROGETTO CARG

Alla litofacies arenaceo-pelitica sono associati "lembi formazionali" di dimensioni variabili (Braga, 1957), fino ad ettometriche, di sedimenti attribuiti al Gruppo del Selcifero lombardo e alla Maiolica (Dallagiovanna *et alii*, 1991), interpretabili come un originario substrato ad affinità austro-sudalpina (Marroni *et alii*, 2001). A Case Caldarola, nei pressi della testata della Val Luretta, nel Foglio 179-Ponte dell'Olio, viene documentata la presenza di sedimenti ad affinità toscana (Vercesi & Cobianchi, 1998). Tali "lembi formazionali" non sono stati riscontrati entro il Foglio 178-Voghera.

Le arenarie di Scabiazza rappresentano i primi importanti sedimenti torbiditici silicoclastici deposti nell'Oceano Ligure-Piemontese e sono state deformate dalla tettonica eo-alpina prima che si deponesse il flysch ad Elmintoidi (flysch di Monte Cassio).

In questo Foglio lo spessore non è valutabile; nel limitrofo Foglio 196-Cabella Ligure è stato riconosciuto in 400 m.

Attribuzione cronologica. In letteratura l'età della formazione è compresa tra il Turoniano superiore e il Campaniano inferiore (Ghiselli *et alii*, 1991). Dato che nel Foglio 178-Voghera sono state osservate litologie confrontabili solo con la porzione superiore della litofacies pelitico-arenacea, si attribuisce all'unità l'età di quest'ultima: Coniaciano - Campaniano inferiore (Ghiselli *et alii*, 1991).

2.3.2. - *Argille varicolori di Cassio* (**AVV**)

Le argille varicolori di Cassio corrispondono alle Arenarie di Scabiazza *p.p.* di Bellinzona *et alii* (1971). Nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971), infatti, le argille varicolori di Cassio erano considerate come una litofacies a dominanza argillitica nell'ambito delle arenarie di Scabiazza.

Le argille varicolori di Cassio sono costituite da argilliti e siltiti rosso vinaccia, verdastre e grigio scure e con intercalazioni di arenarie grigie in strati sottili e medi. Localmente nella parte inferiore sono presenti intercalazioni di litareniti feldspatiche grigio chiare medie e fini, in strati da centimetrici a decimetrici e di conglomerati poligenici (**AVV_1**) ad elementi arrotondati probabilmente correlabili con i conglomerati dei Salti del Diavolo della Val Baganza (Sames, 1967). Nel Foglio 178-Voghera le argille varicolori di Cassio affiorano maggiormente nella porzione centro-orientale, ove costituiscono il rilievo in località Carmine, ma le migliori esposizioni si trovano alla testata del T. Ghiaia di Montalto, in località Pianola, ove si riconoscono alcuni strati di arenarie ciottolose con frammenti di graniti rosa analoghi a quelli presenti nei conglomerati dei Salti del Diavolo (Fig. 16) (Sames, 1967).

Le argille varicolori di Cassio presentano un elevato grado di deformazione tettonica (Fig. 17), in particolare gli strati di arenarie grigie evidenziano strutture plicative alla mesoscala. Il contatto inferiore con le arenarie di Scabiazza è in generale stratigrafico, sebbene a N di Monte Calenzone appaia tettonizzato. Il contatto superiore è stratigrafico, per discordanza, con il flysch di Monte Cassio.

PROGETTO CARG

Fig. 16 - *Strati di arenarie grossolane con granuli di graniti rosa (Valle Ghiaia di Montalto) dei conglomerati dei Salti del Diavolo (AVV_1) sormontati da facies caotiche delle argille varicolori di Cassio (AVV).*

Fig. 17 - *Argille varicolori profondamente deformate da strutture plicative alla mesoscala (località Villa dei Cavalieri).*

Le argille varicolori di Cassio rappresentano sedimenti emipelagici deposti in un bacino oceanico.

Lo spessore viene stimato, alla testata della Valle Ghiaia di Montalto, nell'ordine dei 50 m.

Attribuzione cronologica. L'età della formazione, da letteratura (Sames, 1967; Rio & Villa, 1987), è compresa tra il Santoniano e il Campaniano.

2.3.3. - *Flysch di Monte Cassio* (**MCS**)

Il flysch di Monte Cassio (Papani & Zanzucchi, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971) affiora estesamente nella porzione sud-orientale del Foglio 178-Voghera, tra gli abitati di Varzi e Romagnese e, in particolare, costituisce il rilievo di Monte Calenzone.

Si tratta di un tipico flysch ad Elmintoidi, costituito da torbiditi calcaree e torbiditi silicoclastiche che si intercalano a sedimenti emipelagici. Il flysch di Monte Cassio è costituito tipicamente da calcari marnosi in strati spessi e molto spessi (volumetricamente predominanti) alternati a strati silicoclastici e carbonatici più sottili; le emipelagiti sono rappresentate da argilliti nerastre non carbonatiche in strati molto sottili. Gli strati torbiditici sono caratterizzati da geometrie piano-parallele con ottima continuità laterale. Le facies presenti sono F9 (strati carbonatici) o F8+F9 (strati misti e silicoclastici) di Mutti (1992).

Il contatto inferiore è, in genere, con le argille varicolori di Cassio, per discordanza; il contatto superiore, quando visibile, è, per discordanza, con formazioni appartenenti alla Successione Epiligure.

Lo spessore dell'unità è stimato in oltre 1000 m al Monte Calenzone.

Attribuzione cronologica. L'età della formazione è compresa tra il Campaniano superiore ed il Maastrichtiano (Rio *et alii*, 1983).

PROGETTO CARG

2.4. - Unità Tettonica Monte delle Tane

2.4.1. - *Complesso di Monte Ragola: olistoliti di argille a palombini* (**ap**)

Unità litostratigrafica costituita da depositi di scivolamento in massa e di flussi gravitativi (torbiditi); negli adiacenti Fogli 196-Cabella Ligure e 197-Bobbio (Servizio Geologico d'Italia, 1997; Elter *et alii*, 1997) l'unità raggiunge spessori di alcune centinaia di metri, e comprende arenarie ofiolitiche (**MRA_a**), brecce poligeniche a matrice pelitica (**MRA_b**), brecce poligeniche a matrice arenitica (**MRA_c**) e grandi olistoliti (*ap*) prevalentemente di rocce ultrabasiche e, in subordine, di granuliti, calcari a Calpionelle, basalti e granitoidi.

Nel Foglio 178-Voghera l'unità è cartografata in una piccola area al margine meridionale, ove si riconoscono blocchi di calcari tipo palombini in un versante dominato da frane. In sostanza, la presenza di questi blocchi viene ritenuta indizio della presenza del complesso di Monte Ragola, in corrispondenza dell'area in cui esso viene cartografato nell'adiacente Foglio 196-Cabella Ligure.

Attribuzione cronologica. Cretacico superiore?

3. - SUCCESSIONE DEL BACINO TERZIARIO PIEMONTESE

3.1. - Marne di Vigoponzo (**VIG**)

La denominazione marne di Vigoponzo (cfr. Marne di Vigoponzo *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971; Marne di M. Piano *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971; Marne di Bosmenso *p.p.*, Cavanna *et alii*, 1989) risale al Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000, e identifica depositi costituiti da marne, marne siltose grigio chiare e argille con stratificazione non ben riconoscibile, che costituiscono la base della successione del Bacino Terziario Piemontese. Si tratta di depositi emipelagici. Nel Foglio 178-Voghera le marne di Vigoponzo affiorano solo in una piccola area in Val Staffora, a ridosso della Linea Villalvernia-Varzi.

Nel Foglio 71 Voghera le marne di Vigoponzo (Merla *et alii*, 1964) erano definite come "*alternanze fliscioidi di argille marnose nerastre e di straterelli calcarei e arenacei che… separano le Argilliti di Pagliaro a letto dalle Arenarie di Ranzano a tetto*". Una lettura moderna di tale definizione porta a concludere che si tratterebbe, dunque, di sedimenti di origine torbiditica ad affinità ligure che, infatti, nel Foglio 196-Cabella Ligure, vengono compresi a pieno titolo nelle argilliti di Pagliaro (Maastrichtiano superiore - Selandiano). Solo la parte superiore delle marne di Vigoponzo veniva considerata, dai rilevatori del Foglio 71 Voghera, equivalente delle Marne di Monte Piano appenniniche. Già Segnini (1961) denominò espressamente Marne di M. Piano i depositi compresi tra argilliti di Pagliaro e Arenarie di Ranzano nella zona di Costa Merlassino-Vigoponzo.

PROGETTO CARG

Nel Foglio 178-Voghera il limite inferiore dell'unità non è visibile; quello superiore è, per discordanza, con i conglomerati di Savignone. Lo spessore massimo stimato è di circa 100 m.

Attribuzione cronologica. L'età della Formazione è stata stabilita nell'adiacente Foglio 196-Cabella Ligure, dove sono ubicati gli affioramenti migliori, e risulta essere Priaboniano *p.p.* (MNP 18-MNP 19 *p.p.*).

3.2. - Formazione di Dernice - Litozona Pelitica (**DRN$_C$**)

La formazione di Dernice (cfr. Arenarie di Ranzano *p.p.* di Gelati, 1974 e Cavanna *et alii*, 1989; sequenza S1 *p.p.* di Di Giulio, 1991; Unità Pizzo d'Oca di Mutti *et alii*, 1995; membro del Pizzo d'Oca di Martelli *et alii*, 1998) affiora nel settore nord-occidentale del Foglio 196-Cabella Ligure ed è costituita alla base dapprima da sedimenti grossolani sormontati poi da peliti. Essa rappresenta pertanto il primo sedimento grossolano nella successione del Bacino Terziario Piemontese al di sopra delle marne di Vigoponzo; nel Foglio 178-Voghera è presente al limite meridionale, in Val Staffora, dove affiora un lembo della litofacies superiore pelitica (**DRN$_c$**). Tale litofacies è costituita da marne e argille, con stratificazione generalmente indistinta.

Attribuzione cronologica. L'età di questi depositi è stata attribuita, nel Foglio 196-Cabella Ligure, alla parte superiore del Priaboniano (MNP19 *p.p.*-MNP 21a).

3.3. - Conglomerati di Savignone - Membro di Monte Rivalta (**SAV$_1$**)

I conglomerati di Savignone (cfr. Conglomerati di Savignone *p.p.* e Arenarie di Ranzano *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971; *Borbera Konglomerat p.p.*, Ibbeken, 1970; Conglomerati della Val Borbera, Gnaccolini 1974, 1982, 1988; Gelati & Gnaccolini, 1978; unità Molare-Borbera, Mutti *et alii*, 1995) affiorano più compiutamente nell'adiacente Foglio 196-Cabella Ligure dove, in Val Borbera, raggiungono uno spessore di oltre 2000 m; in tale Foglio, i conglomerati di Savignone sono stati suddivisi in tre membri, principalmente sulla base della composizione petrografica: dal basso, il membro di Monte Rivalta (**SAV$_1$**), costituito da sedimento derivante dall'erosione di successioni liguri tipo Flysch di M. Antola e di successioni del BTP; il membro della Val Borbera (**SAV$_2$**), costituito da sedimento derivante dall'erosione di successioni liguri tipo Flysch di M. Antola; ed il membro di Persi (**SAV$_3$**), costituito da sedimento derivante dall'erosione di successioni di tipo Ligure Interno, formate da sequenze ofiolitiche e dalle relative coperture sedimentarie di bassissimo grado metamorfico; nella parte alta del membro SAV$_3$ sono presenti clasti di rocce "ofiolitiche" e cristalline caratterizzate da metamorfismo di alta pressione e bassa temperatura.

Nel Foglio 178-Voghera l'unità è rappresentata solo dal membro di Monte Rivalta, che affiora in una area limitata nella parte meridionale del Foglio, a

PROGETTO CARG

ridosso della Linea Villalvernia-Varzi, per uno spessore complessivo di circa 180 m. Esso è costituito da conglomerati e arenarie in strati di spessore decimetrico alternati a livelli pelitici centimetrici.

I conglomerati di Savignone, nel complesso, sono deposti da flussi iperconcentrati in ambiente marino marginale, legati alla presenza di sistemi deltizi.

Caratteristici sono grossi blocchi di calcari interessati da fori di litodomi, osservabili in Val Borbera, zona di Pertuso, poco a S del Foglio 178-Voghera.

Attribuzione cronologica. Il membro di Monte Rivalta è stato datato, nel Foglio 196-Cabella Ligure, al passaggio tra la zona MNP22 e la zona MNP23 del Rupeliano *p.p.*

3.4. - Formazione di Monastero (**MST**)

La formazione di Monastero (cfr. Formazione di Monastero *p.p.*, Arenarie di Ranzano *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971; Arenarie di Ranzano *p.p.*, Cavanna *et alii*, 1989; sequenza S3 *p.p.*, Di Giulio, 1991; unità Monastero, Mutti *et alii*, 1995; membro di San Sebastiano Curone, Martelli *et alii*, 1998) affiora estesamente nell'adiacente Foglio 196-Cabella Ligure dove raggiunge uno spessore massimo di circa 1000 m.

Nel Foglio 178-Voghera la formazione di Monastero è presente solo nella fascia meridionale, a S della Linea Villalvernia-Varzi, ed è costituita da torbiditi pelitico-arenacee e arenaceo-pelitiche, con rapporto arenite/pelite ≈1 (litofacies tipica **MST**), in strati sottili e medi di areniti medio-fini, siltiti e marne. In modo subordinato sono presenti strati torbiditici spessi di areniti medie e medio-grossolane e strati spessi e molto spessi di conglomerati. Nel complesso sono state distinte quattro litofacies: litofacies conglomeratica (**MST_a**), litofacies arenitica (**MST_b**), litofacies caotica (**MST_c**) e litofacies pelitica (**MST_d**); le prime tre si ripetono a più livelli nella formazione mentre la quarta è presente solo al tetto, e rappresenta la disattivazione del sistema torbiditico sottostante. Le litofacies MST_a e MST_c non affiorano nel Foglio 178-Voghera.

Il limite inferiore nel Foglio 178-Voghera è, per discordanza, con il conglomerato di Savignone; quello superiore è, sempre per discordanza, con la litozona arenitica (**GEM_{2a}**) del membro di Nivione della formazione di Gremiasco. Lo spessore stimato è di alcune centinaia di metri.

La formazione di Monastero è stata interpretata (Mutti *et alii*, 1995) come il risultato di una sedimentazione torbiditica localizzata alla base di una scarpata dominata da una sedimentazione relativamente fine (facies F7, F8 e F9), in cui le facies più grossolane riconosciute (F3, F4 e F5) rappresentano depositi residuali lasciati da flussi particolarmente voluminosi. Rispetto alle formazioni sottostanti è di ambiente più profondo e rappresenta perciò l'inizio di un ciclo trasgressivo che porta ad una sedimentazione più francamente marina.

Attribuzione cronologica. La formazione di Monastero si è depositata in un intervallo di tempo che comprende il passaggio dalla zona MNP23 *p.p.* alla zona MNP24 *p.p.* del Rupeliano *p.p.*

PROGETTO CARG

3.5. - Formazione di Gremiasco

La formazione di Gremiasco (cfr. Marne di Rigoroso *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971; Marne di Rigoroso *p.p.*, Andreoni *et alii*, 1981; Cavanna *et alii*, 1989; unità Gremiasco, Stocchi *et alii*, 1992; *Gremiasco Turbidite System*, Baruffini *et alii*, 1994) affiora nella parte meridionale del Foglio, a ridosso della Linea Villalvernia-Varzi, nelle zone di Stemigliano e di Nivione-Monteforte.

L'intera formazione costituisce un complesso sistema torbiditico, in cui piccoli lobi sabbiosi venivano alimentati da correnti di torbida provenienti da W e SW; la geometria del bacino e l'innesco delle correnti di torbida, probabilmente, erano controllati dall'attività della Linea Villalvernia-Varzi, che limita il bacino a N.

Nel Foglio 196-Cabella Ligure la Formazione è stata suddivisa in due membri (membro di Cappella della Valle, **GEM_1**, membro di Nivione, **GEM_2**) che mostrano tra loro contatti di tipo stratigrafico erosivo; nel Foglio 178-Voghera affiora solo il secondo.

Il contatto con la sottostante formazione di Monastero avviene tramite una superficie di discordanza alla base del membro GEM_2. Lo spessore massimo della formazione, osservato nella zona di Valle di Nivione, raggiunge i 300 m.

Attribuzione cronologica. La formazione di Gremiasco è stata datata, nel Foglio 196-Cabella Ligure, al Rupeliano - Chattiano (MNP24 *p.p.*-MNN1a *p.p.*).

3.5.1. - *Membro di Nivione* (**GEM_2**)

Il membro di Nivione (cfr. Marne di Rigoroso *p.p.*, Formazione di Variano, Bellinzona *et alii*, 1971; Marne di Rigoroso *p.p.*, Andreoni *et alii*, 1981; Arenarie di Nivione *p.p.* e Marne di M. Zuccaro *p.p.* di Cavanna *et alii*, 1989) è costitutito da torbiditi arenacee, arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee, che passano verso l'alto a peliti. Nel Foglio 196-Cabella Ligure sono state distinte tre litozone (**GEM_{2a}** arenacea, **GEM_{2b}** caotica, e **GEM_{2c}** pelitica) delle quali solo GEM_{2a} e GEM_{2c} affiorano nel Foglio 178-Voghera.

Litozona arenacea (**GEM_{2a}**): strati da medi a spessi di areniti medio-grossolane, mal sortite e debolmente gradate, che mostrano, talvolta, tappeti di trazione e, nella parte sommitale più fine, presenza di laminazioni debolmente convolute. Gli strati sono generalmente organizzati in sequenze negative formate da 10-20 strati, spesso amalgamati o separati da sottili livelli pelitici, e sono presenti anche controimpronte da corrente di tipo *groove* e *flute cast* nonché strutture da sfuggita di fluidi (*dish*). Gli strati riconosciuti in questa litozona sono del tipo (F4)-F5, (F5)-F7-F8 e F8-F9 di Mutti (1992), (Baruffini *et alii*, 1994).

Litozona pelitica (**GEM_{2c}**): (cfr. Marne di Rigoroso *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971; Andreoni *et alii*, 1981; Cavanna *et alii*, 1989) è caratterizzata da marne, marne siltose grigie e subordinatamente argille di colore verde oliva con stratifi-

PROGETTO CARG

cazione generalmente non riconoscibile. Sono abbastanza frequenti sottili strati torbiditici di areniti fini e siltiti grossolane. Inoltre, all'interno di questa litozona sono stati riconosciuti alcuni livelli centimetrici di cineriti fortemente alterate.

3.6. - Formazione di Castagnola

La formazione di Castagnola (cfr. Formazione di Castagnola, Bellinzona *et alii*, 1971; Andreoni *et alii*, 1981; Cavanna *et alii*, 1989) affiora nella parte meridionale del Foglio, a ridosso della Linea Villalvernia-Varzi, nei dintorni dell'abitato di Castagnola. Cavanna *et alii* (1989) suddivisero la formazione in tre membri, uso a cui si è uniformato il Foglio 196-Cabella Ligure ove, peraltro, affiora solo il primo dei tre. Nel Foglio 178-Voghera la formazione di Castagnola è interamente suddivisa in due membri sovrapposti, non eteropici, che vengono descritti di seguito. Essi corrispondono, grosso modo, ai primi due membri di Cavanna *et alii* (1989), mentre la sovrastante formazione delle marne di Monte Brugi corrisponde al terzo membro della formazione di Castagnola di Cavanna *et alii* (1989).

I rapporti con la sottostante formazione di Gremiasco sono stratigrafici, tramite una superficie di *onlap* (Fig. 18) già segnalata da tempo (Andreoni *et alii*, 1981; Cavanna *et alii*, 1989; Mutti, 1992; Stocchi *et alii*, 1992).

Lo spessore totale della formazione è di oltre 1000 m.

Attribuzione cronologica. La formazione di Castagnola è stata datata, nel Foglio 196-Cabella Ligure, ove è presente solo il membro basale, al Chattiano - Burdigaliano (zone MNN1a *p.p.* e MNN2a *p.p.*).

Fig. 18 - *Formazione di Castagnola, la linea rossa sottolinea la superficie di* onlap *degli strati del membro di Costa Grande contro il margine settentrionale del bacino, costituito dal membro pelitico della formazione di Gremiasco (Foto L. Papani).*

PROGETTO CARG

3.6.1. - *Membro di Costa Grande* (**FCA_1**)

Il membro di Costa Grande (cfr. Cavanna *et alii*, 1989; *Lower Castagnola Turbidite System*, Baruffini *et alii*, 1994), secondo Baruffini *et alii* (1994), è costituito da alternanze arenaria-pelite di origine torbiditica nelle quali gli strati sono essenzialmente di due tipi: strati da sottili a molto spessi del tipo F8-F9 e F9 di Mutti (1992) e strati da medi a molto spessi del tipo F7-F8-F9, F8-F9 e F9 di Mutti (1992), spesso con ripetizioni verticali degli intervalli F8 e F9. Gli strati del primo tipo sono deposti da correnti di torbida sabbiose ad alta densità che evolvono in correnti a bassa densità, mentre gli strati del secondo tipo sono deposti da correnti di torbida sabbiose ad alta densità e di grande volume le cui porzioni meno dense vengono deflesse e/o riflesse dai margini del bacino. Questo fenomeno genera una serie di strutture sedimentarie molto particolari (Fig. 19), quali lamine oblique che, nell'ambito dello stesso strato, indicano direzioni di flusso opposte e ripetizioni di intervalli sedimentari e strutture, nonché anomale variazioni granulometriche.

Sono frequenti *dish* e impronte da corrente di tipo *groove cast* e *flute cast*, che mostrano una direzione dei flussi variabile fra N50 e N20.

Le geometrie sono, per tutti gli strati, piano-parallele e tabulari alla scala dell'intera area d'affioramento. La successione mostra complessivamente un trend *coarsening- and thickening-upward*, con un graduale incremento del rapporto arenite/pelite verso l'alto.

Già Andreoni *et alii* (1981) segnalarono la presenza di megastrati con base arenitica medio-grossolana che raggiungono spessori di alcuni metri e possono essere seguiti alla scala dell'intero bacino, e li distinsero cartograficamente come livelli guida. Tali megastrati vengono interpretati (Stocchi *et alii*, 1992) come il risultato della deposizione da flussi innescati da *shock* sismici, capaci di mobilizzare ingenti quantità di sedimento (sismotorbiditi, *sensu* Mutti *et alii*, 1984).

La successione stratigrafica del membro di Costa Grande viene interpretata come il riempimento di un piccolo bacino di mare profondo confinato strutturalmente in un settore subsidente. La notevole continuità laterale degli strati, la loro marcata tabularità e la dispersione delle direzioni delle paleocorrenti, dovuta probabilmente a fenomeni di rimbalzo contro i margini del bacino, indicano la probabilità che i flussi fossero sovradimensionati rispetto all'estensione del bacino di sedimentazione.

Lo spessore massimo del membro è di circa 900 m.

3.6.2. - *Membro del Torrente Dorbida* (**FCA_2**)

Questo membro (cfr. membro superiore della formazione di Castagnola, Andreoni *et alii*, 1981; membro arenaceo della formazione di Castagnola, Cavanna *et alii*, 1989) è costituito da areniti grossolane e medie in strati medi e spessi, a geometria piano-parallela, separati da sottili livelli pelitici o, in alcuni

PROGETTO CARG

Fig. 19 - *Formazione di Castagnola - membro di Costa Grande, strutture sedimentarie dovute a deflessione della frazione meno densa del flusso contro i margini del bacino (Foto L. Papani).*

PROGETTO CARG

casi, amalgamati. Il passaggio dal membro inferiore è poco chiaro, ma sembra essere graduale, per progressivo aumento dello spessore degli strati; al tetto si assiste ad un progressivo aumento dei livelli marnosi.

Spessore di almeno 100 m.

3.7. - Marne di Monte Brugi (**BGU**)

La denominazione di marne di Monte Brugi risale a Andreoni *et alii* (1981) (cfr. Marne di Cessole, Bellinzona *et alii*, 1971; Marne del M. Brugi, membro superiore della formazione di Castagnola, Cavanna *et alii*, 1989).

La formazione affiora nella parte meridionale del Foglio, a ridosso della Linea Villalvernia-Varzi, nei dintorni dell'abitato di Castagnola.

Essa è costituita da un'alternanza ben stratificata di arenarie, peliti e marne ad alto contenuto di silice. Dal basso, si incontrano marne grigie con livelli silicei (circa 50 m), un livello spesso circa 20 m di marne ad alto contenuto di silice, poi alternanze (circa 35 m) di marne chiare e arenarie medie e fini molto bioturbate, in strati sottili e medi, infine circa 40 m di marne chiare con alcuni straterelli

silicei. Lo spessore complessivo osservabile dell'unità è quindi di circa 150 m.

Attribuzione cronologica. Le marne di Monte Brugi, per posizione stratigrafica e per correlazione con depositi equivalenti dell'Appennino, sono burdigaliane. In particolare, le marne di Monte Brugi dovrebbero equivalere alla parte superiore della Formazione di Contignaco.

Nella figura 20 sono schematizzati i rapporti stratigrafici tra le successioni del Bacino Terziario Piemontese nei Fogli 196-Cabella Ligure e 178-Voghera.

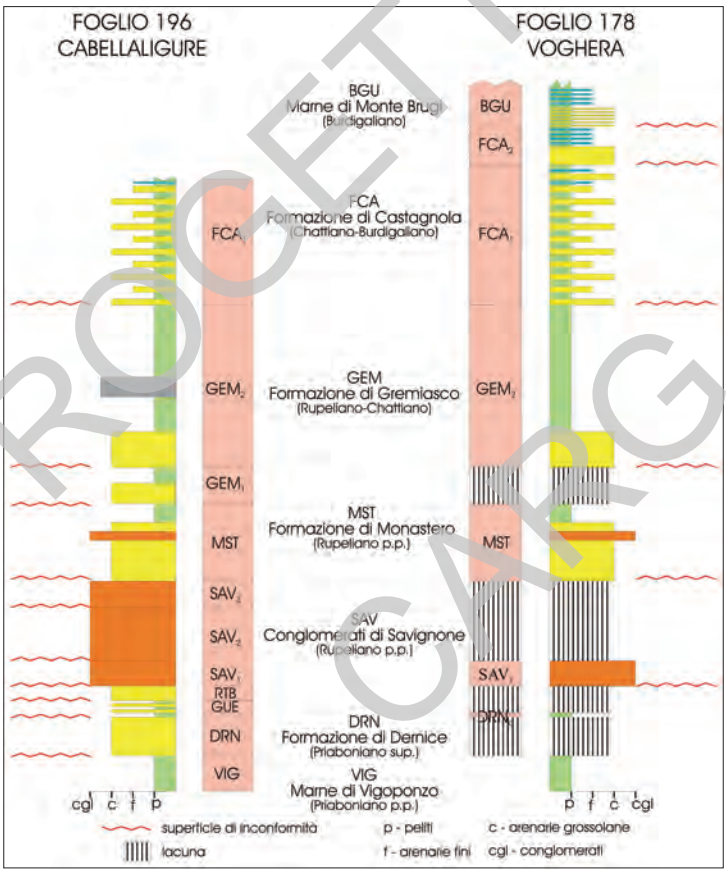


Fig. 20 - *La Successione del Bacino Terziario Piemontese nei Fogli 196-Cabella Ligure e 178-Voghera, con in evidenza le superfici di inconformità (linee ondulate rosse). In giallo sono evidenziate le arenarie, in verde le peliti, in arancione i conglomerati, in azzurro i banchi silicei e in grigio i corpi caotici). I tratti barrati indicano le lacune stratigrafiche. La colonna centrale fornisce la correlazione tra le successioni presenti nei due Fogli. GUE=formazione di Grue; RTB=arenarie di Rio Trebbio; SAV_2=conglomerati di Savignone - membro di Persi; SAV_3=conglomerati di Savignone - membro della Val Borbera; GEM_1=formazione di Gremiasco - membro di Cappella della Valle; per le altre sigle delle unità si veda il testo.*

PROGETTO CARG

4. - SUCCESSIONE EPILIGURE

4.1. - Brecce Argillose di Baiso (**BAI**)

In questa unità viene compresa una serie di corpi rocciosi a tessitura caotica precedentemente cartografati (Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000, Servizio Geologico d'Italia, 1969) come: "Complesso Caotico", "Complesso Indifferenziato" e "Calcari di Zebedassi" *p.p.*.

Tali corpi rocciosi sono costituiti da brecce poligeniche a matrice argillosa grigia o varicolori, che contiene clasti spigolosi eterometrici provenienti dalle formazioni liguri tipo arenarie di Scabiazza, argille a palombini, argille varicolori di Cassio e flysch ad Elmintoidi *s.l.*. La tessitura dei depositi è caotica del tipo *block in matrix* e si ritiene che la loro origine sia dovuta ad una serie di colate sottomarine. Sul terreno è possibile individuare, in alcuni casi, "lembi monoformazionali" generalmente di argille varicolori. Le brecce argillose di Baiso affiorano estesamente nel Foglio essendo presenti quasi ovunque alla base della successione epiligure.

Nell'Appennino emiliano la formazione è stata interamente suddivisa in membri, le cui differenti litologie riflettono quelle delle unità Liguri su cui poggiano nelle varie aree d'affioramento. Nel Foglio 178-Voghera non si è ritenuta necessaria tale distinzione, perché la relativamente piccola estensione dell'area di affioramento non consente di cogliere importanti differenze.

Il contatto inferiore è, per discordanza, con varie formazioni appartenenti all'Unità tettonica Cassio; il contatto superiore è discontinuo con le Marne di Monte Piano. Lo spessore, molto variabile, è al massimo di circa 300 m.

Le brecce argillose di Baiso, che affiorano alla base della Successione Epiligure in tutto l'Appennino settentrionale tra il bolognese e il pavese, sono interpretate come depositi di frana sottomarina e rappresentano la risposta sedimentaria alle instabilità indotte nel prisma Ligure dalla Fase Ligure o Mesoalpina.

Attribuzione cronologica. La formazione, da letteratura, è riferibile ad un'età pre-Bartoniano superiore; in effetti, in Val di Nizza la base delle soprastanti Marne di Monte Piano è datata al Bartoniano superiore (Mancin & Cobianchi, 2000).

4.2. - Marne di Monte Piano (**MMP**)

Questa formazione (cfr. Marne di Monte Piano *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971) è stata istituita da Marchesi (1961a) e formalizzata in Delfrati *et alii* (2006). È costituita da marne argillose e argille marnoso-siltose grigie a stratificazione indistinta. In letteratura si parla di una litofacies inferiore, costituita da argille e argille marnose rosse ("banchi rossi") e di una litofacies superiore marnosa di colore grigio, con intercalazioni arenacee fini in strati molto sottili.

PROGETTO CARG

Nel Foglio è difficile osservare tale bipartizione, dati gli esigui spessori osservabili, e non ne viene perciò tenuto conto in carta. Le principali aree di affioramento sono nel settore NE del Foglio (Montecalvo Versiggia e Rocca de' Giorgi) e, in lembi più limitati, nel settore SW del Foglio (Val Curone) e in Val di Nizza.

Il contatto inferiore è, per discontinuità, con le brecce argillose di Baiso; il contatto superiore si ha, in discordanza, con la Formazione di Ranzano.

Le Marne di Monte Piano sono interpretate come sedimenti pelagici deposti in un bacino profondo, e rappresentano una stasi negli apporti sedimentari grossolani nel prisma ligure, conseguenza delle importanti trasformazioni paleogeografiche dovute alla Fase Ligure.

Attribuzione cronologica. In letteratura l'età dell'unità è compresa tra il Luteziano ed il Priaboniano. In Val di Nizza la base della formazione viene datata al Bartoniano superiore ed il tetto all'Oligocene inferiore (Mancin & Cobianchi, 2000): in realtà, i sedimenti attribuiti all'Oligocene inferiore sono in questo foglio cartografati come appartenenti alla litofacies pelitico-arenacea del membro di Pizzo d'Oca (**RAN_1**) della Formazione di Ranzano; di conseguenza, la parte sommitale delle Marne di Monte Piano viene da noi attribuita al Priaboniano.

4.3. - Formazione di Ranzano (**RAN**)

La Formazione di Ranzano (cfr. Arenarie di Ranzano *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971; Formazione di Ranzano, Martelli *et alii*, 1998), presente in tutto l'Appennino settentrionale tra la Provincia di Bologna e quella di Pavia, e nel Monferrato, è il risultato di un parziale emendamento delle Arenarie di Ranzano, originariamente definite da Pieri (1961). La revisione del 1998 e la successiva formalizzazione (Delfrati *et alii*, 2006) hanno portato a definire i seguenti 5 membri informali (dal basso):

- membro di Pizzo d'Oca;
- membro della Val Pessola;
- membro di Varano de' Melegari;
- membro di S. Sebastiano Curone;
- membro di Albergana

di cui i primi due verticalmente sovrapposti e gli ultimi tre, eteropici tra loro, che identificano l'intervallo superiore dell'unità. Si definiscono in questo modo tre distinti intervalli stratigrafici (**RAN_1**, **RAN_2**, **RAN_3**), verticalmente sovrapposti e non eteropici, delimitati da superfici di inconformità. Le superfici che delimitano i membri alla base e al tetto sono superfici di cambiamento composizionale e, contemporaneamente, superfici di discordanza angolare o di significativo cambiamento di facies. All'interno di ogni membro si osserva una notevole variabilità laterale e verticale delle facies, sebbene si possa in alcuni casi definire una generale prevalenza di alcune litofacies su altre. In realtà (vedi

PROGETTO CARG

Martelli *et alii*, 1998; Mutti *et alii*, 1995) ogni membro risulta costituito da uno o più sistemi torbiditici (ognuno con organizzazione interna *fining- and thinning-upward*) e la superficie che delimita alla base il membro coincide con la superficie di inconformità che delimita alla base il sistema torbiditico e che segnala anche il cambiamento di composizione petrografica.

Nel Foglio 178-Voghera la Formazione di Ranzano è presente con tre membri, sebbene RAN_1 totalizzi spessori molto ridotti. RAN_3 è rappresentato dal membro di Varano de' Melegari, per la parte appenninica, e dal membro di San Sebastiano Curone per la parte del Bacino Terziario Piemontese. In realtà, nel BTP è stata cartografata la formazione di Monastero (vedi paragrafo 3.4 di questo capitolo), che viene considerata equivalente del membro di San Sebastiano Curone, uniformando il rilevamento a quanto proposto dai rilevatori del Foglio 196-Cabella Ligure.

Analogamente i depositi torbiditici conglomeratico-arenacei presenti lungo la sponda destra della Valle Staffora e nella località Omo Selvatico (zona terminale del T. Lella), già descritti nel Foglio 71 Voghera (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971) come Arenarie di Ranzano, sono stati attribuiti a frange distali del conglomerato di Savignone.

La successione stratigrafica della Formazione di Ranzano è piuttosto variabile, a seconda di quale area del bacino si consideri; nelle figure 21, 22, 23 e 25 sono riportate le colonnine stratigrafiche sintetiche dell'area della Val Curone, Val di Nizza - Val Ardivestra, Zavattarello - Calghera e Ruino.

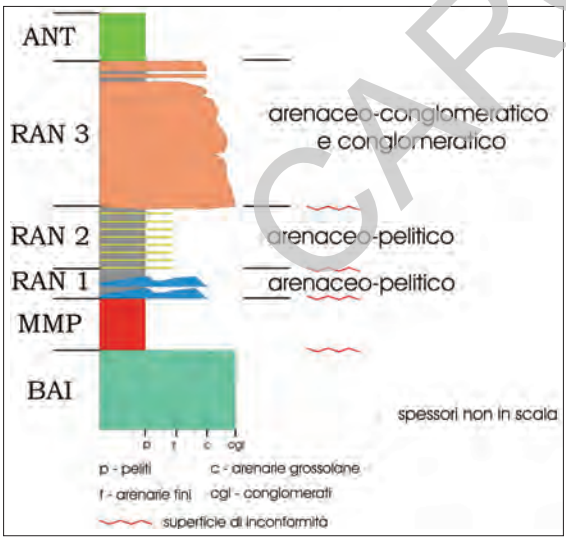


Fig. 21 - *La successione stratigrafica della Formazione di Ranzano nell'area della Val Curone (AL), all'estremità occidentale del Foglio 178-Voghera.*

PROGETTO CARG

Sono presenti anche alcune piccole aree (in Val Staffora - Val Ardivestra) nelle quali la Formazione di Ranzano è cartografata come indistinta (**RAN**): si tratta di aree nelle quali si trovano piccoli lembi di sedimenti arenacei, spesso alterati e male affioranti che, per posizione stratigrafica (a tetto di **BAI** o a contatto con **ANT**), vengono ritenuti appartenenti alla Formazione di Ranzano; tuttavia, sono talmente malridotti da non permettere di essere più precisi.

Attribuzione cronologica. L'età della formazione è compresa, da letteratura, tra il Priaboniano superiore ed il Rupeliano superiore. Alcuni Autori ritengono che la base della formazione possa, in alcuni luoghi, raggiungere l'Oligocene ma, in realtà, queste interpretazioni sono riconducibili a situazioni nelle quali sono stati cartografati come Marne di Monte Piano depositi fini appartenenti a **RAN_1** o a **RAN_2**.

4.3.1. - *Membro del Pizzo d'Oca* (**RAN_1**)

Arenarie e peliti in proporzioni variabili; sono presenti le litofacies, arenaceo-conglomeratica (**RAN_{1a}**), arenaceo-pelitica (**RAN_{1b}**) e pelitico-arenacea (**RAN_{1c}**). I sedimenti di questo membro sono caratterizzati dalla presenza di detrito derivante dall'erosione di un basamento cristallino, che conferisce alle arenarie un tipico colore biancastro. Data la scarsità degli affioramenti e gli esigui spessori non è stato possibile ricostruire una successione stratigrafica ben definita; piuttosto, sono state individuate tre litofacies di cui non sono chiari i rapporti latero-verticali:

- *Litofacies arenaceo-conglomeratica* (**RAN_{1a}**) - affiora al margine occidentale del Foglio presso Monticelli, ed è costituita da arenarie molto grossolane e ciottolose in strati spessi e molto spessi, amalgamati o con sottili livelli pelitici; interpretabili come facies tipo F5 di Mutti (1992). I ciottoli raggiungono diametri di 10 cm e sono molto arrotondati.
- *Litofacies arenaceo-pelitica* (**RAN_{1b}**) - affiora nella zona orientale del Foglio (Zavattarello - Calghera) dove è rappresentata da una ventina di metri di strati medi e spessi, a geometria piano-parallela, e con rapporto arenaria/pelite >1, di arenarie da grossolane a fini con facies tipo (F7)-F8-F9 di Mutti (1992).
- *Litofacies pelitico-arenacea* (**RAN_{1c}**) - affiora nella zona centro-occidentale del Foglio, ed è rappresentata in Val Curone da poco più di 8 m di strati medi e sottili di arenarie biancastre molto grossolane e peliti grigie, con basi piane o leggermente erosive e tetti netti e ondulati, in rapporto arenaria/pelite <1, interpretabili come facies tipo F6 di Mutti (1992); in Val di Nizza sono invece presenti strati molto sottili di arenarie fini e molto fini alternate a peliti con rapporto arenaria/pelite <<1, interpretabili come facies tipo F9 di Mutti (1992).

  Lo spessore del membro è stimabile in poche decine di metri.

PROGETTO CARG

4.3.2. - *Membro di Val Pessola* (**RAN_2**)

Arenarie, conglomerati e peliti in proporzioni molto variabili; sono presenti le litofacies arenaceo-conglomeratica, arenaceo-pelitica e pelitico-arenacea che si trovano verticalmente sovrapposte a delineare un sistema torbiditico, con alla base i sedimenti conglomeratici e al tetto quelli pelitico-arenacei. I sedimenti di questo membro sono caratterizzati dalla importante presenza di detrito ofiolitico, che conferisce alle arenarie un tipico colore verdastro. Nella zona di Zavattarello è osservabile la seguente successione:

- *Litofacies arenaceo-conglomeratica* (**RAN_{2a}**) - affiora lungo il margine nord-orientale della placca epiligure delle valli di Nizza e Ardivestra, tra Zavattarello e Torre degli Alberi, e nella zona di Montacuto, in Val di Nizza; è costituita da arenarie conglomeratiche e conglomerati in strati spessi e molto spessi, amalgamati o separati da sottili livelli pelitici, con basi erosive e scarsa continuità laterale. I ciottoli raggiungono diametri di 50 cm e sono di solito ben arrotondati. Tra le strutture sedimentarie si osservano gradazione positiva, tappeti di trazione grossolani, salti granulometrici (per lo più da ciottoli ad arenaria grossolana) e le facies sono del tipo F2-F3, F3, F3-F4, F5 di Mutti (1992);
- *Litofacies arenaceo-pelitica* (**RAN_{2b}**) - affiora nella zona tra Zavattarello e Torre degli Alberi, in Val di Nizza ed in Val Curone. La litofacies è costituita da arenarie da grossolane a fini in strati medi e sottili, con geometria piano-parallela e rapporto arenaria/pelite maggiore o uguale a 1; le strutture sedimentarie più caratterizzanti sono gradazione positiva, tappeti di trazione, lamine piane e *ripples* (b e c di Bouma). Facies tipo F7-F8-F9 e F8-F9 di Mutti (1992);
- *Litofacies pelitico-arenacea* (**RAN_{2c}**) - affiora nella zona tra Zavattarello e Torre degli Alberi ed in Val Curone; è costituita da strati da molto sottili a medi di arenarie medie e fini, con geometria piano-parallela e rapporto arenaria/pelite <1. Le strutture sedimentarie sono lamine del tipo b e c di Bouma: facies tipo F8 e F9 di Mutti (1992).

  Lo spessore del membro è stimabile tra i 300 e i 400 m.

4.3.3. - *Membro di Varano de' Melegari* (**RAN_3**)

Arenarie, conglomerati e peliti in proporzioni molto variabili; sono presenti le litofacies conglomeratico-arenacea, arenaceo-pelitica e pelitico-arenacea che si trovano verticalmente sovrapposte a delineare un sistema torbiditico con alla base i sedimenti conglomeratici ed al tetto quelli pelitico-arenacei. I conglomerati sono particolarmente ricchi di ciottoli tipo flysch ad Elmintoidi, e le arenarie hanno un caratteristico colore grigio. Nella zona di Zavattarello - Calghera, è osservabile la seguente successione:

- *Litofacies arenaceo-conglomeratica* (**RAN_{3a}**) - affiora in diverse località,

PROGETTO CARG

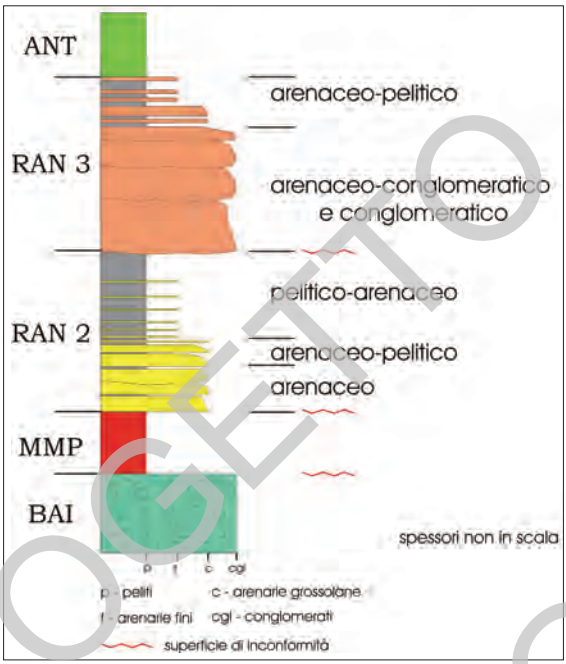


Fig. 22 - *La successione stratigrafica della Formazione di Ranzano nell'area della Val di Nizza - Val Ardivestra, nella zona centrale del Foglio 178-Voghera.*

lungo il margine settentrionale delle placche epiliguri della Val Curone (area di Pozzol Groppo, Fig. 24) e della Val di Nizza - Val Ardivestra (area di Piumesana - M. Gaggiolo - Zuccarello, area di Fornace - M. Chiaro). È costituita da conglomerati ed arenarie conglomeratiche in strati spessi e molto spessi, con basi erosive, quasi sempre amalgamati (rapporto arenaria/pelite >>1), con ciottoli di diametro fino ai 50-60 cm ed arenarie da molto grossolane a grossolane; gli strati mostrano a volte una rozza gradazione positiva, presentano frequenti salti granulometrici (da conglomerato ad arenaria grossolana) e, nella parte arenacea, frequenti tappeti di trazione; facies tipo F2-F3, F3, F3-F4 e F4-F5 di Mutti (1992); nella zona di Moglie - Calghera sono presenti arenarie grossolane in strati medi e spessi con strutture tipo HCS (*Hummocky Cross Stratification*) che non sono facilmente inquadrabili nei classici schemi di classificazione delle facies torbiditiche: queste strutture sono dovute ad una componente di moto oscillatorio acquisita dal flusso, il che può essere avvenuto per interferenza del flusso stesso coi margini del bacino oppure perchè l'arrivo di una piena fluviale ha mandato in oscillazione lo specchio d'acqua in cui il materiale della piena si deposita. Quest'ultima possibilità apre uno scenario secondo cui la Formazione di Ranzano non è composta

PROGETTO CARG

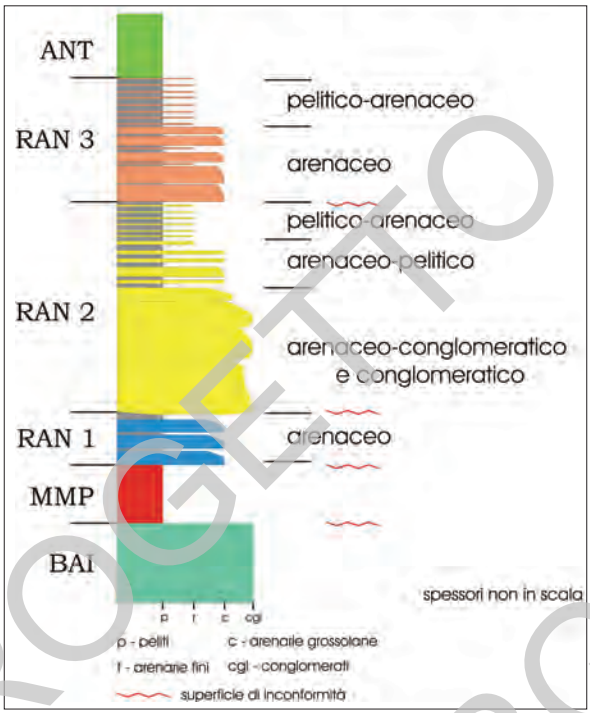


Fig. 23 - *La successione stratigrafica della Formazione di Ranzano nell'area di Zavattarello-Calghera, nella zona orientale del Foglio 178-Voghera.*

Fig. 24 - *La base di RAN_3, rappresentata da RAN_{3a}, nell'area di Pozzol Groppo (Val Curone). Il contatto tra i depositi grossonani e le peliti è nettamente erosivo con strutture da carico (Foto L. Papani).*

PROGETTO CARG

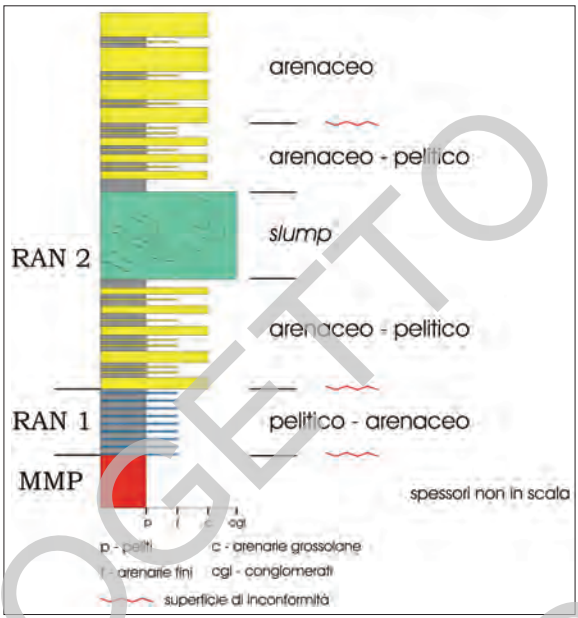


Fig. 25 - *La successione stratigrafica della Formazione di Ranzano nell'area di Ruino, nella zona nord-orientale del Foglio 178-Voghera.*

da sedimenti torbiditici "classici" ma da sedimenti torbiditici deposti in un bacino marino poco profondo e strettamente legato alla presenza di *fan-delta*;

- *Litofacies arenaceo-pelitica* (**RAN$_{3b}$**) - affiora soprattutto in Val di Nizza - Val Ardivestra ed è costituita di strati da sottili a spessi di arenarie da grossolane a fini, con geometria piano-parallela e rapporto arenaria/pelite da <1 a >1; le strutture sedimentarie sono costituite da gradazione positiva e tappeti di trazione, oltre a lamine del tipo b e c di Bouma. Facies tipo (F7) F8-F9 di Mutti (1992);
- *Litofacies pelitico-arenacea* (**RAN$_{3c}$**) - affiora in un'area molto limitata nei pressi di Calghera, tra la Val di Nizza e la Val Ardivestra; è costituita da strati da molto sottili a medi di arenarie medie e fini, con geometria piano-parallela e rapporto arenaria/pelite <1. Le strutture sedimentarie sono lamine del tipo b e c di Bouma: facies tipo F8 e F9 di Mutti (1992).

Lo spessore del membro è stimabile tra i 300 e i 400 m.

Nel complesso si può dire che **RAN$_2$** ha un punto d'entrata del sedimento nella zona di Zavattarello, da dove i flussi torbiditici evolvono in direzione W e NW.

Per ciò che concerne **RAN$_3$** più che di un punto di entrata si può parlare di area d'entrata del sedimento, che è localizzata al margine settentrionale del

PROGETTO CARG

bacino (zona di Pozzol Groppo - Piumesana - Monte Gazzolo - Fornace), dove sono concentrate le litofacies conglomeratiche: da qui i flussi evolvono molto rapidamente verso S a sedimenti più fini.

4.4. - Formazione di Antognola (**ANT**)

La Formazione di Antognola (cfr. Marne di Antognola *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971; Marne di Bosmenso *p.p.*, Cavanna *et alii*, 1989) presente in tutto l'Appennino settentrionale tra la Provincia di Bologna e quella di Pavia e nel Monferrato, è il risultato di un parziale emendamento delle Marne di Antognola, originariamente definite da Thieme (1961) e Pieri (1961), e che, in Emilia, comprendevano anche i sedimenti della litofacies a forte componente silicea (membro selcioso *Auct.*), ora confluiti nella Formazione di Contignaco. L'unità è stata formalizzata in Delfrati *et alii* (2006).

La formazione è costituita da marne e marne argillose verdognole o grigie, a stratificazione piano-parallela mal visibile, con caratteristiche patine manganesifere sulle superfici di frattura. Fratturazione concoide o con tipiche superfici concentriche. Il limite inferiore è graduale con il membro di Varano de' Melegari (**RAN$_3$**) della Formazione di Ranzano; quello superiore è sempre graduale, con la Formazione di Contignaco.

Lo spessore massimo della formazione, stimato, è di circa 200 m.

La Formazione di Antognola è interpretata come sedimento pelagico deposto in un bacino non molto profondo e rappresenta una stasi negli apporti sedimentari grossolani nel prisma ligure.

In località Caseo, al contatto tra Formazione di Val Luretta - membro di Poviago e Formazione di Antognola, è stata campionata la sezione rappresentata in Fig. 26. In questo affioramento sono stati raccolti 3 campioni CS1, CS2 e CS3.

Le associazioni a nannofossili sono dominate da forme paleocenico-eoceniche quali *Discoaster* a "rosetta", *Chiasmolithus* spp., *Sphenolithus* spp., ma, soprattutto nel campione CS1, sono presenti rari individui di *Discoaster deflandrei* Bramlette & Riedel, *S. ciperonensis* Bramlette & Wilcoxon e *Helicosphaera granulata* (Bukry & Percival) attribuibili all'Oligocene superiore - Miocene (Rupeliano superiore - Aquitaniano). Anche i foraminiferi confermano questa datazione, in quanto sono presenti foraminiferi planctonici eocenici e oligocenici quali *P. opima opima* (Bolli) e *c. cubensis* (LCO) insieme a rarissimi *taxa* miocenici come *Globigerinoides* sp. e *Neogloboquadrina dutertrei* (D'Orb.), oltre a una abbondantissima fauna a foraminiferi bentonici caratterizzata da *Melonis padanum* (Perconig), *Stilostomella consobrina* var. *emaciata* (Reuss), *Dentalina leguminiformis* (Batsch), *Brizalina* aff. *dilatata* (Reuss), *Oridorsalis umbonatus* var. *stellatus* (Silvestri). I dati biostratigrafici ottenuti hanno quindi portato a porre in corrispondenza di questa sezione il limite tra Formazione di Antognola (campione CS1) e il membro di Poviago della Formazione di Val Luretta.

Attribuzione cronologica. Nell'area-tipo (Foglio 218-Castelnovo ne' Monti) l'età della Formazione di Antognola è compresa tra il Rupeliano terminale (zona

PROGETTO CARG

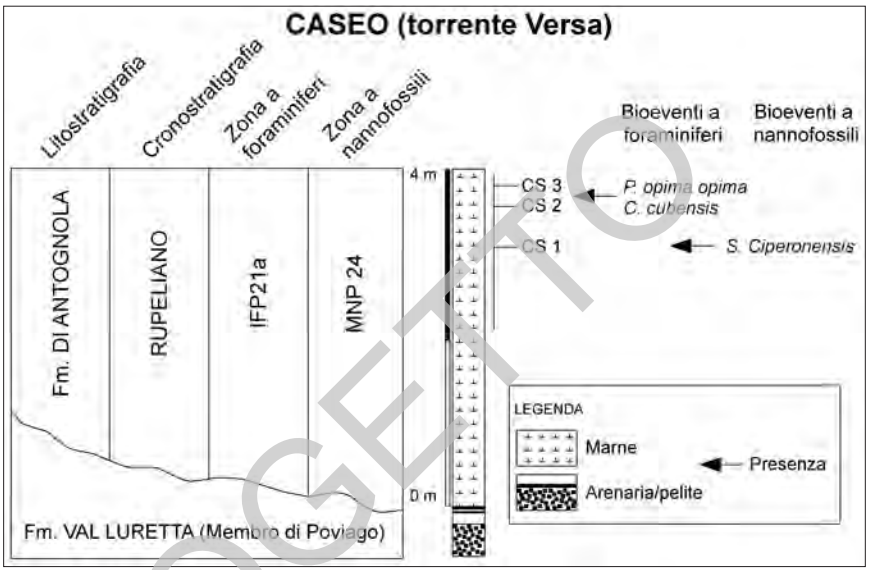


Fig. 26 - *Sezione di campionamento della Formazione di Antognola in località Caseo.*

MNP23 avanzata) e l'Aquitaniano (zona MNN1d). Nel Foglio 71 Voghera scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971) le Marne di Antognola erano datate all'Eocene superiore - Miocene pre-Langhiano, probabilmente perché vi erano compresi sedimenti molto fini che ora sono attribuiti alla Formazione di Ranzano o alle Marne di M. Piano. Le analisi biostratigrafiche effettuate nell'ambito del Foglio (loc. Caseo - Fig. 26, loc. Stefanago e loc. Gravanago), relativi alla parte inferiore della formazione danno un'età Rupeliano superiore - Aquitaniano.

4.5. - Brecce Argillose della Val Tiepido - Canossa (**MVT**)

In questa unità viene compresa una serie di corpi rocciosi a tessitura caotica precedentemente cartografati (Foglio 71 Voghera scala 1:100.000, Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971) come "Complesso Caotico" e come "Complesso Indifferenziato", che affiorano nella zona centrale del Foglio (zona di Borgo Priolo - Borgoratto Mormorolo) e nella zona meridionale, a ridosso della Linea Villalvernia-Varzi. La tessitura dei depositi è caotica del tipo *block in matrix*, e si ritiene che la loro origine sia dovuta ad una serie di frane sottomarine. Sul terreno è possibile individuare, in alcuni casi, "lembi monoformazionali", generalmente di argille varicolori *s.l.*. Si tratta di depositi a tutti gli effetti molto simili a quelli delle brecce argillose di Baiso, dalle quali si distinguono

PROGETTO CARG

essenzialmente per la posizione stratigrafica. I depositi di frana sottomarina delle brecce argillose della Val Tiepido - Canossa, che affiorano, come già detto, in tutto l'Appennino settentrionale, costituiscono una formazione che presenta rapporti stratigrafici complessi con la Formazione di Antognola: secondo gli Autori del Foglio 219-Sassuolo (Gasperi *et alii*, 2005) le brecce argillose della Val Tiepido - Canossa "*possono essere sottoposte ad ANT, o essere intercalate a più livelli in ANT oppure, infine, ... contenere lembi e/o clasti o orizzonti riferibili ad ANT*". Nell'ambito del Foglio 178-Voghera possiamo dire che l'unità è interamente compresa nella Formazione di Antognola, apparentemente nella sua parte superiore: lo si osserva in più punti, nella zona di Musigliano - M. Penola, a ridosso della Linea Villalvernia-Varzi, nella zona di Moglie e Mutti, in Val Staffora, e a Vignola, sempre in Val Staffora.

Nell'Appennino emiliano la Formazione è stata suddivisa in membri, le cui differenti litologie riflettono quelle delle unità Liguri su cui poggiano nelle varie aree d'affioramento. Nel Foglio 178-Voghera sono state distinte due litozone (**MVT_a** e **MVT_b**), sostanzialmente in base alla presenza o assenza di abbondanti argille varicolori *s.l.* nella matrice, che affiorano nelle medesime aree e che sono in contatto tramite una superficie di discontinuità. Gli spessori sono variabili, raggiungendo al massimo i 200 m (Fig. 27).

Attribuzione cronologica. La formazione, nel Foglio 178-Voghera, viene attribuita al Chattiano? - Aquitaniano; da letteratura (Papani, 1971; Fregni & Panini, 1988) e dai dati della Nuova Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 dell'Appennino emiliano (per es., Fogli 218, 219, 220, 236, 237, 238), è aquitaniana, con incertezza riguardo al fatto che la base possa essere ancora nel Chattiano.

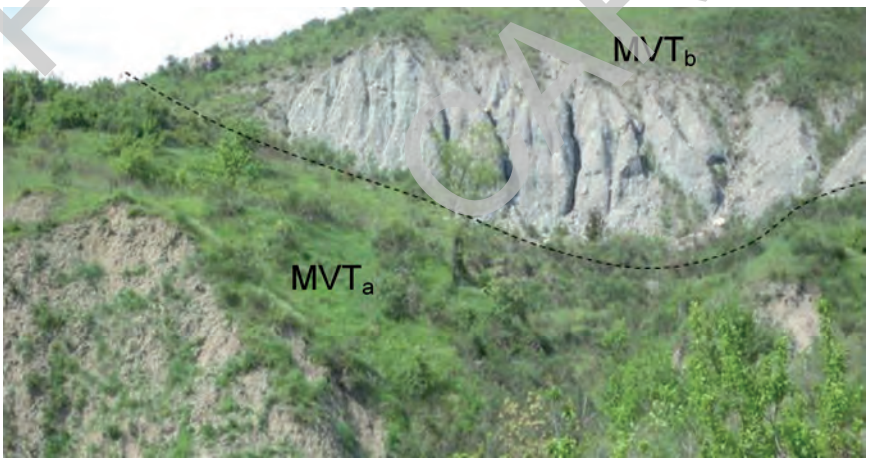


Fig. 27 - *Brecce argillose della Val Tiepido - Canossa: contatto stratigrafico tra la litozona superiore (MVT_b) e quella inferiore (MVT_a) nei pressi di M. Fratello (Valle Ghiaia di Coppa). Lo spessore di MVT_b è di circa 10-15 m (Foto G. Tucci).*

PROGETTO CARG

4.5.1. - *Litozona inferiore* (**MVT_a**)

È costituita da brecce argillose a matrice argillitica rossastra, entro la quale sono dispersi clasti e olistoliti **(cc**, **ra)** riconducibili alle sottostanti formazioni Liguri (argille varicolori di Cassio, arenarie di Scabiazza, flysch ad Elmintoidi *s.l.*, calcari tipo palombini).

4.5.2. - *Litozona superiore* (**MVT_b**)

È formata da brecce argillose a matrice argillitica grigia, entro la quale sono dispersi clasti e olistoliti **(cc**, **ra)** riconducibili alle sottostanti formazioni Liguri (rare argille varicolori di Cassio, arenarie di Scabiazza, flysch ad Elmintoidi *s.l.*, calcari tipo palombini, sporadiche ofioliti) e, forse, Epiliguri (Formazione di Ranzano).

4.6. - Formazione di Contignaco (**CTG**)

La Formazione di Contignaco (cfr. Marne di Monte Lumello, Bellinzona *et alii*, 1971), presente in tutto il settore N dell'Appennino settentrionale, è stata istituita da Pieri (1961) e Marchesi (1961b) con la denominazione di "tripoli di Contignaco", ma è stata spesso utilizzata in letteratura con il rango di membro sommitale della Formazione di Antognola, situazione derivante dal fatto che Thieme (1961), nel descrivere la sezione tipo delle Marne di Antognola vi incluse, al tetto, dei sedimenti (membro selcioso *Auct.*) che, in seguito (durante i lavori dei Fogli 1:50.000 dell'Appennino emiliano), si dimostrarono coevi del "tripoli di Contignaco": per questo motivo, fu istituita la "Formazione di Contignaco" (Papani *et alii*, 2002; Bettelli *et alii*, 2002), nella quale sono stati riuniti i sedimenti di età miocenica inferiore caratterizzati dall'elevato contenuto in silice. L'unità è stata formalizzata da Delfrati *et alii* (2006). Per questa ragione è stata estesa all'area pavese questa denominazione che sostituisce la precedente, marne di Monte Lumello (Miocene pre-Langhiano - Langhiano).

La formazione è costituita da marne siltose grigie e da marne calcaree chiare, alle quali si intercala, nella parte inferiore, una successione di strati arenaceo-pelitici spessa circa 20 m, caratteristica della formazione è la presenza di silice che, da letteratura, è di origine sia biogenica che vulcanica: quando è diffusa nel sedimento il livello corrispondente si presenta come molto competente e con tipica frattura scheggiosa, associata a patine nerastre manganesifere sulle superfici di frattura; più raramente, la silice può presentarsi concentrata in liste o lenti scure.

Nel Foglio 178-Voghera la formazione affiora diffusamente nell'area centrale con spessori variabili ma contenuti entro i 300 m. Il limite inferiore è transizionale con la Formazione di Antognola; il limite superiore è, per discordanza, con le arenarie di Monte Vallassa.

PROGETTO CARG

La Formazione di Contignaco è interpretata come sedimento pelagico deposto in un bacino non molto profondo.

In località Casa Cucchi (Fig. 28), in corrispondenza di una cava abbandonata, si ha una discreta esposizione con la presenza di pteropodi e abbondanti resti di *echinodermata*.

Attribuzione cronologica. I dati biostratigrafici raccolti nell'area-tipo (Foglio 198-Salsomaggiore Terme) e nell'Appennino emiliano indicano per la Formazione di Contignaco un'età Aquitaniano superiore - Burdigaliano inferiore e, viste le affinità litologiche e la posizione stratigrafica, si ritiene che anche nel Foglio 178-Voghera possa essere attribuita questa età.

4.7. - Arenarie di Monte Vallassa (**AVL**)

Le arenarie di Monte Vallassa sono presenti con questa denominazione nella seconda edizione del Foglio 71 Voghera della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971). In esso sono cartografate come arenarie di Monte Vallassa le "placche" di Pizzocorno-Pietragavina e del Monte Vallassa, mentre tutte le arenarie di età Miocene medio affioranti nel settore settentrionale del Foglio sono riferite alle arenarie di Serravalle.

Fig. 28 - *Panoramica della cava abbandonata presente in località Casa Cucchi impostata nelle successioni arenaceo-marnose della formazione di Contignaco (Foto P.L. Vercesi).*

PROGETTO CARG

Le arenarie di Monte Vallassa, ed in particolare il loro ricco contenuto fossilifero, erano state oggetto di studio a partire dal XIX secolo (Mariani, 1887), e successivamente sono state analizzate in diversi lavori da Boni (1932, 1933, 1943).

Le migliori sezioni per osservare con continuità i caratteri litologici e sedimentologici delle arenarie di Monte Vallassa si trovano sul versante meridionale del Monte Vallassa (Guardamonte), a Pizzocorno e lungo il Rio Spizzirò (tra Vignola e Spizzirò a S di Pizzocorno), tra Albareto e Oramala a N di Varzi e a Sant'Albano. Nella profonda incisione del Rio Mola, a monte del centro di Valverde, è presente un'ottima sezione ma di difficile accessibilità.

Le arenarie di Monte Vallassa, in ragione della maggior competenza rispetto alle unità prevalentemente argillose sottostanti e delle prevalenti giaciture suborizzontali, costituiscono "placche" morfologicamente rilevate, delimitate da ripidi pendii e scarpate e in genere ricoperte da vegetazione arborea, in contrasto con le aree coltivate circostanti. Questi elementi si trovano in posizione strutturale sommitale rispetto all'edificio orogenico costituito dalle Unità Epiliguri pre-Miocene medio e dalle Unità Liguri.

Il maggiore di tali elementi è la grande "placca" di Pizzocorno-Pietragavina, che si estende longitudinalmente per circa 9 km sullo spartiacque tra la Val Staffora, la laterale Val di Nizza e la Val Tidone. Sul versante opposto della Val Staffora, in corrispondenza dello spartiacque con la Val Curone, la formazione costituisce la sommità dei rilievi del Monte Vallassa e del Monte Penola, tra Serra del Monte, San Ponzo Semola e Bagnaria. Le arenarie di Monte Vallassa sono inoltre presenti a Fortunago, al Monte Calcinera sullo spartiacque tra la Val di Nizza e la valle del Torrente Ardivestra, a Sanguignano e Montesegale (Bregne), e a SW di Borgo Priolo tra le località Pianetta e Cà de' Guerci. Si osservano poi nella successione del margine collinare tra Nazzano a SW e Calvignano a NE.

La formazione è costituita da arenarie bioclastiche e biocalcareniti, brunogiallastre in patina e grigie in frattura, a molluschi (ostreidi e pectinidi, gasteropodi), briozoi, foraminiferi bentonici, alghe, più rari brachiopodi ed echinidi. In subordine sono presenti conglomerati fini a bioclasti e biocalciruditi, con clasti di rocce metamorfiche verdi. Si intercalano marne sabbiose grigio-azzurre bioturbate, prevalenti nella parte bassa della successione del Monte Vallassa.

La stratificazione è in genere mal definita e le arenarie si presentano per lo più massive o in strati amalgamati, talora molto alterati a formare banchi sabbiosi; a tratti è evidente la stratificazione obliqua. Le bancature sono comunemente caratterizzate da aspetto nodulare, connesso a cementazione differenziale. La rielaborazione per bioturbazione e diagenesi è intensa e diffusa; in alcuni affioramenti tuttavia si osservano strati di 10-20 cm di spessore, con laminazione incrociata a scala sia centimetrica che decimetrica. Ove preservati, gli strati a base netta e talora erosionale, con laminazione obliqua e intercalati a sabbie e marne sabbiose bioturbate, presentano i caratteri tipici delle tempestiti.

Nel settore nord-orientale della placca di Pizzocorno si rinvengono frequenti fratture riempite da silice.

PROGETTO CARG

Nella parte superiore della successione del Monte Vallassa le arenarie bioclastiche grossolane presentano fori di litodomi, indicatori del permanere di condizioni di acque basse; alla sommità di tale successione si riconosce un orizzonte residuale a pettinidi e ostreidi.

In sezione sottile le arenarie di Monte Vallassa si presentano come areniti ibride ricche di bioclasti di organismi di acqua bassa: foraminiferi bentonici e meno comuni planctonici, alghe, briozoi, bivalvi e gasteropodi. Tra gli altri costituenti intrabacinali si riconoscono intraclasti pelitici e granuli di glauconite. La componente extrabacinale è rappresentata principalmente da frammenti di rocce metamorfiche ad affinità ofiolitica; rari sono i frammenti di rocce sedimentarie e granitoidi. I granuli ofiolitici sono riconducibili primariamente al detritismo alpino ma potrebbero essere connessi al riciclaggio locale delle Unità Epiliguri di età pre-Burdigaliano superiore, che presentano una importante frazione detritica di origine alpina.

Lo spessore massimo conservato è compreso tra 350 e 400 metri.

Le arenarie di Monte Vallassa si trovano in discordanza angolare sulla Formazione di Contignaco e, in assenza di quest'ultima, sulla Formazione di Antognola o sulle brecce argillose di Baiso. La discordanza angolare, evidente dall'assetto strutturale, è ben visibile alla scala dell'affioramento sul versante nord-occidentale del Monte Calcinera (Gelati *et alii*, 1974) e, soprattutto, nella zona di testata del Rio Mola (Fig. 29).

Fig. 29 - *Testata del Rio Mola: sulle successioni quasi verticalizzate della formazione di Contignaco appoggiano, in discordanza angolare, le arenarie di Monte Vallassa (zona boscosa, in alto a destra) (Foto P.L. Vercesi).*

PROGETTO CARG

La discordanza alla base delle unità di piattaforma del Miocene medio, di importanza regionale in analogia all'*unconformity* alla base del Gruppo di Bismantova, rappresenta il sigillo alla fase di strutturazione burdigaliana negli Appennini settentrionali ed è associata da una lacuna stratigrafica che interessa la successione epiligure di età Eocene medio - Miocene inferiore a diversi livelli stratigrafici.

Il limite superiore delle arenarie di Monte Vallassa, riconoscibile solo al margine collinare, è con le marne di S. Agata Fossili; si tratta ancora di un limite discordante. In tutti gli altri settori le arenarie di Monte Vallassa costituiscono le dorsali dei rilievi e il limite superiore non è presente.

Le note macrofaune delle arenarie di Monte Vallassa comprendono bivalvi (pectinidi tra cui *Chlamys* e *Pecten*, ostreidi), gasteropodi, alghe, briozoi, coralli, brachiopodi, echinidi. I bivalvi possono raggiungere le dimensioni di qualche centimetro. Comuni tra i foraminiferi bentonici sono *Uvigerina barbatula* Macfadyen e *Stilostomella verneuili* (D'Orb.).

Si tratta di sedimenti di ambiente litorale e di piattaforma interna e esterna, con una componente terrigena associata alla sedimentazione carbonatica di piattaforma a foraminiferi bentonici, molluschi e alghe. Nell'insieme sono marcate le analogie con le piattaforme carbonatiche di clima temperato (*foramol*) di Carannante *et alii* (1988). Le condizioni necessarie per l'instaurarsi di una piattaforma carbonatica si realizzano in corrispondenza degli alti strutturali formatisi in seguito alla fase deformativa burdigaliana. L'intensa obliterazione delle strutture sedimentarie connessa alla diagenesi rende difficile identificare unità di rango inferiore, che consentano una miglior correlazione con le unità del Gruppo di Bismantova nell'Appennino emiliano.

Evidenze di tettonica sinsedimentaria attiva durante le prime fasi della deposizione delle arenarie di Monte Vallassa sono costituite da faglie distensive, chiaramente osservabili a Livelli, che dislocano la discordanza basale e sono connesse a deformazioni estensionali nelle porzioni dorsali del cuneo orogenico in sovrascorrimento (Perotti & Zoccarato, 2000; Carruba *et alii* 2000).

Attribuzione cronologica. La base dell'unità è riferibile al Langhiano e dubitativamente al Burdigaliano superiore (cfr. discussione relativa alla base del Gruppo di Bismantova nell'Appennino emiliano in Papani *et alii*, 2002). In considerazione del carattere discordante della base dell'unità e della dispersione geografica delle diverse aree di affioramento, presumibilmente non in originaria continuità fisica, è ipotizzabile che nell'insieme la base delle arenarie di Monte Vallassa sia diacrona. Alla discordanza basale con la Formazione di Contignaco è associata una lacuna stratigrafica di circa 3 milioni di anni.

Il limite superiore, riconoscibile esclusivamente, in scarse condizioni di esposizione, nella successione del margine collinare è genericamente attribuibile al Serravalliano, ed è comunque ancora caratterizzato da una lacuna stratigrafica di ampiezza variabile.

PROGETTO CARG

4.8. - Marne di S. Agata Fossili (**SAF**)

La denominazione marne di S. Agata Fossili è nata nel Bacino Terziario Piemontese e designa sedimenti argillosi e marnosi grigio-azzurri, intensamente bioturbati, a stratificazione mal distinguibile, cui si alternano sottili strati arenacei grigi bioturbati. Nella parte inferiore si possono rinvenire corpi arenacei o conglomeratici risedimentati. Tali sedimenti sono generalmente attribuibili ad un ambiente di piattaforma esterna o di scarpata (cfr. Ghibaudo *et alii*, 1985; Festa *et alii*, 2009; Polino & Clari, 2003; note illustrative del Foglio 194-Acqui Terme) che verso l'alto evidenzia una sedimentazione di minor profondità che passa a depositi di tipo evaporitico.

Le marne di S. Agata Fossili corrispondono alla formazione del Termina cartografata negli altri Bacini Epiliguri.

Conti *et alii* (2005) segnalano la presenza di un ammasso di carbonati autigeni metanoderivati (Calcari a Lucine *Auct.*) in località Cappella Montà (località già nota, Giulietti, 1900); le analisi biostratigrafiche hanno posizionato tale ammasso al Serravalliano superiore - Tortoniano inferiore, e gli Autori lo hanno inquadrato nella formazione del Termina, che racchiude i sedimenti di età Serravalliano superiore - Messiniano inferiore dei Bacini Epiliguri appenninici.

Nel Foglio 178-Voghera la formazione (cfr. Marne di S. Agata Fossili, Bellinzona *et alii*, 1971) affiora in una ampia fascia allungata in direzione WSW-ENE compresa tra la Valle Staffora e Palazzo Pegazzera. Inoltre, affiora in lembi isolati al M. Pernione e a S di Barisonzo. È costituita da marne e marne siltose o sabbiose grigio-azzurre con intercalazioni arenacee verso il basso, in strati poco regolari e a stratificazione poco netta. Frequenti gasteropodi, coralli singoli e microforaminiferi.

Le marne di S. Agata Fossili appoggiano sulle arenarie di Monte Vallassa e sono sormontate dai depositi del Gruppo Gessoso Solfifera (**GS**), in genere dalla formazione di Sapigno. Il passaggio, nel Foglio 178-Voghera, non è mai direttamente visibile sul terreno ma non sembra essere discontinuo. Nella zona di Mondondone, infatti, le marne tortoniane evolvono, attraverso alcuni strati di calcari cariati, alla formazione di Sapigno. In altre località, appena a N del Foglio 178-Voghera (zona di Rocca Ticozzi, Vercesi & Scagni, 1985), si ha il passaggio continuo dalle marne di S. Agata Fossili attraverso marne azzurre contenenti faune oligotipiche a *Rectouvigerina gaudrynoides* (Lipparini), *R. siphogenerinoides* (Lipparini), *Bulimina echinata* D'Orb., *B. aculeata* D'Orb., ecc., con piste di *Diplocraterium*, ai livelli evaporitici (calcari cariati e calcari dolomitici), sormontati a loro volta dai conglomerati di Cassano Spinola.

Nell'area compresa tra il T. Staffora e il T. Rile le marne di S. Agata Fossili sono sormontate, in discordanza angolare, dai conglomerati di Cassano Spinola. La loro messa in posto è avvenuta con meccanismi fluviali che hanno eroso i depositi marini attraversati, elidendoli in diverse zone in modo rilevante.

Il passaggio ai soprastanti conglomerati di Cassano Spinola si può osservare nei pressi delle Fonti Minerali di Retorbido, dove a facies marnoso-siltose si

PROGETTO CARG

sovrappongono facies marnoso-sabbiose e successivamente i conglomerati.

Nella zona di Palazzo Pegazzera (a SE) nelle marne sono state riscontrate *Burseolina calabra* Seguenza, *Bolivina miocenica* (Gianotti) e *Brizalina arta* (Macfadyen), che hanno permesso di riferire i depositi al Tortoniano.

Lo spessore dell'unità non è direttamente ricostruibile sul terreno data la scarsità degli affioramenti e le condizioni di giacitura difficili da identificare; esso è comunque stimabile in diverse decine di metri.

Nella zona tra il T. Coppa e il T. Schizzola, all'interno delle diffuse facies marnoso-siltose, sotto l'abitato di Torre Bianchina affiorano depositi prevalentemente conglomeratici ben cementati, che sembrano sfumare verso N ad arenarie, talvolta ciottolose, quindi a silt e argille marnoso-siltose.

Attribuzione cronologica. Tortoniano - Messiniano inferiore.

4.9. - Brecce Argillose di Costa Pelata (**BPE**)

Le brecce argillose di Costa Pelata (cfr. Complesso Caotico *p.p.*, Bellinzona *et alii*, 1971) affiorano in località omonima, nei pressi di Borgoratto Mormorolo; sono composte da brecce argillose poligeniche eterometriche, ad assetto caotico, con clasti e blocchi calcarei chiari, arenacei grigi e argillitici immersi in una matrice argillosa grigia.

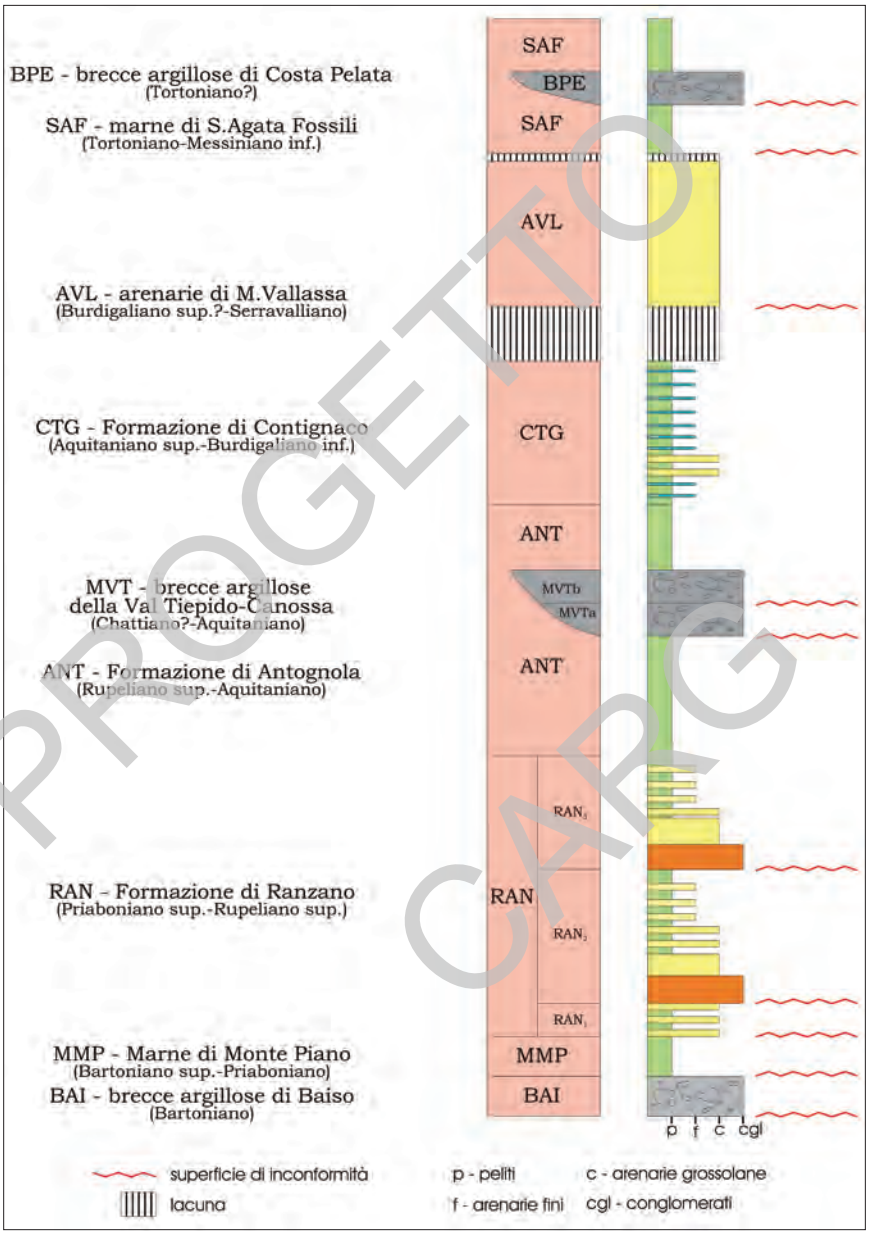
La loro caratteristica principale è quella di contenere alcuni grandi blocchi (**va**) di sedimenti arenitici bioturbati, verosimilmente riconducibili alle arenarie di Monte Vallassa. Questo consente di distinguerle senza incertezze dai depositi delle brecce argillose della Val Tiepido - Canossa, sui quali poggiano in discordanza, con lacuna corrispondente almeno a tutto il lasso di tempo in cui si deponevano le arenarie di Monte Vallassa. Allo stato attuale non è possibile chiarire i rapporti con le marne di S. Agata Fossili, che in quest'area del bacino non affiorano; non sappiamo, perciò, se l'unità BPE precede le marne di S. Agata Fossili (essendo perciò di età Serravalliano superiore), se è coeva o se le segue, essendo, quindi, di età Messiniana. Si ritiene probabile, comunque, che le brecce argillose di Costa Pelata siano coeve dei molti corpi caotici, e fenomeni correlati, presenti nel Tortoniano dell'Appennino settentrionale: in Piemonte gli *slump scar* all'interno delle marne di S. Agata Fossili segnalati da Ghibaudo *et alii* (1985); in Emilia-Romagna, membro di Montardone, **TER$_1$**, della formazione del Termina, lo "*Slump* di Monte dei Frati" alla base della formazione Ghioli di Letto, **GHL**, del Tortoniano, nonché il "*Melange* sedimentario della Valle del Savio", **MVS**, Tortoniano. In questo senso le brecce argillose di Costa Pelata sarebbero comprese nell'intervallo di deposizione delle marne di S. Agata Fossili.

La loro genesi è dovuta a colate sottomarine. Lo spessore osservato a Costa Pelata è di circa 100 m.

Attribuzione cronologica. Tortoniano?

I rapporti stratigrafici tra le Unità Epiliguri sono schematizzati in figura 30.

PROGETTO CARG



PROGETTO CARG

Fig. 30 - *La Successione Epiligure del Foglio 178-Voghera; sono state evidenziate le superfici di inconformità (parte destra della figura: in giallo le arenarie, in verde le peliti, in arancione i conglomerati, in azzurro i banchi silicei, in grigio i corpi caotici).*

5. - SUCCESSIONE POST-FASE MESSINIANA

5.1. - Gruppo Gessoso Solfifera (**GS**)

Il termine Formazione Gessoso-Solfifera, si è diffuso a partire dalla seconda metà dell'800 per indicare un complesso di depositi evaporitici e terrigeni di età miocenica superiore affioranti in tutta l'area italiana. Nell'unità erano comprese sia facies evaporitiche di precipitazione primaria da acque marine e non-marine, sia facies clastiche che costituiscono in molte aree successioni fisicamente distinte dai depositi primari, e rappresentano localmente l'intera formazione Gessoso-Solfifera. Studi recenti suggeriscono che le evaporiti clastiche, derivanti dallo smantellamento e accumulo di evaporiti primarie in bacini relativamente profondi attraverso processi gravitativi, poggino sulla discontinuità intra-messiniana, risultando quindi più recenti delle evaporiti primarie.

Il limite superiore, sincrono, è posto in coincidenza al ritorno a condizioni marine franche alla base dello Zancleano; il limite inferiore, diacrono, è dato dalla prima comparsa di depositi evaporitici primari (carbonati, solfati o cloruri) o clastici.

L'unità è stata formalizzata da Roveri & Manzi (2007) e suddivisa in formazione della Vena del Gesso (evaporiti primarie, prevalentemente selenitiche) e formazione di Sapigno (evaporiti clastiche risedimentate).

5.1.1. - *Formazione di Sapigno* (**GNO**)

Si tratta di una formazione molto eterogenea, composta da marne, calcari, calcari cariati, argille, arenarie e gessi con prevalenti gessoareniti e gessoruditi; microfaune oligotipiche: *Rectuvigerina siphogenerinoides* (Lipparini), *R. gaudrynoides* (Lipparini), *Bulimina echinata* D'Orb., ecc.. Corrisponde alla Formazione gessoso-solfifera *Auct.*.

Litologicamente la successione è eterogenea ed è composta, dalla base verso la sommità, da marne più o meno siltose, marne gessose con intercalate lenti di calcari cariati e gessi, e da marne con alternate gessoareniti. Facies tipica: alternanze marnoso-sabbiose con noduli gessosi o lenti di gesso selenitico.

Nella zona orientale (Palazzo Pegazzera) le marne grigio-azzurre hanno rivelato una fauna oligotipica a *Brizalina dentellata* (Tavani), *B. dilatata* (Reuss), *Bulimina aculeata* D'Orb. e *B. echinata* D'Orb. (Scagni & Vercesi, 1987).

Affiora in un'ampia fascia diretta WSW-ENE, al margine collinare tra il T. Staffora e il T. Schizzola, in lembi isolati tra il T. Schizzola e il T. Coppa, mentre a NE del T. Coppa le successioni sono visibili solo a E di Palazzo Pegazzera. Lo spessore stimato nella zona di Mondondone è di circa 50-60 m.

Le caratteristiche litologiche sono tipiche di piccoli bacini, poco profondi,

PROGETTO CARG

dove alla sedimentazione marina "normale" se ne associa una di tipo evaporitico e clastico, con rimaneggiamento dei depositi gessosi.

Il limite inferiore è continuo e concordante con le marne di S. Agata Fossili; quello superiore è sfumato con le Argille Azzurre (Palazzo Pegazzera), netto e discordante con la facies conglomeratica nella fascia pedecollinare (conglomerati di Mondondone).

Attribuzione cronologica. Messiniano.

5.1.2. - *Conglomerati di Cassano Spinola* (**CCS**)

L'unità consta di una parte basale formata dai conglomerati di Cassano Spinola con il sovrastante membro delle Arenarie di Monte Arzolo (**CCS_1**).

I conglomerati di Cassano Spinola sono conglomerati di deposizione fluviale, clasto-sostenuti a matrice sabbiosa, con sporadiche tasche sabbiose, in strati lentiformi e talora amalgamati di spessore da metrico a plurimetrico. Al di sopra si hanno conglomerati disorganizzati con abbondante matrice sabbiosa, poco cementati (Boni & Casnedi, 1970).

Le litologie sono alquanto variabili: i conglomerati si presentano, infatti, sia ben cementati a matrice sabbiosa che a matrice pelitica (paraconglomerati). I ciottoli hanno dimensioni che variano da molto grossolane a medie, con indizi di embriciatura (talora evidente) che suggeriscono la provenienza delle correnti dai settori sud-orientali. Talora i conglomerati sono disorganizzati e massivi, in bancate a stratificazione indistinta, ricchi di matrice sabbiosa e con ciottoli raramente embriciati indicando un trasporto fluviale in massa.

Non si osservano resti di macrofossili.

I clasti sono prevalentemente calcarei, e riferibili alla Formazione di Val Luretta o a flysch cretacici tipo flysch di Monte Cassio o flysch di M. Antola. Sono inoltre presenti clasti arenacei probabilmente derivati dalla Formazione di Ranzano, ciottoli di radiolariti, basalti, rare brecce e arenarie ofiolitiche.

I conglomerati di Cassano Spinola affiorano principalmente in due placche separate: all'interno di una sinclinale situata sulla destra del T. Staffora, modellata nei terreni del Miocene inferiore e medio, con asse disposto all'incirca in senso NE-SW passante sulla verticale di Nazzano; sulla destra del T. Staffora sono allungati in direzione NE-SW da Godiasco fino alla congiungente M. Terso-Rocca Susella (sinclinale di Gomo).

Sulla sinistra della Valle Staffora, i conglomerati di Cassano Spinola affiorano ancora all'altezza di Godiasco, ma non sono in diretta connessione con quelli sulla sponda opposta.

Verso N (zona di Palazzo Pegazzera) i conglomerati di Cassano Spinola sono assenti, e si assiste al passaggio tra i calcari cariati e gessi messiniani della formazione di Sapigno e le plioceniche Argille Azzurre attraverso una lacuna stratigrafica.

Lo spessore dell'unità è di circa 180 m.

PROGETTO CARG

Si tratta di depositi continentali riferibili per la maggior parte a un sistema di delta-conoide, al quale si sovrappongono successioni a granulometria progressivamente più fine (membro delle Arenarie di Monte Arzolo e formazione di Luzzano del Foglio 59 Pavia alla scala 1:100.000, Servizio Geologico d'Italia, 1965). L'organizzazione dei depositi dal basso verso l'alto indica una diminuzione dell'attività erosiva nell'area alimentatrice e richiama il graduale colmamento di bacini con la costituzione di zone palustri ricche di legni silicizzati e carbonizzati.

La superficie basale è costituita da una marcata superficie erosiva che taglia i terreni sottostanti. I conglomerati di Cassano Spinola sono sovrapposti alla formazione di Sapigno, alle marne di S. Agata Fossili e alla Formazione di Contignaco. A tetto si trova il membro delle Arenarie di Monte Arzolo o un passaggio sfumato alle sovrastanti Argille Azzurre.

Attribuzione cronologica. Messiniano.

5.1.2.1. - Membro delle Arenarie di Monte Arzolo (**CCS_1**)

Il membro delle Arenarie di Monte Arzolo si presenta con una prevalente facies arenaceo-sabbioso-siltosa. Gli strati sono spesso amalgamati per diagenesi differenziale, con laminazione incrociata concava. Intervallati nella arenarie si hanno rari livelli siltitico-argillosi di spessore centimetrico (Vercesi & Scagni, 1985).

Al M. Cavacchia i depositi sono ricchi di filliti e di frammenti di legni carboniosi e silicizzati. L'ambiente di deposizione è riconducibile a quello fluviale con depositi di barra longitudinale o trasversale e di riempimento di un bacino lacustre. Nella placca di Gomo l'orientazione dei *foreset* indica direzioni di corrente concentriche (depocentro di un locale bacino).

Il membro affiora al di sopra dei conglomerati di Cassano Spinola nella placca conglomeratica di Rocca Susella e nella zona di Gomo-Nazzano. Lo spessore massimo è di circa 100 m.

Attribuzione cronologica. Messiniano superiore.

5.2. - Argille Azzurre (**FAA**)

L'unità è stata formalizzata da Falorni *et alii* (2007). È costituita da argille marnose con livelli più o meno sabbioso-siltosi, di colore grigio azzurro, a frattura concoide sulle superfici fresche e a stratificazione generalmente indistinta. Contengono abbondanti macrofaune (gasteropodi, lamellibranchi, ecc.) e microfaune a *Bolivina piacentina* Zanmatti, *Planorbulina mediterranensis* D'Orb., *Globigerinoides italicus* Mosna & Vercesi, *Globorotalia margarite* Bolli & Bermudez, ecc.

L'unità può comprendere, nella parte inferiore, lenti conglomeratiche fos-

PROGETTO CARG

silifere a struttura massiva (conglomerati di Mondondone, **FAA$_a$**); essa ha uno spessore complessivo di circa 140 m.

In letteratura corrispondono alle Argille di Lugagnano (Laureri, 1964) e alla Formazione di Sparano (Boni, 1967).

Affiorano in una striscia allungata in senso SW-NE lungo il margine dei rilievi, dal Monte Brienzone fino a Palazzo Pegazzera. Sono spettacolari gli affioramenti nella zona degli Orridi di S. Antonino (M. Marcellino).

L'ambiente deposizionale è variabile tra l'epibatiale superiore o di passaggio al circalitorale (acque relativamente profonde) e la parte superiore del circalitorale (Ferrero & Pavia, 1996; Polino & Clari, 2003) indicano questi depositi come di piattaforma terrigena.

Le Argille Azzurre affiorano al di sopra dei conglomerati di Cassano Spinola, con una superficie limite netta, o al di sopra della formazione di Sapigno, con limite litologico segnato da una lacuna stratigrafica (Palazzo Pegazzera). Limite superiore netto e discordante con i depositi quaternari.

Attribuzione cronologica. Zancleano - Piacenziano.

5.2.1. - *Conglomerati di Mondondone* (**FAA$_a$**)

Sono costituiti da un'alternanza di livelli conglomeratici con clasti ben arrotondati e strati sabbiosi e marnoso-sabbiosi che si susseguono con contatti subrettilinei. I livelli conglomeratici hanno matrice sabbiosa e sono, in genere, poco cementati. Non infrequente è la presenza di gasteropodi e lamellibranchi.

Nelle sabbie si hanno sporadiche presenze di laminazioni incrociate a basso angolo.

Affiorano lungo una fascia compresa tra l'abitato di Retorbido e la Val Schizzola con uno spessore massimo di 60 m circa.

La loro presenza, all'interno delle Argille Azzurre, indica un ambiente marino costiero con apporti da una terra prossima.

La base è erosiva su pochi metri di Argille Azzurre discontinue o direttamente sui conglomerati di Cassano Spinola o sulla formazione di Sapigno, mentre al tetto si ha un passaggio sfumato alle Argille Azzurre.

Attribuzione cronologica. L'età, su base stratigrafica, è riferibile allo Zancleano.

5.3. - Sabbie di Asti (**AST**)

Alternanze di sabbie argillose e sabbie gialle più o meno stratificate, con livelli ghiaiosi e intercalazioni marnose. Localmente si riscontrano marne sabbiose, sabbie e arenarie giallastre più o meno cementate, con ricche associazioni a macrofossili, soprattutto molluschi (*Chlamys opercularis*, Linnaeus). Nella parte medio-bassa dell'unità è presente un orizzonte a *Calycimeris insubrica*

PROGETTO CARG

(Brocchi), paleocomunità sviluppata su fondali sabbioso-fangosi a bassa profondità (Ferrero & Pavia, 1996). Nell'area occidentale (Cà de' Maestri) a letto delle sabbie di Asti è stata rilevata la presenza di microtorbiditi (Mantelli & Vercesi, 2000).

Affiorano nella fascia pedecollinare a W del T. Staffora con uno spessore stimato di circa 100 m.

La sedimentazione delle sabbie di Asti è avvenuta a una profondità di una decina di metri, in regime idrodinamico non elevato (Ferrero & Pavia, 1996).

Il contatto basale è, alla scala dell'affioramento, discordante, sulle sottostanti Argille Azzurre (Fig. 31). A tetto si ha il passaggio, con limite ipotizzato di tipo discontinuo e discordante, ai depositi quaternari continentali.

Attribuzione cronologica. Piacenziano - Calabriano.

6. - DEPOSITI QUATERNARI

La definizione delle diverse unità è stata grandemente limitata dalle condizioni di affioramento. Il rilevamento non ha messo in luce affioramenti dove si possa analizzare l'evoluzione verticale delle successioni. I depositi costituiscono

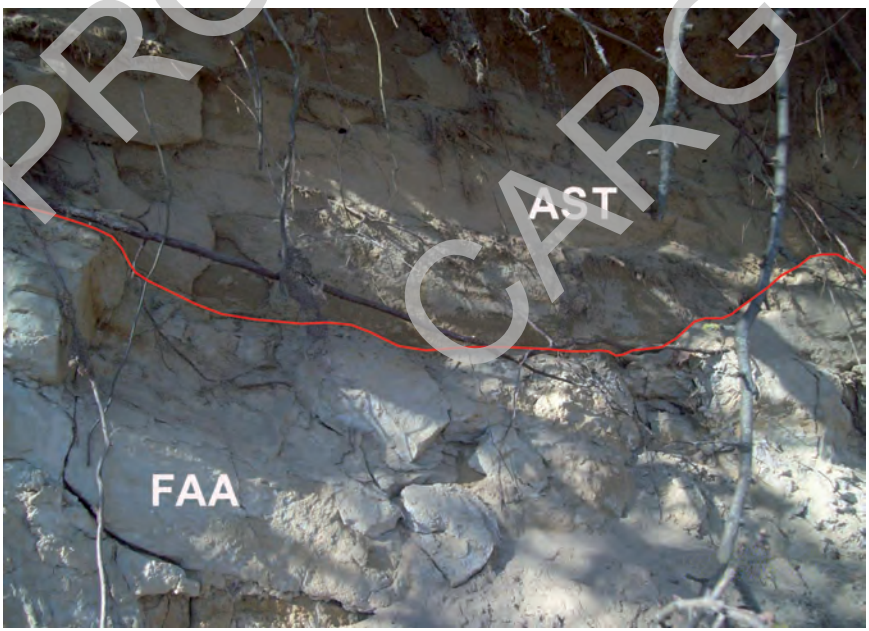


Fig. 31 - *Contatto tra le Argille Azzurre (FAA) e le sovrastanti sabbie di Asti (AST) a W di Monticelli (Foto C. Pasquini).*

PROGETTO CARG

infatti il suolo agrario della pianura e la fascia di collegamento tra la pianura e le alture collinari, e sono quindi ampiamente rimaneggiati dell'attività antropica, soprattutto agricola, che ha obliterato le forme originali.

La presenza di scarpate, ove conservate, è stata utilizzata per suddividere i depositi; dove queste non si sono conservate ci si è basati sulla colorazione del suolo, la differente morfologia e la posizione nell'ambito di una morfologia riconosciuta.

I depositi quaternari sono stati suddivisi in vari bacini corrispondenti alle valli maggiori per due motivi:

- da una parte la scarsità di affioramenti e la conseguente difficoltà a ricostruire la stratigrafia dei depositi e i loro rapporti, non ha consentito di correlare tra loro bacini diversi;
- dall'altra l'evoluzione post-pliocenica del margine appenninico non ha consentito di correlare i depositi della zona di Voghera con quelli emiliani. L'innalzamento differenziale della zona di Stradella - S. Colombano (Pellegrini & Vercesi, 1995) ha infatti comportato il rallentamento e la divagazione delle acque del Po, con instaurazione di un livello di base locale temporaneamente più elevato che ha determinato un effetto soglia.

Nella valle del T. Staffora i depositi sono stati attribuiti a due unità differenti, a causa degli affioramenti in alveo dei depositi delle formazioni delle marne di S. Agata Fossili e dei conglomerati di Cassano Spinola, che hanno costituito una soglia morfologica.

Per quanto riguarda i rapporti con le formazioni sottostanti, nella zona di Boffalora la base dei depositi ascritti al gruppo di Cà d'Andrino è in discordanza sulle sottostanti Argille Azzurre, mentre in altre zone i rapporti non sono direttamente osservabili. È ipotizzabile che la base del sintema di Codevilla sia in discordanza (perlomeno le litofacies ghiaiose) sulle unità sottostanti; la geometria delle unità ed i rapporti stratigrafici tuttavia sono stati ricostruiti sulla base della logica deposizionale e non sono direttamente osservabili.

6.1. - Unità del Bacino del Fiume Po

6.1.1. - *Conglomerati di Monte Brienzone* (**CNZ**)

Definizione. Conglomerati scarsamente cementati a matrice sabbiosa o siltosa rossastra all'alterazione, con ciottoli ben arrotondati e talora embricati, e sabbie con sporadiche strutture a lamine concave verso l'alto (depositi alluvionali).

Sinonimi. Non distinti nella cartografia precedente. Coincidono con la facies conglomeratica continentale segnalata nel Foglio 71 Voghera (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971) al tetto della sabbie di Asti.

Area di affioramento. Placche isolate di qualche decina di metri di spessore massimo, lungo la cresta del Monte Brienzone (Fig. 32), al di sopra dei 1450 m di quota.

PROGETTO CARG

Fig. 32 - *Monte Brienzone: conglomerati a ciottoli arrotondati (Foto C. Pasquini).*

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Limite inferiore erosivo discordante sulle sabbie di Asti; limite superiore erosionale coincidente con la superficie topografica. Affiorano a quote di almeno 100 m superiori alla quota delle placche più elevate attribuite al gruppo di Cà d'Andrino, con le quali non appaiono in relazione diretta. Superficialmente alterati, con matrice arrossata.

Litologia. L'unità comprende depositi alluvionali prevalentemente grossolani:

- conglomerati in banchi metrici, a supporto clastico con abbondante matrice sabbiosa o siltosa; clasti a selezione da discreta a buona a seconda degli orizzonti, con dimensioni da centimetriche a decimetriche, di forma da irregolare ad appiattita, alimentati dalle unità della fascia appenninica a monte; talora embricati, con verso della corrente da SSW (Mantelli & Vercesi, 2000). Cementazione scarsa;
- intercalazioni di sabbie, talora con laminazioni concave verso l'alto.

Morfologia e paleogeografia. Data la evidente discordanza alla base, la diversa facies rispetto alle sabbie di Asti e l'assenza di depositi di transizione, l'unità conglomeratica del Monte Brienzone viene qui scorporata dalle sabbie di Asti e inserita entro i depositi continentali del bacino padano.

Essa costituisce placche isolate dall'erosione, in posizione di cresta, con-

PROGETTO CARG

servate localmente entro una fascia altimetrica nettamente superiore a quella dei più antichi fra i lembi sedimentari attribuiti al gruppo di Cà d'Andrino. In particolare, nel settore in destra dello Staffora ove l'unità affiora, i conglomerati risultano quasi 100 m più alti rispetto ai sedimenti del Gruppo di Cà d'Andrino della località omonima, distante in linea d'aria non più di un km; sembra quindi da escludere che tale dislivello altimetrico possa essere dovuto a movimenti di sollevamento tettonico differenziale successivo alla deposizione di un unico litosoma. Si tratterebbe quindi di un corpo deposto in ambiente già continentale, in una fase precoce del modellamento del territorio, anteriore alla deposizione del Gruppo di Cà d'Andrino; esso è stato successivamente in gran parte smantellato dall'erosione, che ne ha risparmiato solo la porzione profonda, poco alterata e piuttosto cementata.

Mentre in aree limitrofe del pedeappennino i primi depositi continentali sopra le successioni plioceniche (sabbie di Asti) appaiono successivamente sepolti dai depositi alluvionali più recenti della pianura (cfr. Foglio 194-Acqui Terme: sintema di Maranzana), venendo ad affiorare solo in corrispondenza degli incisi, in questo settore si assiste a deformazine e sollevamento del territorio, cosicché i depositi più antichi vengono a trovarsi in posizione elevata ed esposti all'erosione. Questa differente storia post-deposizionale spiega la presenza, in tutta l'area esaminata, di numerosi lembi di depositi continentali, posti a varia quota e di varia età: a differenza di quelli a quote inferiori, ridotti ormai ad alteriti con sparsi ciottoli residuali, i conglomerati di Monte Briezone si distinguono in particolare per aver conservato una significativa porzione del deposito originario, tale da permettere il riconoscimento delle sue caratteristiche sedimentologiche e petrografiche.

Attribuzione cronologica. Non è stato rilevato alcun elemento tale da consentire una datazione assoluta dell'unità; la posizione al tetto delle sabbie di Asti permette quindi un'attribuzione a un generico Pleistocene inferiore, senza che possa essere esclusa a priori una deposizione almeno della parte basale già nel Gelasiano.

6.1.2. - *Gruppo di Cà d'Andrino* (**GD**)

Definizione. Limi, limi sabbiosi e limi argillosi, con sparsi clasti residuali da subarrotondati ad arrotondati (alteriti su depositi alluvionali). Superficie limite superiore troncata dall'erosione; morfologia non conservata, marcatamente in erosione. Pleistocene inferiore? - Pleistocene medio?

Sinonimi. L'unità riunisce depositi cartografati come fl[1] nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Area di affioramento. Placche isolate sui crinali, sottese a superfici subpianeggianti o a bassa inclinazione, presenti in successione fra le quote 170 m s.l.m. e 270 m s.l.m.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Limite inferiore su roccia, non osservato; limite superiore, erosionale, coincidente con la superficie topogra-

PROGETTO CARG

fica. L'unità è troncata inoltre dalla superficie erosionale entro cui sedimenta il gruppo di Torrazza Coste (Fig. 33). Superficie limite superiore caratterizzata da profilo di alterazione troncato, evoluto, con forte arrossamento della matrice fine.

Litologia. Il gruppo comprende placche di suoli sviluppati presumibilmente su depositi alluvionali di alimentazione non definibile, identificati dalla presenza di clasti residuali arrotondati sino ad appiattiti, di litotipi estranei alla successione marina sottostante. Si comprende entro il gruppo anche il conglomerato di Boffalora, lembo isolato di conglomerati scarsamente cementati e ghiaie, talora embriciati a matrice sabbiosa e siltosa, sabbie e silt rossi e arancioni all'alterazione, presente nella omonima località e che ricade nella medesima logica deposizionale e stratigrafica. L'estesa copertura di depositi di colluvio e di colata che ammanta tutte le superfici inclinate, nonché problemi di scala cartografica, portano inoltre a cartografare entro tale unità anche i materiali colati lungo i versanti sottostanti tali placche, che di fatto mascherano il contatto con la successione marina sottostante, impedendo di definire lo spessore delle singole unità a scala locale.

Morfologia e paleogeografia. Morfologia non conservata, se non per le nette riduzioni di pendenza del crinale, intervallate a tratti a pendenza maggiore, che separano singole superfici di massima aggradazione in fasi successive.

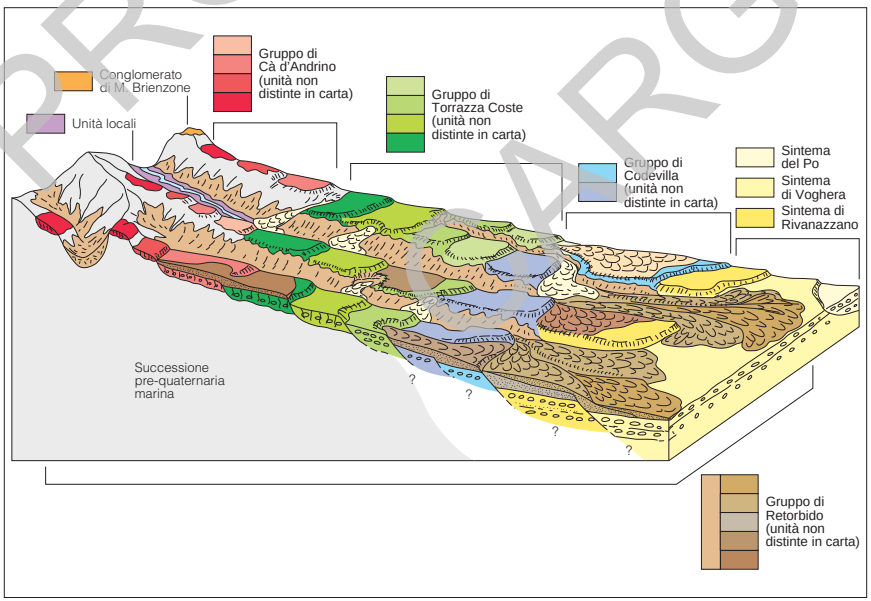


Fig. 33 - *Schema dei rapporti stratigrafici al raccordo fra pedemonte appenninico e pianura padana (dis. C. Ferliga).*

PROGETTO CARG

Attribuzione cronologica. Non esistono attualmente elementi per una datazione dell'unità; in base all'alterazione dei depositi potrebbe essere collocata entro la parte bassa del Pleistocene, senza però riuscire a definire se si tratti del Pleistocene inferiore o piuttosto del medio.

Pleistocene inferiore? - Pleistocene medio?

6.1.3. - *Gruppo di Torrazza Coste* (**TZ**)

Definizione. Limi, limi sabbiosi e limi argillosi, con alla base livelli di ghiaie a supporto di matrice e clasti arrotondati (alteriti su depositi alluvionali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli di spessore superiore alla decina di metri; morfologia parzialmente conservata, marcatamente in erosione. Pleistocene medio?

Sinonimi. L'unità riunisce depositi cartografati come fl[1] nel nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Area di affioramento. Corpi sottesi a superfici subpianeggianti o a bassa inclinazione, presenti in successione fra le quote 140 e 260 m s.l.m.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Limite inferiore su roccia, non osservato; limite superiore coincidente con la superficie topografica, caratterizzato da spessori decametrici di suoli limosi o limoso-argillosi, con livelli di pietre conservati solo nelle porzioni più profonde, lungo le scarpate oltre i 10-15 m al di sotto del piano campagna. L'unità è troncata inoltre dalla superficie erosionale entro cui sedimenta il sintema di Codevilla, nonché dai depositi di colata del gruppo di Retorbido che in parte la rimaneggiano, coprendone la superficie limite inferiore e impedendone la valutazione dello spessore (Fig. 33).

Litologia. Il gruppo comprende corpi di depositi alluvionali identificati dalla presenza alla base di orizzonti di ghiaie a clasti arrotondati, spesso appiattiti e in genere ben selezionati. Litologicamente prevalgono le porzioni pedogenizzate con una granulometria dell'ordine dei limi e limi argillosi, talora sabbiosi, di genesi secondaria e non direttamente correlati alla facies originaria. Vengono cartografati evidenziando la facies di alterazione, in quanto prevalente rispetto agli orizzonti meglio conservati, in cui è leggibile l'originaria facies, e corrispondente al dato granulometrico di superficie.

Morfologia e paleogeografia. Morfologia parzialmente conservata, con ampi tavolati a gradonata lungo i vari crinali, con bordo molto arrotondanto, spesso digradante con continuità da una superficie all'altra, soprattutto lungo i fianchi degli incisi minori. L'unità comprende più episodi deposizionali intervallati da fasi di erosione, legate in parte anche al sollevamento in atto dell'intera area, non facilmente correlabili da un crinale all'altro.

Attribuzione cronologica. Non esistono attualmente elementi per una datazione dell'unità; in base all'alterazione dei depositi potrebbe essere collocata entro il Pleistocene medio.

PROGETTO CARG

6.1.4. - *Sintema di Codevilla* (**LLX**)

Definizione. Limi, limi sabbiosi e limi argillosi, con intercalati orizzonti di ghiaie a clasti da subarrotondati ad arrotondati (depositi alluvionali). Superficie limite superiore troncata dall'erosione, caratterizzata da profilo di alterazione evoluto, con spessore plurimetrico e colori riferibili a 7.5YR; morfologia non conservata, marcatamente in erosione. Pleistocene medio - Pleistocene superiore?

Sinonimi. L'unità riunisce depositi cartografati come fl2 nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Area di affioramento. Il sintema costitutuisce una fascia di ampiezza chilometrica, estesa fra Retorbido e Genestrello, compresa fra gli 80 e i 200 m s.l.m., nonché il gradino di Villa Malbosca in sinistra idrografica dello Staffora.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Il limite inferiore non è stato osservato; lateralmente l'unità si giustappone alla supeficie erosionale che tronca i depositi del gruppo di Torrazza Coste (Fig. 33). Il limite superiore, erosionale, coincide con la superficie topografica, ed è localmente ammantato dai depositi del gruppo di Retorbido. L'unità è troncata inoltre dalla superficie erosionale entro cui sedimenta il sintema di Rivanazzano. Superficie limite superiore caratterizzata da profilo di alterazione troncato, evoluto, con forte arrossamento della matrice fine.

Litologia. Il sintema comprende depositi di origine alluvionale di canale e di bassa energia, variamente alternati verticalmente ed orizzontalmente. Le numerose cave della zona intercettano bancate di limi e limi argillosi arrossati, a cui seguono in profondità depositi ghiaiosi di alimentazione locale, non adatti all'utilizzo per mattoni.

Morfologia e paleogeografia. L'unità ha un netto risalto morfologico sulla pianura circostante, costituendo una superficie rilevata sino a una decina di metri, anche se la morfologia complessivamene appare smembrata dall'erosione, dalla mobilizzazione degli orizzonti pedogenizzati e dal riempimento degli incisi, con forme a dossi residuali allungati. Solo localmente l'orlo del pianalto, comunemente arrotondato e smussato dal colluvionamento, appare come una scarpata piuttosto netta. Nel complesso l'unità rappresenta la sedimentazione al margine delle colline pedemontane da parte di corsi d'acqua locali.

Attribuzione cronologica. Non esistono attualmente elementi per una datazione dell'unità; in base all'alterazione dei depositi potrebbe essere collocata entro un generico Pleistocene medio o forse superiore.

6.1.5. - *Sintema di Rivanazzano* (**URV**)

Definizione. Ghiaie e sabbie stratificate, intercalazioni di limi (depositi alluvionali). Superficie limite superiore caratterizzata da morfologia parzialmente conservata, con depositi terrazzati localmente sepolti da depositi di colata successivi. Pleistocene superiore.

PROGETTO CARG

Sinonimi. Il sintema di Rivanazzano comprende parte dei depositi cartografati come fl3 nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Area di affioramento. L'unità costituisce la piana su cui sorge l'abitato di Rivanazzano, in sinistra idrografica dello Staffora; sulla destra idrografica si presenta come un ridotto lembo esteso fra Cascina Castellina e Cascina S. Pellegrino.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Il limite inferiore non è osservabile; lateralmente i depositi si giustappongono alla superficie erosionale che tronca il sintema di Codevilla (Fig. 33); limite superiore coincidente con la superficie topografica o sepolto da depositi del sintema di Rivanazzano; l'unità è troncata dalla superficie erosionale entro cui sedimenta il sintema di Voghera. Superficie limite superiore caratterizzata da profili di alterazione mediamente evoluti, dato desunto – in assenza di spaccati significativi – dal colore della matrice e dall'alterazione dei clasti affioranti alla superficie in seguito ad aratura.

Litologia. Il sintema è costituito da depositi di origine alluvionale: ghiaie a ciottoli da subarrotondati ad arrotondati, alimentate dai valloni a monte, sabbie e limi.

Morfologia e paleogeografia. La morfologia è solo parzialmente conservata, con scarpate d'erosione di altezza metrica, spesso rimaneggiate e annullate dall'attività antropica. I depositi rappresentano una fase di sedimentazione in un contesto di pianura prossimale ormai confrontabile con quello attuale.

Attribuzione cronologica. L'unità è collocabile in un generico Pleistocene superiore.

6.1.6. - *Sintema di Voghera* (**VOH**)

Definizione. Ghiaie a supporto clastico o di matrice, clasti arrotondati con selezione da discreta a buona; intercalazioni sabbiose (depositi alluvionali). Morfologia ben conservata, con scarpate alte sino a qualche metro. Pleistocene superiore.

Sinonimi. L'unità comprende in gran parte depositi cartografati come f1 nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Area di affioramento. L'unità costituisce la superficie in destra idrografica dello Staffora sulla quale sorge l'abitato di Voghera, nonché l'omologa superficie in sinistra idrografica.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Il limite inferiore non è osservabile direttamente; localmente i depositi si giustappongono lateralmente alla superficie erosionale che tronca il sintema di Rivanazzano; limite superiore coincidente con la superficie topografica, localmente ammantato dai depositi di colata del gruppo di Retorbido (Fig. 33).

La superficie limite superiore è caratterizzata da morfologia ben conservata,

PROGETTO CARG

profilo di alterazione poco evoluto, troncato e rimaneggiato dall'attività agricola, con clasti poco alterati, definito come "profondo" con spessore sino a 1,50 m nella cartografia pedologica dell'ERSAF (www.cartografia.regione.lombardia.it, www.ersaf.lombardia.it).

Litologia. L'unità è costituita da depositi alluvionali: ghiaie a supporto clastico o di matrice sabbiosa, con clasti ben arrotondati, a selezione variabile, di dimensioni sino ad una ventina di centimetri nei livelli più grossolani, ed intercalate sabbie, sabbie fini, limi.

Morfologia e paleogeografia. I depositi presentano morfologia ben conservata, con debolissima pendenza verso l'esterno delle superfici in destra e sinistra idrografica dello Staffora, legata alla tendenza del corso d'acqua a costituire un alveo pensile. Il corso d'acqua attuale incide i depositi con scarpate in gran parte ritoccate dall'azione antropica, di altezza metrica. La superficie può essere seguita verso N in foto aerea sino quasi all'alveo del Po e corrisponde qui per quote all'analoga superficie presente in sponda sinistra, e attribuita nella cartografia precedente all'ultimo massimo glaciale.

Attribuzione cronologica. Allo stato attuale delle conoscenze non si dispone di elementi per una datazione precisa dell'unità. Lo spessore dei suoli descritti in letteratura, nonché le quote confrontabili con l'analoga superficie in sponda sinistra del Po, portano a considerare l'unità come deposta nel corso dell'LGM. Si propone quindi una datazione entro la parte sommitale del Pleistocene superiore e/o olocenica.

6.2. - Unità del Bacino del Torrente Staffora

6.2.1. - *Conglomerati di Bagnaria* (**UBG**)

Definizione. Conglomerati e ghiaie a stratificazione suborizzontale, con clasti arrotondati; sabbie stratificate (depositi di flusso gravitativo). Cementazione scarsa. Morfologia non conservata. Pleistocene.

Sinonimi. Unità di nuova istituzione, non distinta in precedenza.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Superficie limite inferiore non osservabile, erosionale. Superficie limite superiore coincidente con la superficie topografica. L'unità si giustappone alla superficie erosionale incisa entro le Brecce Argillose di Baiso, ed è troncata dalla superficie erosionale entro la quale sedimenta l'unità di Torretta (**TTS**).

Litologia. A Bagnaria l'unità è costituita da una successione ben stratificata, con strati piani e paralleli medi e spessi, alla base ghiaiosi in matrice sabbiosa, con qualche accenno di embriciatura dei ciottoli; verso l'alto si passa a strati sabbiosi medi, debolmente gradati e separati da livelli marnosi sottili (Fig. 34). Cementazione scarsa.

Area di affioramento. Presso Bagnaria in sponda destra del T. Staffora, nonché presso Case Galeotti in sponda sinistra, fra q. 300 e q. 360 m s.l.m. circa.

PROGETTO CARG

Fig. 34 - *Affioramento del conglomerato di Bagnaria in località omonima (Foto L. Papani).*

Morfologia e paleogeografia. Morfologia non conservata. L'unità costituisce un litosoma potente sino a 65 m, reinciso dall'idrografia attuale. Sia la geometria degli strati che l'organizzazione interna degli stessi fanno propendere per un'origine da parte di flussi gravitativi di sedimento in ambiente probabilmente di delta conoide. Le facies più distali dei flussi potevano depositarsi nella zona valliva ora incisa dal T. Staffora (Fig. 33).

Poco più a S, nella zona di Case Galeotti (Fig. 35), sono stati correlati a questa unità depositi terrazzati che si trovano alla stessa quota dei conglomerati di Bagnaria; tali depositi presentano pochissimi affioramenti e sono costituiti da ghiaie in matrice limosa, con clasti centimetrici poco arrotondati; la petrografia sembra essere costituita quasi esclusivamente da materiali provenienti dalle formazioni del Bacino Terziario Piemontese (formazione di Castagnola e marne di Monte Brugi). È possibile, quindi, che tali depositi siano dei residui di piccole conoidi coalescenti, successivamente rimaneggiati e reincisi dal corso d'acqua principale (T. Staffora).

PROGETTO CARG

Fig. 35 - *Rapporti tra i conglomerati di Bagnaria (scarpata boscata) e l'unità di Varzi incassata entro essi (pianura coltivata); località Case Galeotti (Foto L. Papani).*

PROGETTO CARG

Ambedue i corpi sedimentari sono a monte della stretta della valle presso Biagasco, corrispondente all'affioramento della Formazione di Ranzano; il loro spessore implica una fase di riempimento della valle sino a una quota di circa 365 m, forse da mettersi in relazione con la presenza della sopraddetta soglia in roccia.

Attribuzione cronologica. Allo stato attuale delle conoscenze non ci sono elementi per una datazione dell'unità; essa viene quindi attribuita a un generico Pleistocene.

6.2.2. - *Unità di Torretta* (**TTS**)

Definizione. Ghiaie con matrice limoso-sabbiosa e clasti decimetrici ben arrotondati (depositi alluvionali). Morfologia conservata; sospesa sino a 15 m sull'alveo atuale. Pleistocene.

Sinonimi. Unità di nuova istituzione. Cartografata precedentemente come "Fluviale recente": alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose con modesta alterazione superficiale (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Superficie limite inferiore non osservata. Superficie limite superiore coincidente con la superficie topografica. Profilo di alterazione non osservato. L'unità è troncata dalla superficie erosionale entro cui sedimenta l'unità di Varzi (**VRZ**).

Litologia. L'unità è costituita da depositi alluvionali: ghiaie con matrice limoso-sabbiosa e clasti decimetrici ben arrotondati.

Area di affioramento. Lembi discontinui in destra e sinistra idrografica, dal margine meridionale del Foglio sino alla stretta in roccia di Godiasco.

Morfologia e paleogeografia. Morfologia piuttosto ben conservata, con forme a conoide localmente evidenti. L'unità appare troncata e sospesa sino a 5 m sulla sottostante superficie dell'unità di Varzi.

Attribuzione cronologica. L'unità è più recente del conglomerato di Bagnaria e più antica dell'unità di Varzi. In assenza di elementi per proporne una datazione assoluta, viene riferita ad un generico Pleistocene.

6.2.3. - *Unità di Varzi* (**VRZ**)

Definizione. Ghiaie con matrice sabbioso-limosa e clasti centimetrici arrotondati (depositi alluvionali); locali livelli a blocchi metrici (depositi da trasporto in massa). Morfologia conservata. Pleistocene superiore - Olocene?

Sinonimi. Unità di nuova istituzione. Corrisponde all'unità a[1] "Alluvioni postglaciali" del Foglio 71 Voghera (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Superficie limite inferiore non osservata. Superficie limite superiore coincidente con la superficie topografica. Profilo di alterazione non osservato. L'unità è troncata dalla superficie erosionale entro cui sedimentano i depositi attuali.

Litologia. L'unità è costituita da depositi alluvionali: ghiaie a ciottoli arrotondati in matrice sabbioso-limosa; localmente sono intercalati livelli contenenti blocchi sino a metrici (depositi da trasporto in massa).

Area di affioramento. Valle Staffora, dal margine meridionale del Foglio (loc. San Martino) sino alla stretta in roccia di Godiasco.

Morfologia e paleogeografia. Morfologie ben conservate, in erosione. L'unità costituisce il primo livello terrazzato a ridosso dell'alveo attuale.

Attribuzione cronologica. Non ci sono elementi per datare con precisione l'unità. In base alla posizione altimetrica si propone una generica età Pleistocene superiore, senza escludere una prosecuzione nell'Olocene.

6.2.4. - *Unità dell'Ardivestra* (**ADV**)

Definizione. Ghiaie con matrice sabbiosa e clasti da subarrotondati ad arrotondati (depositi alluvionali). Profilo d'alterazione non osservato. Morfologia ben conservata. Pleistocene superiore - Olocene?

PROGETTO CARG

Sinonimi. Unità di nuova istituzione, cartografata precedentemente come a[1] "Alluvioni postglaciali" o come fl[2] "Fluviale antico" (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Superficie limite inferiore erosionale sulla successione sedimentaria terziaria. Superficie limite superiore coincidente con la superficie topografica. Profilo di alterazione non osservato. L'unità è troncata dalla superficie erosionale entro cui sedimentano i depositi attuali.

Litologia. L'unità è costituita da depositi alluvionali: ghiaie con matrice sabbiosa, ciottoli da subarrotondati ad arrotondati di alimentazione strettamente locale.

Area di affioramento. Valle dell'Ardivestra, da Molino della Signora sino a Noceto.

Morfologia e paleogeografia. L'unità presenta morfologie conservate, con piccole piane reincise dall'alveo attuale. La sua continuità laterale è interrotta da grandi corpi di frana successivi.

Il raccordo della valle dell'Ardivestra con la valle principale è sottolineato da un brusco incremento di pendenza, in corrispondenza del quale non si hanno depositi conservati; qualsiasi correlazione risulta quindi impossibile.

Attribuzione cronologica. In assenza di elementi per una datazione assoluta, considerata la conservazione delle forme, l'unità è attribuibile ad un generico Pleistocene superiore, senza escludere però una continuazione della sedimentazione anche per parte dell'Olocene.

6.2.5. - *Unità di Nizza* (**NIZ**)

Definizione. Ghiaie con matrice sabbioso-limosa e clasti da subarrotondati ad arrotondati (depositi alluvionali). Profilo d'alterazione non osservato. Morfologia ben conservata. Pleistocene superiore - Olocene?

Sinonimi. Unità di nuova istituzione, cartografata precedentemente come a[2-1] "Alluvioni postglaciali" (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Superficie limite inferiore erosionale sulla successione sedimentaria terziaria. Superficie limite superiore coincidente con la superficie topografica. Profilo di alterazione non osservato. L'unità è reincisa dall'alveo attuale, con locale presenza di depositi in formazione, non cartografabili alla scala della carta.

Litologia. L'unità è costituita da depositi alluvionali: ghiaie con matrice sabbioso-limosa, ciottoli da subarrotondati ad arrotondati di alimentazione strettamente locale.

Area di affioramento. Val di Nizza, da Molino Cassano sino al cimitero di Ponte Nizza.

Morfologia e paleogeografia. L'unità presenta morfologie conservate, con piccole piane reincise dall'alveo attuale.

La sua deposizione è condizionata dalla presenza, in sponda sinistra tra Ponte

PROGETTO CARG

Nizza superiore e Cascina Minchino, di due grandi corpi di frana che hanno sbarrato la valle, causando l'aggradazione dell'evidente piana a monte. Essa appare reincisa dal corso d'acqua con un andamento marcatamente a meandri. A valle dello sbarramento sono presenti altri lembi di depositi alluvionali terrazzati, non direttamente correlabili con la piana a monte, ma comunque compresi nella medesima unità.

Attribuzione cronologica. In assenza di elementi per una datazione assoluta, considerata la conservazione delle forme, l'unità è attribuibile ad un generico Pleistocene superiore, senza escludere però una continuazione della sedimentazione anche per parte dell'Olocene.

6.3. - Unità del Bacino del Torrente Curone

Si distinguono due unità non correlabili con altre unità presenti all'esterno del Foglio. Si sottolinea che la recente costruzione di un esteso campo da golf in località Momperone ha pesantemente modificato il paesaggio della riva destra del T. Curone, rendendo non più leggibile l'originaria morfologia.

6.3.1. - *Unità di Momperone* (**UMO**)

Definizione. Ghiaie con clasti ben arrotondati e matrice sabbiosa (depositi alluvionali). Morfologia ben conservata. Profilo di alterazione non osservato. Pleistocene superiore?

Sinonimi. Unità di nuova istituzione. Cartografata precedentemente come "Fluviale recente": alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose con modesta alterazione superficiale (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Superficie limite inferiore non osservata. Superficie limite superiore coincidente con la superficie topografica. Profilo di alterazione non osservato. L'unità è troncata dalla superficie erosionale entro cui sedimenta l'unità di Brignano (**UBI**).

Litologia. L'unità è costituita da depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi a clasti arrotondati con matrice sabbiosa in percentuale variabile.

Area di affioramento. Fondovalle del T. Curone tra le località Madonnina e Giarella.

Morfologia e paleogeografia. L'unità costituisce una serie di lembi terrazzati discontinui sviluppati a monte della stretta di Barca, sospesi sino a 5 m sull'alveo attuale. In loc. Momperone l'orlo del terrazzo è stato obliterato dai lavori del campo da golf, rendendo allo stato attuale impossibile la delimitazione dell'unità stessa. Precedentemente (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971) l'unità è stata correlata alla superficie sulla quale sorge l'abitato di Volpedo, che continuerebbe nella fascia immediatamente a N di Rivanazzano e in sponda destra dello Staffora nella superficie di Casoni Meardi. In questa interpretazione sarebbe correlabile al sintema di Voghera (VOH) del presente Foglio. Allo stato

PROGETTO CARG

attuale delle ricerche si ritiene che il restringimento della valle presente fra Barca e Sighera (nel limitrofo Foglio 177-Tortona) costituisca una soglia morfologica tale da impedire una correlazione diretta tra i depositi; si preferisce pertanto mantenere l'unità distinta in attesa del rilevamento del Foglio limitrofo.

Attribuzione cronologica. Allo stato attuale delle conoscenze l'unità può essere attribuita ad un generico Pleistocene superiore.

6.3.2. - *Unità di Brignano* (**UBI**)

Definizione. Ghiaie con matrice limoso-sabbiosa e clasti ben arrotondati (depositi alluvionali). Morfologia ben conservata. Profilo di alterazione non osservato. Pleistocene superiore.

Sinonimi. Unità di nuova istituzione. Cartografata precedentemente come a^{2-1} "Alluvioni postglaciali" (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Superficie limite inferiore non osservata. Superficie limite superiore coincidente con la superficie topografica. Profilo di alterazione non osservato. L'unità è troncata dalla superficie erosionale entro cui sedimentano le alluvioni attuali (**POI**).

Litologia. L'unità è costituita da depositi alluvionali: ghiaie a supporto clastico o di matrice limoso-sabbiosa, clasti arrotondati.

Area di affioramento. Fondovalle del T. Curone tra Madonnina e Barca.

Morfologia e paleogeografia. In Valle Curone l'unità costituisce il deposito più recente prima di quelli in formazione. Morfologia ben conservata con terrazzi sospesi sino a 2 m sull'alveo attuale. La scarpata che li delimita, trovandosi immediatamente a ridosso dell'alveo attuale, è soggetta a erosione durante gli eventi di piena ordinaria. Nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971), l'unità viene cartografata sino al margine occidentale del Foglio lasciando aperto il problema della sua continuazione nell'area di pianura. Come per l'unità di Momperone, la stretta della valle impedisce qualsiasi correlazione con le unità del sintema emiliano-romagnolo superiore; viene pertanto cartografata come unità a sé stante.

Attribuzione cronologica. Allo stato attuale delle conoscenze l'unità può essere attribuita ad un generico Pleistocene superiore, successiva comunque all'unità di Momperone (**UMO**).

6.4. - Unità del Bacino del Torrente Schizzola

6.4.1. - *Sintema di Rivazza* (**RVX**)

Definizione. Ghiaie e sabbie stratificate, intercalazioni di limi (depositi alluvionali). Superficie limite superiore caratterizzata da morfologia parzialmente

PROGETTO CARG

conservata, con depositi localmente sepolti da depositi di colata successivi. Pleistocene superiore.

Sinonimi. Il sintema di Rivazza comprende depositi cartografati come fl2 e fl3 nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Area di affioramento. L'unità costituisce il riempimento alluvionale del fondovalle dei torrenti Schizzola e Coppa.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Il limite inferiore non è osservabile; lateralmente i depositi si giustappongono alla superficie erosionale che tronca il gruppo di Torrazza Coste; limite superiore coincidente con la superficie topografica. Superficie limite superiore probabilmente polifasica.

Litologia. Il sintema è costituito da depositi di origine alluvionale: ghiaie a ciottoli da subarrotondati ad arrotondati, alimentate dai valloni a monte, sabbie e limi.

Morfologia e paleogeografia. La morfologia è parzialmente conservata, con scarpate d'erosione di altezza metrica, spesso rimaneggiate e annullate dall'attività antropica. I depositi rappresentano più fasi di sedimentazione, non ulteriormente correlabili o definibili.

Attribuzione cronologica. L'unità è collocabile in un generico Pleistocene superiore.

6.5. - Unità non Distinte in Base al Bacino di Appartenenza

6.5.1. - *Alteriti* (**b_6**)

Definizione. Diamicton a supporto di matrice pedogenizzata e sparsi ciottoli residuali. Ammantano evidenti paleosuperfici. Derivano da pedogenesi profonda del substrato costituito da Arenarie di Ranzano. Pliocene? - Attuale.

Sinonimi. Unità di nuova istituzione. Precedentemente cartografate come fl2 "Fluviale antico": alluvioni ghiaiose, sabbiose, siltoso-argillose fortemente alterate, con prodotti di alterazione di colore rossastro (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Superfici limite e rapporti stratigrafici. La superficie limite superiore è una superficie di marcata erosione che in gran parte dell'area ha completamente asportato l'unità e che corrisponde all'attuale superficie topografica. Il limite inferiore è dato dal passaggio graduale alla roccia non alterata.

Litologia. La litologia delle alteriti varia a seconda del litotipo parentale a spese del quale le alteriti stesse si sono sviluppate.

In loc. Martinasco (Val Curone) sono stati osservati ciottoli arrotondati di dimensioni decimetriche riconducibili alle Unità Liguri *s.l.*

Area di affioramento. Data la forte erosione che hanno subito, le alteriti sono conservate in zone pianeggianti o a debole pendenza. Rappresentabili cartogra-

PROGETTO CARG

ficamente alla scala 1:50.000 in loc. Cascina Zerba (Val Curone).

Morfologia e paleogeografia. Le alteriti testimoniano una lunga fase di alterazione del substrato in regime di biostasia. Le aree cartografate corrispondono a superfici subpianeggianti in posizione di cresta. La petrografia dei clati osservata in loc. Martinasco corrisponde a quella dei clasti presenti sia nelle arenarie della Formazione di Ranzano sottostanti, sia nei depositi dei corsi d'acqua alimentati da questo settore della catena a partire dalla sua emersione. Non è possibile quindi distinguere, in questa località, se si tratti di alteriti sviluppatesi sul substrato oppure a spese di antichi depositi alluvionali, come invece proposto dagli Autori del Foglio 71 Voghera (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971).

Attribuzione cronologica. L'alterazione del substrato è iniziata non appena si è avuta l'emersione dei rilievi appenninici (Messiniano), con l'instaurarsi di condizioni climatiche favorevoli, e è continuata sino a oggi interrotta solo dai periodi di resistasia in corrispondenza dei picchi freddi del Pleistocene. L'età è quindi compresa entro un largo intervallo di tempo che va dal Pliocene all'Attuale.

6.5.2. - *Gruppo di Retorbido* (**RE**)

Definizione. Limi, limi sabbiosi e limi argillosi in orizzonti planari, diamicton a supporto di matrice limoso-argillosa con sparsi clasti residuali da subangolosi ad arrotondati (depositi colluviali e da trasporto in massa); derivati dallo smantellamento di materiali già pedogenizzati *in situ*, profilo di alterazione variabile in funzione del *parent material* originario. Pleistocene - Olocene.

Sinonimi. Nella cartografia precedente i depositi del gruppo non vengono distinti.

Area di affioramento. Fascia a decorso SW-NE, lungo la porzione più prossimale della pianura nonché Appennino distale.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Limite inferiore poligenico e polifasico, erosionale discordante sui sintemi di Voghera, di Rivanazzano, di Codevilla e sul gruppo di Torrazza Coste (Fig. 33). Limite superiore coincidente con la superficie topografica. Profilo d'alterazione variabile, influenzato dalle caratteristiche del *parent material*, già precedentemente pedogenizzato *in situ*; colore generalmente entro il 7.5YR.

Litologia. L'unità è costituita da corpi messi in posto essenzialmente da fenomeni colluviali e di trasporrto in massa. Si riconoscono orizzonti planari paralleli alla superficie topografica e a bassissimo angolo (inferiore ai 5°) costituiti da limi, limi sabbiosi, limi argillosi pedogenizzati, legati a colate estremamente fluide e capaci di distribuirsi su aree ampie e distanze di ordine chilometrico. Intercalati, soprattutto nella fascia più prossimale, episodi da trasporto in massa carratterizzati da diamicton a supporto di matrice fine con sparsi clasti eterometrici, da subangolosi a arrotondati. I clasti sono caratterizzati da

PROGETTO CARG

quasi totale assenza di litotipi carbonatici, presenza di elementi di litareniti con *cortex* di spessore variabile, concentrazione di clasti silicei o quarzosi, derivati dall'alterazione delle unità sia marine che continentali presenti a monte.

Morfologia e paleogeografia. Morfologia ben conservata. I depositi presentano superfici a debolissima inclinazione, con immersione che varia in funzione del punto di alimentazione, e si espandono nella piana ammantando le morfologie precedenti o incanalandosi entro solchi che le troncano. La superficie, molto articolata, indica la presenza di più corpi messi in posto in momenti successivi, talora reincisi ed incanalati gli uni entro gli altri. Nella porzione distale, gli orizzonti si assottigliano sino a spessori meno che metrici.

L'abbondanza di materiali fini già pedonigenizzati prima della rimobilizzazione indica un'alimentazione dalle estese coltri di alterazione che si sono sviluppate lungo i versanti pedeappeninici a partire dall'emersione della catena; i ciottoli presenti negli intervalli più grossolani rappresentano gli elementi residuali di suoli molto evoluti sviluppati sia sulle unità continentali pleistoceniche, sia sulle unità conglomeratiche marine precedenti.

Il movimento tutt'ora in atto del fronte appenninico può aver innescato successive fasi di erosione e trasporto di materiali; si sono così originate generazioni successive di depositi colluviali alimentati dalla medesima sorgente alteritica, e spesso privi di espressione morfologica propria. I depositi di ciascun singolo evento sedimentario, essendo costituiti da materiali già alterati al momento della mobilizzazione e ulteriormente alterati dopo la deposizione, sono ormai indistinguibili l'uno dall'altro. Per tale motivo tutti questi depositi vengono riuniti in un unico gruppo, caratterizzato in base alla dinamica sedimentaria e quindi per la litologia, e non ulteriormente suddivisibile in corpi di diversa età.

Attribuzione cronologica. La messa in posto dei corpi sedimentari cartografati entro il gruppo di Retorbido è avvenuta in un intervallo di tempo che si prolunga dall'inizio dell'alterazione sui versanti sino ad epoche subattuali. L'età è quindi compresa entro un generico Pleistocene - Olocene.

6.5.3. - *Sintema del Po* (**POI**)

Definizione. Diamicton e ghiaie con clasti spigolosi (depositi di versante, di frana e di trasporto in massa); ghiaie, sabbie, limi stratificati (depositi alluvionali). Superficie limite superiore caratterizzata da alterazione assente e morfologie ben conservate o ancora in evoluzione.

Sinonimi. b_1 e AES_8 (Foglio 178-Ponte dell'Olio, Servizio Geologico d'Italia, 2005; Di Dio *et alii*, 2005), b e b_1 (Foglio 196-Cabella Ligure).

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Limite inferiore erosionale sulla successione marina o su unità continentali quaternarie; limite superiore coincidente con la superficie topografica; superficie limite caratterizzata da suoli poco evoluti, assenza di alterazione dei clasti, orizzonte B scarsamente sviluppato o assente e morfologie ben conservate o ancora in evoluzione.

PROGETTO CARG

Caratteristiche litologiche, morfologiche e ubicazione. L'unità comprende tutti i depositi continentali formatisi nel Pleistocene superiore e nell'Olocene a partire dalla fine dell'ultima fase di raffreddamento climatico; tali depositi sono caratterizzati in genere da morfologie ben conservate, da parzialmente in erosione a ancora in evoluzione.

Essa appare diffusa su tutta l'area del Foglio in corpi di varia estensione, con genesi, caratteristiche litologiche e morfologiche nonché ubicazione strettamente omogenee entro ogni singola facies, oltreché strettamente correlate fra loro.

Si preferisce quindi descrivere l'unità suddividendola primariamente per ambienti genetici, entro ciascuno dei quali verranno poi indicate le caratteristiche litologiche, morfologiche e la relazione geometrica dei corpi rispetto alla fisiografia circostante.

Depositi messi in posto per gravità

Detriti di versante: depositi a clasti sino a decimetrici spigolosi – sino ad arrotondati qualora derivino dallo smantellamento di unità conglomeratiche – con assenza di matrice, alimentati dai versanti soprastanti di cui riflettono le litologie (ad esempio, carbonatici, in località Monte della Selva).

Costituiscono ridotte falde di detrito, spesso di dimensioni inferiori alla cartografabilità, alla base delle porzioni di versante a elevata pendenza, soprattutto alla base delle pareti in litotipi poco erodibili (olistoliti di litologie carbonatiche e cristalline).

Depositi di frana: diamicton massivi a supporto di matrice fine e clasti spigolosi eterometrici; clasti alimentati dai versanti soprastanti di cui riflettono le litologie. Diffusi in tutta l'area, con volumi e estensioni areali varie; in alcuni casi coinvolgono volumi notevoli di roccia, sbarrando il deflusso delle acque e influenzando la sedimentazione in tutta l'area circostante.

PROGETTO CARG

Fig. 36 - *Località Le Moline e Case Marchese (Valle del T. Tidone) - Depositi del sintema del Po reincisi (Foto G. Tucci).*

Si presentano come accumuli massivi a profilo convesso e superficie molto articolata, caotica, con nicchia di distacco a monte più o meno evidente.

Depositi di *debris-flow* e da trasporto in massa: diamicton massivi a supporto di matrice con clasti spigolosi alimentati dai valloni soprastanti.

Colate di materiale e fenomeni di trasporto in massa di piccole dimensioni (spesso al di sotto del limite della cartografabilità) sono diffuse sia su litotipi della successione marina sia su unità continentali neogenico-quaternarie, nonché sui materiali incoerenti derivati dalla pedogenesi; essi assumono in genere ben riconoscibile forma di lobi o coni allo sbocco di canaloni o in corrisponenza di ampie e incavate rientranze del versante. In alcuni casi coinvolgono volumi notevoli di roccia, sbarrando il deflusso delle acque e influenzando la sedimentazione in tutta l'area circostante (es: Godiasco).

Depositi alluvionali

Depositi alluvionali *s.s.*

Depositi prevelentemente grossolani: ghiaie in corpi sia lenticolari che stratoidi, supporto clastico prevalente e matrice sabbiosa, clasti ben arrotondati, a selezione variabile, frequentemente embricati; ghiaie a supporto clastico e matrice scarsa o assente, ben selezionate; sabbie massive o laminate. Questo tipo di sedimenti prevale negli assi vallivi principali in posizione distale, anche se corpi arealmente significativi sono riconoscibili anche entro le valli laterali (es: valli della Ghiaia di Montalto e della Ghiaia di Coppa).

Depositi prevalentemente fini: sabbie, limi, e subordinate ghiaie a supporto clastico, localmente con clasti con dimensioni sino a submetriche. Questo tipo di sedimenti prevale negli assi vallivi interni alla zona montuosa (es: Valle di Schizzola), spesso in corpi di dimensioni inferiori alla cartografabilità. Presentano morfologie ben conservate con più cicli di erosione-deposizione, delimitati da evidenti scarpate.

Entro il bacino del Tidone sono compresi nel sintema del Po tutti i depositi alluvionali presenti lungo l'asse vallivo, coincidenti con le unità AES_8 e b_1 del limitrofo Foglio 178-Ponte dell'Olio. La presenza del lago artificiale di Trebecco interrompe la continuità delle diverse superfici di aggradazione impedendo qualsiasi correlazione tra il settore a monte e a valle dello stesso. Non viene quindi mantenuta la distinzione in due unità operata nel limitrofo Foglio; i depositi vengono cartografati come depositi alluvionali del sintema del Po indistinto.

Entro il bacino dello Staffora sono compresi nel sintema del Po tutti i depositi alluvionali presenti lungo l'asse vallivo, coincidenti con le unità b e b_1 del limitrofo Foglio 196-Cabella Ligure.

Data la ridotta ampiezza degli assi vallivi, i depositi allo sbocco delle valli laterali entro quelle di ordine maggiore, non assumono forma ben definita; non si sono pertanto osservate forme di conoide alluvionale ben espresse se non a scala inferiore alla cartografabilità.

Attribuzione cronologica. Pleistocene superiore - Olocene.

PROGETTO CARG

PROGETTO
CARG

PROGETTO CARG

IV - TETTONICA

1. - INTRODUZIONE

Il settore dell'Appennino nord-occidentale compreso nel Foglio 178-Voghera è caratterizzato da una complessa sovrapposizione strutturale di unità tettoniche appartenenti a domini paleogeografici differenti. Le principali unità tettoniche riconosciute, dall'alto al basso geometrico, sono le seguenti (Fig. 37): l'unità tettonica Antola, rappresentata solo dalla sua copertura costituita dai depositi del Bacino Terziario Piemontese; l'unità del Monte delle Tane, affiorante dubitativamente in una limitatissima porzione sud-orientale del Foglio; l'unità Groppallo, affiorante in una piccola area al margine occidentale del Foglio; l'unità Cassio; l'unità Canetolo, rappresentata dalla sola sottounità tettonica Penice; l'unità Bettola.

Al di sopra delle unità tettoniche Cassio e Bettola si trovano i depositi della Successione Epiligure, con rapporti analoghi a quelli visibili tra l'unità Antola e i depositi del Bacino Terziario Piemontese.

L'analisi di tali depositi riveste una fondamentale importanza in quanto hanno registrato tutti gli eventi tettonici verificatisi tra la Fase Ligure dell'Eocene e la fine del Miocene. Al loro interno sono infatti visibili strutture (sovrapposizioni tettoniche, deformazioni duttili e fragili a varie scale) ed elementi stratigrafici e sedimentari (discordanze angolari, improvvisi cambiamenti di facies e di composizione del sedimento) che rispecchiano le contemporanee deformazioni. In particolare, le successioni del Bacino Terziario Piemontese e del Bacino Epiligure hanno, in generale, suturato le deformazioni relative alla Fase Ligure e hanno registrato al loro interno ogni evento connesso alle fasi tettoniche successive.

L'Alloctono Ligure (comprensivo di tutte le Unità Tettoniche Liguri e Subliguri, precedentemente elencate) è sovrascorso verso NE sull'avampaese padano,

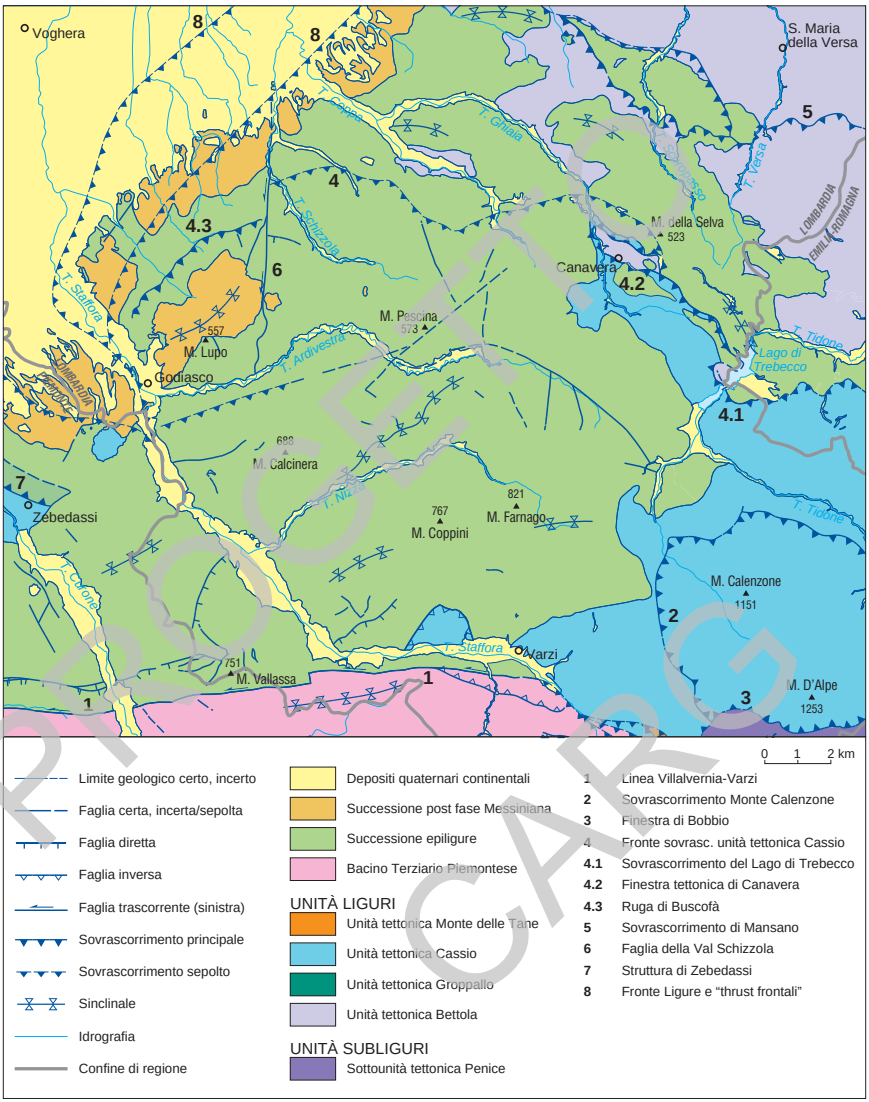


Fig. 37 - *Schema strutturale del Foglio 178-Voghera.*

costituito da una successione "padana" riconosciuta solo attraverso i dati di sottosuolo, tra l'Eocene medio (Fase Ligure) e la fine del Miocene; in seguito, i fronti deformativi sono migrati verso l'avampaese più esterno, isolando unità tettoniche costituite esclusivamente da sedimenti terziari e quaternari padani.

PROGETTO CARG

Tuttavia ci sono evidenti indicazioni che anche le strutture più interne affioranti nella catena abbiano subito nel Pliocene e forse anche nel Quaternario consistenti fenomeni di riattivazione tettonica.

Un'altra peculiare caratteristica di questo settore della catena appenninica affiorante nel Foglio è rappresentato dalla presenza della porzione più interna dell'arco strutturale di Pavia (Gobetti & Perotti, 1990): il fronte appenninico sepolto che si sviluppa tra Reggio Emilia e Pavia con andamento SE-NW, procedendo verso W, nei pressi di San Colombano subisce un brusco ed evidente cambiamento di orientazione, assumendo una direzione NE-SW: a questo arco strutturale del fronte appenninico sepolto corrisponde, nell'area in studio, un analogo cambiamento di direzione delle strutture. Le Unità Liguri *s.l.* ed epiliguri affioranti sono infatti interessate da una serie di sovrascorrimenti nord-vergenti e di pieghe che poco a W del meridiano di Varzi mostrano una graduale, ma netta variazione di direzione da SE-NW a NE-SW, per poi riassumere un andamento circa appenninico ad W del T. Staffora. La gran parte delle strutture mostra una buona continuità laterale, localmente però le pieghe sono dislocate da linee tettoniche anche se di limitata estensione. Anche i depositi messiniani e pliocenici affioranti al margine appenninico mostrano un analogo andamento ad arco; quasi assenti in superficie nel settore orientale con direzione appenninica, affiorano estesamente verso occidente a SE di Voghera, evidenziando un diverso sollevamento delle due aree.

Un'altra caratteristica dell'area studiata è costituita dagli estesi affioramenti di "corpi caotici" di brecce poligeniche, ad assetto caotico, con clasti e blocchi eterometrici, generalmente a spigoli vivi, immersi in una prevalente matrice argillosa di colore grigio o rossastro, con tessitura del tipo *block in matrix*. Tali corpi, già noti in letteratura e precedentemente cartografati nel Foglio 71 Voghera alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1969; Bellinzona *et alii*, 1971) come "Complesso Caotico" e come "Complesso Indifferenziato", affiorano diffusamente in tutto il Foglio, in particolare nella zona centrale e a ridosso della Linea Villalvernia-Varzi. Questi corpi sono stati distinti durante il rilevamento in base alla loro età, desunta essenzialmente dalla loro posizione stratigrafica e alla natura dei clasti in essi contenuti. In particolare, sono state distinte le seguenti unità:

- brecce argillose di Baiso, di età Eocene medio, che contengono blocchi e clasti provenienti dalle Unità Liguri come le arenarie di Scabiazza, le argille a palombini, le argille varicolori di Cassio e i flysch a Elmintoidi *s.l.*;
- brecce argillose di Val Tiepido - Canossa, a cui è stata attribuita un'età compresa tra il Chattiano (?) e l'Aquitaniano, e che contengono anche clasti provenienti dalla Formazione di Ranzano;
- brecce argillose di Costa Pelata (Tortoniano?), in cui sono presenti, tra gli altri, anche clasti derivanti dall'erosione delle arenarie di Monte Vallassa.

La genesi di questi corpi caotici è stata interpretata dagli Autori precedenti in modo molto differente. Per una completa trattazione del problema delle rocce caotiche del versante padano dell'Appennino settentrionale, che esula dalle fina-

PROOF ITA CARG

lità delle presenti note, si rimanda all'ampia bibliografia esistente (cfr. Bettelli & Vannucchi, 2003 e relativa bibliografia). Sulla base dei rilevamenti eseguiti e in considerazione della buona corrispondenza, in termini di posizione stratigrafica e di composizione litologica, con quanto visibile nell'Appennino emiliano sud-orientale, queste unità litostratigrafiche sono state interpretate come dovute a una serie di colate sottomarine derivate da processi essenzialmente gravitativi, innescati al fronte dei principali sovrascorrimenti, in concomitanza delle principali fasi tettoniche. Tali unità sono presenti alla base della Successione epiligure o sono intercalate ad essa e ne fanno quindi parte a tutti gli effetti, anche se presentano una scarsa continuità laterale. Va comunque sottolineato il fatto che, a causa della loro natura litologica prevalentemente argillosa e della loro tessitura caotica e disorganizzata, questi litosomi rappresentano orizzonti di scollamento preferenziali lungo i quali molto spesso sono impostate le principali superfici tettoniche, come evidenziato dalle intense deformazioni presenti (faglie, clivaggi e pieghe minori).

2. - LE PRINCIPALI STRUTTURE TETTONICHE

Il Foglio 178-Voghera è situato in una zona strutturalmente molto complessa, che vede raccolte in un'area limitata alcune tra le strutture più importanti dell'orogene appenninico: infatti, nell'area settentrionale del Foglio si trovano i fronti appenninici sepolti (zona di giunzione tra l'Arco del Monferrato e l'Arco di Pavia, nei dintorni di Godiasco) mentre nell'area meridionale si trova la Linea Villalvernia-Varzi, che è stata vista in passato come un limite tra le Alpi e l'Appennino settentrionale (Boni, 1980, 1986; Elter & Pertusati, 1973).

Le principali strutture tettoniche riconosciute all'interno del Foglio sono descritte nel seguito.

2.1. - La Linea Villalvernia-Varzi

La linea Villalvernia-Varzi riveste un importante ruolo nella complessa evoluzione strutturale dell'Appennino nord-occidentale. Nella letteratura geologica il suo significato strutturale è sempre stato oggetto di controversie e di interpretazioni differenti. Alcuni Autori hanno giudicato la linea come una discontinuità pellicolare e di secondaria importanza, altri le hanno attribuito un ruolo primario in una visione regmatica della tettonica regionale (Laubscher *et alii*, 1992). Tali diversità di interpretazione sono probabilmente dovute al succedersi nella zona di fasi di deformazione caratterizzate da diverso significato geodinamico e da diversa direzione di trasporto tettonico, nonché dalle particolari modalità di deformazione di questo settore di catena. I complessi movimenti di rotazione delle Alpi liguri e del blocco sardo-corso hanno indotto infatti in questa zona deformazioni rigido-plastiche di difficile risoluzione (Vanossi *et alii*, 1994).

PROGETTO CARG

La linea, che attualmente ha una geometria sub-verticale e una direzione circa E-W, ha la sua terminazione orientale in corrispondenza della superficie di accavallamento Levanto-Ottone-Brallo. Tale sovrascorrimento marca la sovrapposizione dell'Unità tettonica del M. Antola sull'Unità Cassio e, insieme alla linea Villalvernia-Varzi, la sua traslazione verso ENE. Tale fatto è confermato dalla presenza a S di Varzi di superfici tettoniche che assumono progressivamente un andamento verso S e un carattere di chiaro sovrascorrimento (cfr. le strutture tettoniche presenti nella zona di Bosmenso nel limitrofo Foglio 196-Cabella Ligure).

La sua terminazione occidentale è invece mascherata al di sotto di depositi quaternari della pianura; con tutta probabilità si esaurisce in corrispondenza del margine meridionale del Monferrato.

Le indagini geologiche e strutturali svolte nell'area hanno evidenziato come la genesi della linea sia comunque intimamente legata al Bacino Terziario Ligure-Piemontese di cui, fin dall'origine, costituiva il margine settentrionale, caratterizzato da transtensione sinistra e successivamente, già durante l'Oligocene (Rupeliano superiore), da transpressione sinistra. Infatti, il tratto di linea a direzione ENE-WSW compreso tra Varzi e il T. Curone presenta in corrispondenza del blocco meridionale chiare strutture compressive sud-vergenti, costituite sia da faglie che da pieghe, di età precedente al Miocene basale. Tali strutture per le loro caratteristiche sono inquadrabili come strutture a fiore, generatesi in un regime tettonico di transpressione sinistro lungo la linea, ed indicano la presenza durante l'Oligocene di importanti fenomeni compressivi contemporanei alla sedimentazione. La linea Villalvernia-Varzi rappresenta dunque in questo periodo la soglia settentrionale del bacino, e l'alto morfologico, che ne costituisce la sua espressione più superficiale, ha l'effetto di impedire la prosecuzione dei flussi torbiditici sedimentari verso N.

Le strutture di deformazione sia duttili che fragili connesse ai movimenti della linea tettonica indicano la presenza di tre fasi di deformazione principali.

La prima fase presenta un asse di massima compressione con verso NE, è iniziata già nell'Oligocene ed è associata a pieghe con asse NW-SE; la seconda fase di deformazione, con asse di massima compressione con verso NW, appare intimamente legata alla genesi dell'arco di Pavia e si sarebbe sviluppata già a partire dal Miocene, contemporaneamente alla traslazione verso NE delle principali unità tettoniche, e sarebbe quindi, almeno in parte, cronologicamente sovrapponibile alla fase precedente, generando pieghe con asse ENE-WSW, associate a faglie essenzialmente trascorrenti. La fase distensiva finale, comune a tutte le zone appenniniche interne (Perotti & Vercesi, 1992), è molto recente e non sembra aver dato luogo a fenomeni plicativi significativi.

2.2. - Il Sovrascorrimento del M. Calenzone

Il sovrascorrimento del M. Calenzone è presente nel quadrante sud-orientale del Foglio e determina il raddoppio dell'Unità tettonica Cassio. Nella sua por-

PROGETTO CARG

zione settentrionale, a direzione circa E-W, provoca la sovrapposizione delle argille varicolori di Cassio sul flysch di Monte Cassio e più a E sulle arenarie di Scabiazza. Il suo tracciato è evidenziato sia dalla presenza in posizione anomala delle argille varicolori di Cassio, sia da sensibili anomalie morfologiche (contropendenze, selle, ecc.) che interessano i versanti ed i rilievi. Il raddoppio dell'Unità Cassio e la sua traslazione ha un'estensione valutabile in alcuni chilometri. Non esistono elementi che ne consentano una datazione, tuttavia la sua vergenza settentrionale lo farebbero ascrivere alle fasi tettoniche del Miocene.

2.3. - Il Margine Nord-Occidentale della Finestra di Bobbio

Nell'area del Foglio 178-Voghera affiora per una limitata estensione il margine nord-occidentale della Finestra di Bobbio, in cui si osserva unicamente la sovrapposizione tettonica dell'Unità Cassio (rappresentata dalle arenarie di Scabiazza) al di sopra della sottounità Penice (flysch di Monte Penice) (Fig. 38).

2.4. - Il Fronte di Sovrascorrimento dell'Unità Tettonica Cassio

È il più esteso sovrascorrimento che interessa l'area studiata e si sviluppa dall'estremità orientale della carta, ad W del Lago di Trebecco, con andamento appenninico (direzione NW-SE) fino all'altezza del meridiano di Varzi, per poi descrivere un ampio arco arrivando ad assumere una direzione NE-SW ad E del Torrente Staffora nella zona a N e NE di Godiasco. Ad occidente del T. Staffora riassume una direzione appenninica e coincide praticamente con il fronte delle unità liguridi e della catena affiorante. Non è quasi mai osservabile direttamente

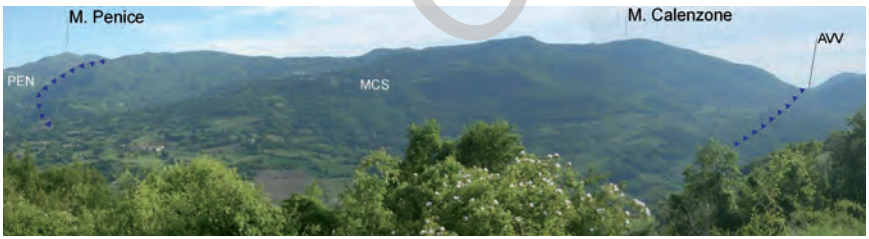


Fig. 38 - *Panoramica verso SW della dorsale M. Penice - M. Calenzone. Nell'immagine sono visibili verso NE (destra della foto) il sovrascorrimento del M. Calenzone che causa il raddoppio del flysch del Monte Cassio (MCS) e che utilizza come orizzonte di scollamento le argille varicolori di Cassio (AVV), e verso SW il sovrascorrimento del flysch di Monte Cassio sul flysch del Monte Penice (PEN). Entrambi i sovrascorrimenti vergono verso i quadranti settentrionali (Foto G. Tucci).*

PROGETTO CARG

in affioramento a causa dell'estesa copertura vegetale e di suoli coltivi. Nel suo settore orientale provoca l'accavallamento dell'Unità Cassio sull'Unità Bettola, soprattutto sulla Formazione di Val Luretta, costituendo il margine settentrionale di affioramento delle argille varicolori. Verso occidente è pressoché completamente mascherato dalle Unità Epiliguri; attraversa e disloca tuttavia le brecce argillose di Baiso e le brecce argillose della Val Tiepido - Canossa, che si presentano localmente intensamente tettonizzate. A S di Pragate sembra anche dislocare la Formazione di Contignaco. Sulla base degli elementi rilevati risulta impossibile una sua soddisfacente datazione; la sua attività è comunque proseguita anche successivamente al Miocene inferiore. La sovrapposizione tettonica di argille varicolori attribuibili all'Unità Cassio al di sopra di termini pliocenici, che è stata osservata nella zona di Cà d'Andrino (Cascina Galuzia), a W di Godiasco, ne farebbero supporre un'attività anche molto più recente, forse addirittura pleistocenica. Come già sottolineato, le cattive condizioni di affioramento, comuni a tutta l'area del Foglio 178-Voghera, non consentono osservazioni continue e significative delle principali strutture tettoniche e quindi neanche del fronte di sovrascorrimento dell'Unità Cassio, tuttavia lungo il suo sviluppo sono visibili alcune strutture (il sovrascorrimento del Lago di Trebecco, la finestra tettonica di Canavera e la "Ruga di Buscofà") che ne confermano il significato tettonico.

2.4.1. - *Il sovrascorrimento del Lago di Trebecco*

Al lato sud-occidentale del Lago di Trebecco è visibile la sovrapposizione tettonica dell'Unità Cassio, rappresentata dalle argille varicolori di Cassio, sull'Unità Bettola, rappresentata dal membro di Genepreto della Formazione di Val Luretta. La Formazione di Val Luretta, che rappresenta il *footwall* del sovrascorrimento, è interessata da una serie di strutture tettoniche minori rappresentate da pieghe e faglie; in particolare, si osserva la presenza di una piega-faglia nord-vergente, con asse orientato NW-SE, di estensione plurimetrica.

2.4.2. - *La finestra tettonica di Canavera*

La finestra tettonica di Canavera si sviluppa lungo la sponda orientale del T. Ghiaia di Montalto nei pressi di Canavera, al margine del fronte di sovrascorrimento dell'Unità tettonica Cassio. Localmente sono visibili depositi attribuiti all'Unità tettonica Bettola, rappresentata dal flysch di Bettola, tettonicamente sottoposti alle argille varicolori di Cassio appartenenti all'Unità tettonica Cassio. Gli estesi affioramenti di brecce argillose di Baiso e della Val Tiepido - Canossa non consentono l'osservazione della sua estremità orientale, dove si raccorda col fronte di sovrascorrimento dell'Unità Tettonica Cassio.

PROGETTO CARG

2.4.3. - *La "Ruga di Buscofà"*

La "Ruga di Buscofà" è presente al margine appenninico, immediatamente ad E del T. Staffora. È rappresentata da una piega-faglia verticalizzata, costituita da una sottile fascia allungata di brecce argillose della Val Tiepido - Canossa, che attraversa per alcuni chilometri in direzione NE-SW la Formazione di Contignaco. I rilevamenti eseguiti indicano una certa componente di sovrascorrimento del settore meridionale su quello settentrionale, per questo motivo viene interpretata come la prosecuzione occidentale del fronte di sovrascorrimento dell'Unità tettonica Cassio. La presenza lungo il piano di sovrascorrimento delle rocce caotiche ascrivibili alle brecce argillose della Val Tiepido - Canossa, conferma come tale litosoma, insieme alle brecce argillose di Baiso, rappresenti un orizzonte di scivolamento preferenziale, a ridotta resistenza meccanica, lungo il quale si sono realizzate le principali traslazioni delle unità tettoniche dell'area.

2.5. - Il Sovrascorrimento di Mansano

Presente nel settore nord-orientale del Foglio, il sovrascorrimento di Mansano rappresenta la prosecuzione nel Foglio 178-Voghera di una struttura già individuata nell'adiacente Foglio 179-Ponte dell'Olio (Servizio Geologico d'Italia, 2005). Corre all'interno dell'Unità tettonica Bettola e ne provoca la sovrapposizione ed il parziale raddoppio.

2.6. - La Faglia della Val Schizzola

Si tratta di una faglia a direzione N-S e a cinematica complessa che probabilmente rigetta con una trascorrenza sinistra il fronte sepolto dell'Unità tettonica Cassio. L'attività di questa faglia appare relativamente recente in quanto disloca i depositi pliocenici del margine e forse interessa anche i sedimenti del Pleistocene inferiore.

2.7. - La Struttura di Zebedassi

Questa struttura affiora in corrispondenza del margine orientale del Foglio, a N dell'omonima località. In questa zona il complesso di Pietra Parcellara, nel suo unico affioramento del Foglio, è tettonicamente sovrapposto al flysch di Monte Cassio attraverso un retroscorrimento sud-vergente, che costituisce il *back-thrust* di una possile struttura *pop-up* nord-vergente del margine appenninico, localmente coincidente col fronte di sovrascorrimento delle unità liguridi.

PROGETTO CARG

2.8. - Il Fronte Ligure

Il fronte dell'Alloctono Ligure non è visibile in affioramento nell'area del Foglio, ma si può ubicare con buona approssimazione con l'ausilio di dati di sottosuolo. Tale fronte coincide, ad E di Godiasco, con il fronte dell'Unità tettonica Bettola mentre, ad W di Godiasco, coincide con il fronte dell'Unità tettonica Cassio.

Nella zona di Godiasco convergono infatti la porzione occidentale dell'arco di Pavia – evidenziata nel sottosuolo da una serie di scaglie e superfici di *thrust* che proseguono verso NE sino ad "emergere" in corrispondenza del Colle di San Colombano (Pieri & Groppi, 1981; Cassano *et alii*, 1986) – e la porzione orientale dell'arco del Monferrato.

La genesi dell'arco di Pavia appare connessa al movimento di rototraslazione antioraria che il margine dell'Adria e, in conseguenza le falde appenniniche, hanno subito durante l'orogenesi, dopo l'Eocene superiore, in concomitanza di un'analoga rotazione subita dalle Alpi marittime e dal blocco sardo-corso (Vanossi *et alii*, 1994). Tale rotazione, che ha portato dapprima all'apertura del Bacino ligure-provenzale e successivamente del Mar Tirreno, avrebbe imposto una componente di traslazione anche verso NW, generando gli archi appenninici e, in particolare, l'arco di Pavia, che presenta una marcata asimmetria. L'ubicazione e la conformazione dell'arco di Pavia sarebbe con tutta probabilità stata favorita dalla presenza di zone più rigide in corrispondenza della Pianura Padana, costituite da zone di alto del Basamento Cristallino (zona di Battuda) e da estesi corpi di vulcaniti neogeniche (zona di Mortara) che avrebbero ostacolato l'estendersi verso settentrione della deformazione, costituendo della masse ostacolo (Pieri & Groppi, 1981; Gobetti & Perotti, 1990; Perotti, 1991).

3. - SUCCESSIONE DEGLI EVENTI

Sulla base delle analisi condotte e delle conoscenze generali, si ritiene che nella porzione di Appennino settentrionale rappresentata nel Foglio 178-Voghera le principali fasi tettoniche siano le seguenti:

- fase del Cretacico superiore, che avrebbe deformato i Complessi di Base (substrato) dei flysch ad Elmintoidi *s.l.* prima della deposizione di questi ultimi; è evidente, infatti, un grado di deformazione molto diverso tra il flysch di Monte Cassio e il suo substrato, costituito dalle argille varicolori di Cassio e soprattutto dalle arenarie di Scabiazza, che non sembra giustificato esclusivamente da un diverso comportamento reologico delle unità. Verosimilmente, si tratta di eventi tettonici connessi alla "Fase Eoalpina" riconosciuta da molti Autori nelle Alpi;
- Fase Ligure (Elter, 1975a, b), che deforma le Unità Liguri, e corrisponde alla "Fase Mesoalpina" ampiamente descritta da molti Autori nelle Alpi. Questa

PROGETTO CARG

fase deformativa, riconducibile alla collisione continentale tre la placca europea e l'Adria, determina la sovrapposizione delle Unità Liguri Interne (con l'Unità Antola al tetto) sulle Esterne, nonché le principali deformazioni delle Unità Liguri Esterne e delle Unità Subliguri. Tali deformazioni sono almeno parzialmente "sigillate" dai depositi delle successioni semialloctone che, immediatamente dopo la Fase Ligure, ricoprono in discordanza sia le Unità Liguri Esterne (Successione Epiligure), che le Subliguri (successione Rio Fuino - Bratica - Petrignacola, non rappresentata nel Foglio). Durante questa fase di deformazione, ascrivibile presumibilmente all'Eocene medio, si sarebbero generate le brecce argillose di Baiso, particolarmente diffuse al fronte dei principali sovrascorrimenti liguri e parzialmente coinvolte nelle coeve deformazioni;

- fase tettonica compresa tra l'Oligocene superiore ed il Miocene inferiore, che determina il sovrascorrimento delle Unità Groppallo e Cassio sull'Unità Bettola, con coinvolgimento dei sedimenti epiliguri più vecchi (brecce argillose di Baiso, Marne di Monte Piano e Formazione di Ranzano) nella formazione delle blande sinclinali della Val Spettine e della Val Chiarone (nel vicino Foglio 179-Ponte dell'Olio) e di Ruino nel Foglio 178-Voghera; la medesima fase tettonica sarebbe responsabile della messa in posto dei depositi caotici delle brecce argillose della Val Tiepido - Canossa (**MVT**), estesamente rappresentati nel Foglio. Questa fase tettonica è, verosimilmente, connessa all'inizio della strutturazione appenninica *s.s.*, che porta l'Alloctono Ligure a sovrascorrere le unità dell'avanfossa appenninica. Durante questo periodo si esplica l'attività della Linea Villalvernia-Varzi come faglia transpressiva sinistra che costituisce il margine settentrionale del Bacino Terziario Piemontese, associata alla riattivazione della superficie di accavallamento Levanto-Ottone-Brallo e alla genesi di pieghe sud-vergenti a direzione NW-SE, interpretabili come strutture a fiore;
- prosecuzione durante il Burdigaliano (Fase Burdigaliana *Auct.*) della traslazione verso i quadranti nord-orientali delle unità tettoniche, come testimoniato dalla grande discordanza angolare presente alla base delle arenarie di Monte Vallassa, nonché alla base del Gruppo Bismantova nel resto dell'Appennino settentrionale;
- fase tettonica che inizia a partire dal Tortoniano e prosegue nel Miocene superiore, successivamente alla deposizione delle arenarie di Monte Vallassa, e che provoca la messa in posto delle brecce argillose di Costa Pelata e la formazione dell'arco strutturale di Pavia;
- fase medio pliocenica - pleistocenica che vede la deformazione, soprattutto nei periodi più recenti (Pliocene *s.l.*), assumere un asse di deformazione a direzione NNW-SSE, provocando la formazione di sovrascorrimenti a direzione antiappenninica (v. ad es. la "Ruga di Buscofà") e blande pieghe a lunghezza d'onda plurichilometrica, con asse a direzione NE-SW (v. ad es. la sinclinale di Gomo (Perotti, 1995). Essa interessa i conglomerati di Cassano Spinola, o la sinclinale di Momperone, modellata nelle Formazioni di Ran-

PROGETTO CARG

zano, Antognola e di Contignaco). Anche la brachisinclinale di Pizzocorno-Pietragavina sarebbe dovuta all'interferenza di due fasi di deformazione con assi di compressione suborizzontali a direzione rispettivamente verso NE e verso NNW (Perotti & Zoccarato, 2000). Tale fase di deformazione sarebbe proseguita al margine appenninico anche in periodi molto recenti (Quaternario);

- fase distensiva finale (Fig. 39) (Perotti & Vercesi, 1992), riconosciuta nei settori più interni della catena appenninica, di età molto recente che ha dato luogo a sistemi di faglie estensionali che tagliano tutte le strutture precedenti.

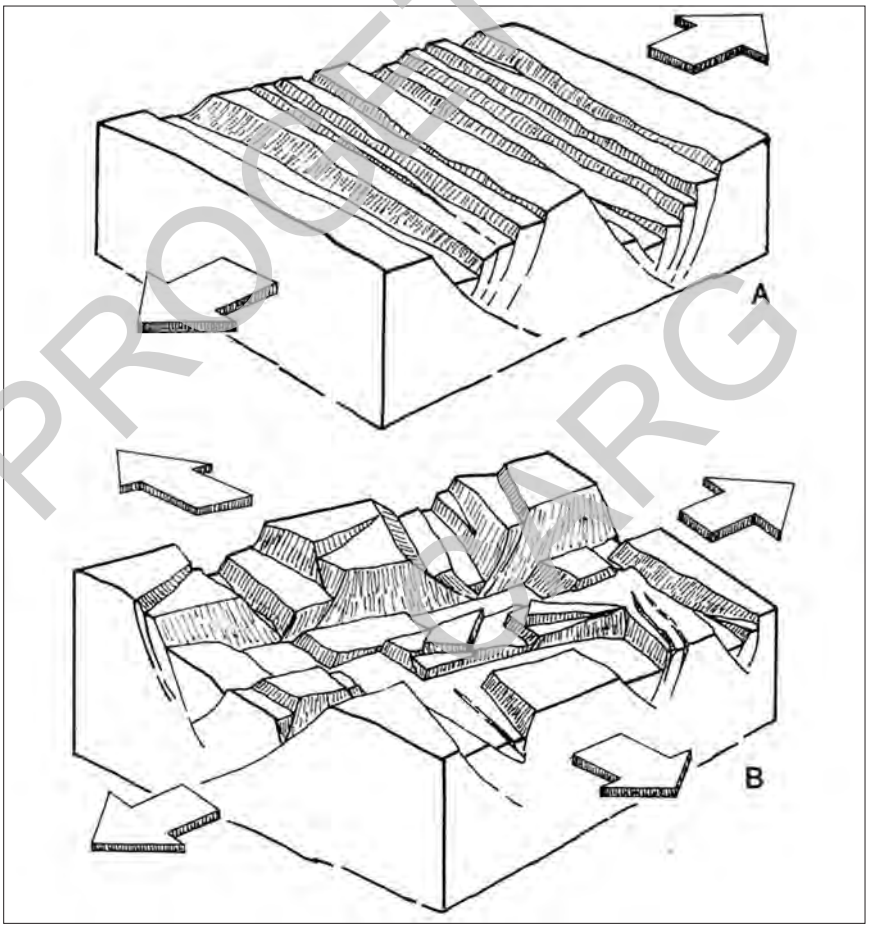


Fig. 39 - *Blocchi diagrammi schematici illustranti differenti modalità di estensione (A = estensione monodirezionale; B = estensione pluridirezionale) (da Perotti & Vercesi, 1992).*

PROGETTO CARG

4. - CENNI DI NEOTETTONICA

Nel 1977 prese avvio, nell'ambito dei Progetti Finalizzati C.N.R., il Progetto Geodinamica, che raggruppava al suo interno diversi Sottoprogetti tra cui quello denominato "Neotettonica".

I risultati delle ricerche svolte sono stati a più riprese pubblicati su specifici volumi; sono state, inoltre, prodotte sintesi cartografiche per i vari settori studiati (Bartolini *et alii*, 1982) ed è stata redatta, come prodotto finale, la *Neotectonic Map of Italy* (Ambrosetti *et alii*, 1983).

Anche la zona compresa nel Foglio 178-Voghera è stata oggetto di ricerche (Boni *et alii*, 1980; Marchetti *et alii*, 1980) con l'individuazione e la descrizione di faglie e di lineamenti ritenuti di interesse neotettonico.

Tra questi si ritengono degni di segnalazione la "fascia di deformazione del T. Tidone" (Marchetti *et alii*, 1980), posta in corrispondenza dell'asta valliva del torrente, che interessa marginalmente, a NE, il Foglio 178-Voghera; il "sistema" di Bagnaria (Boni *et alii*, 1980), la linea Villarvernia-Varzi ove, in corrispondenza del versante sinistro del T. Staffora tra Varzi e Bagnaria, al margine settentrionale della placca di Castagnola (BTP), sono ben evidenti faccette trapezoidali (Gelati & Massiotta, 1977); la linea di Rocca Susella (o linea della Val Schizzola – vedi oltre).

Ad eccezione di quest'ultimo elemento tettonico, gli altri non interessano terreni recenti (miocenici sup. e pliocenici) per cui la loro attività è stata valutata esclusivamente sulla base di indizi morfoneotettonici.

La prosecuzione degli studi (Mantelli & Vercesi, 2000; Perotti & Vercesi, 1992; Pasquini & Vercesi, 2007a, 2007b) nonché i nuovi rilevamenti hanno portato all'acquisizione di ulteriori dati che vanno a integrare quelli già noti.

Il riconoscimento degli elementi lineari ed areali che possono avere significato neotettonico sono riferiti soprattutto all'individuazione di deformazioni e di contatti tettonici che interessano le successioni più recenti, vale a dire quelle plioceniche.

Questi sono trattati specificatamente per il Foglio 178-Voghera ma, tuttavia, non ci si può esimere dall'esporre alcuni elementi che si trovano nelle immediate vicinanze, cioè nei Fogli limitrofi (in particolare nel Foglio 59 Pavia alla scala 1:100.000, Servizio Geologico d'Italia, 1965).

L'avanzata della coltre ligure, rappresentata in superficie dalla Formazione di Val Luretta, trova il suo riscontro nell'accavallamento di questa sulla formazione di Sapigno (zona di Montescano, circa 3 km a N del Foglio 178-Voghera), sul membro delle Arenarie di Monte Arzolo (zona di Mornico Losana, circa 1 km a N) e sulla Formazione di Corvino S. Quirico, caratterizzata da argille plioceniche in cui è stata rinvenuta la *Globorotalia crassaformis* (zona di Corvino S. Quirico, circa 500 m a N).

Nel Foglio 178-Voghera questa dislocazione, tra Montebello della Battaglia e la zona del Palazzo Pegazzera, è mascherata dalle coltri delle epiliguri (rap-

PROGETTO CARG

presentate nelle zone di contatto con le successioni più recenti soprattutto dalla successione Formazione di Contignaco - marne di S. Agata Fossili).

Più ad W, in corrispondenza della Val Schizzola (linea di Rocca Susella di Boni *et alii*, 1980), si ha una evidente dislocazione disposta N-S (con trascorrenza sinistra), che taglia le successioni mio-plioceniche con rigetti decrescenti dai termini serravalliani (ca. 2 km) a quelli pliocenici (ca. 1,2 km).

La sua evidenza verso meridione si perde progressivamente, anche se è possibile seguirne l'andamento sino all'altezza di Ponte Nizza.

In corrispondenza della Valle Staffora si riscontrano evidenti elementi di carattere areale che indicano la presenza di significativi elementi strutturali quali appunto la faglia dello Staffora (Gandolfi, 1948) con la sua prosecuzione nella faglia di Voghera (Bellinzona *et alii*, 1971); questi due elementi tettonici corrispondono ai *thrust* marginali occidentali dell'arco emiliano.

Qui si osserva che le posizioni dei livelli basali delle successioni conglomeratiche messiniane hanno una differenza di quota di circa cento metri (200 m s.l.m. in sinistra Staffora e 300 m s.l.m. in destra).

Sempre ad occidente (zona di Cà Bedaglia - Monte Brienzone) sono presenti le Argille Azzurre sormontate dalle sabbie di Asti, che mancano completamente negli altri settori orientali del pedeappennino.

È evidente la presenza di una zona di basso strutturale che è anche condizionata ed esaltata dall'avanzamento laterale dell'arco emiliano che indica una traslazione relativa, con componente di trascorrenza sinistra, a livello dei termini del Pliocene inferiore, di oltre 5 km; si raffrontino a questo proposito le zone Cà Bedaglia a W e Retorbido ad E.

Altri elementi che documentano gli spostamenti sin- o, più verosimilmente, post-Pliocene inferiore si hanno nella zona di Monticelli e poco a N di C. Galuna.

Nella prima località si ha il contatto tra la Formazione di Ranzano e i depositi pliocenici verticalizzati, rappresentati da marne ciottolose con resti di lamellibranchi (Fig. 40).

Nella seconda località si assiste al contatto tettonico per sovrascorrimento delle argille varicolori di Cassio sulle Argille Azzurre del Pliocene (Fig. 41).

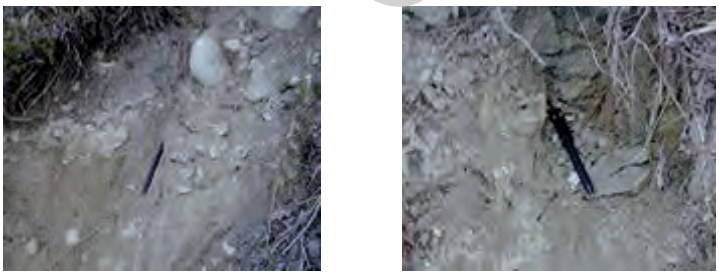


Fig. 40 - *Località Monticelli. Depositi pliocenici con macrofossili (foto a sinistra) in contatto per faglia con la Formazione di Ranzano (foto a destra) (Foto P.L. Vercesi).*

PROGETTO CARG

Fig. 41 - *Contatto per sovrascorrimento tra le argille varicolori di Cassio cretaciche (AVV) e le Argille Azzurre plioceniche (FAA) lungo la linea tratteggiata. I materiali presenti al lato sinistro sono stati scaricati dall'alto per il modellamento dei luoghi (Foto P.L. Vercesi).*

Per gli altri elementi tettonici presenti nel Foglio si rimanda alla bibliografia citata in questo capitolo, sottolineando comunque che i riscontri della loro eventuale attività "recente" non sono supportati dalla presenza di depositi messiniani e/o pliocenici.

Pur essendo la zona in esame alquanto "ristretta", gli elementi presenti consentono di formulare un quadro sull'evoluzione dell'area, che vede una sua segmentazione con faglie a direzione meridiana con prevalenti componenti di trascorrenza sinistra, che hanno portato all'avanzata dello sperone di Stradella e dell'antistante Colle di San Colombano. Accanto a queste dislocazioni sembrano avere un rilevante significato anche la fascia di deformazione del T. Tidone e altri elementi lineari (ad es. la faglia del Rio Marsinola, Marchetti *et alii*, 1979) che, verosimilmente coniugati con i precedenti, individuano una serie di aree a diverso grado di sollevamento, che provocano l'affioramento di elementi miocenici e di termini profondi tra le successioni quaternarie; si vedano ad es. le Marne del Rio Lisone del Tortoniano, che emergono tra i depositi alluvionali del subsintema di Agazzano del Pleistocene medio (Foglio 179-Ponte dell'Olio, Servizio Geologico d'Italia, 2005; Di Dio *et alii*, 2005).

Congiuntamente si assiste alla costituzione della depressione occidentale (area a W di Godiasco con la presenza delle sabbie di Asti), ad W della linea dello Staffora e al margine orientale dell'arco del Monferrato.

PROGETTO CARG

PROGETTO CARG

V - ASPETTI AMBIENTALI ED APPLICATIVI

1. - RISORSE IDRICHE

1.1. - Le Risorse Idropotabili

Il territorio corrispondente al Foglio 178-Voghera può essere classificato, sotto l'aspetto idrogeologico, nelle seguenti 5 categorie, nelle quali sono raggruppati terreni con caratteristiche complessivamente omogenee:

1) formazioni alluvionali a prevalente componente ghiaioso-sabbiosa, dotate nel complesso di permeabilità da media ad elevata;
2) formazioni a prevalente componente terrigena grossolana, dotate di permeabilità generalmente da media a medio-elevata;
3) formazioni ad abbondante o prevalente componente terrigena fine, dotate di permeabilità generalmente da medio-bassa a bassa;
4) formazioni di natura prevalentemente calcarea o calcareo-marnosa, dotate di permeabilità in genere da media ad elevata, ma comunque variabile in funzione del grado di fratturazione;
5) accumuli detritici ed eluvio-colluviali e corpi di frana, contraddistinti da permeabilità variabile in funzione delle caratteristiche granulometriche e della distribuzione della frazione pelitica.

Rientrano nella prima categoria tutti i terreni costituenti il riempimento alluvionale delle zone di pianura e di fondovalle dei corsi d'acqua principali, ovvero quelli riferibili ai momenti deposizionali olocenici e pleistocenici.

Tali terreni, dotati nel complesso di una permeabilità di massa da media ad elevata (e comunque ovviamente variabile in funzione delle locali caratteristiche granulometriche connesse alla complessa dinamica deposizionale fluviale),

sono tuttavia spesso interessati dalla presenza di orizzonti superficiali di natura limoso-argillosa a permeabilità decisamente più ridotta. Tale fatto si verifica soprattutto in corrispondenza dei ripiani alluvionali più antichi, che possiedono una più o meno spessa coltre di alterazione superficiale limoso-argillosa, o nell'ambito delle zone di pianura, dove le assise alluvionali grossolane sono frequentemente ricoperte dai limi di esondazione fluviale (ricollegabili all'attività deposizionale del T. Staffora).

Le coperture di natura limoso-argillosa sono generalmente assenti lungo il fondovalle del T. Staffora e dei suoi affluenti principali (ripiani degli alvei attuali o comunque ripiani debolmente sopraelevati rispetto agli alvei attuali) e nella zona posta in corrispondenza dello sbocco in pianura del torrente medesimo.

Nella seconda categoria di classificazione idrogeologica, che comprende formazioni a prevalente componente terrigena grossolana dotate di una permeabilità generalmente da media a medio-elevata, ricadono le sabbie di Asti, i conglomerati di Mondondone, il membro delle Arenarie di Monte Arzolo, i conglomerati di Cassano Spinola, le arenarie di Monte Vallassa ed i terreni riferibili alle facies conglomeratiche della Formazione di Ranzano; tutte queste formazioni sono diffuse nella parte collinare e medio-montana dell'area del Foglio.

I terreni considerati risultano permeabili per porosità e/o fratturazione e presentano un grado di permeabilità ovviamente variabile in funzione della granulometria locale dei depositi e del più o meno spinto grado di cataclasi degli stessi complessi rocciosi.

Soprattutto per le plioceniche sabbie di Asti, che presentano un assetto giaciturale sostanzialmente indisturbato, la permeabilità dipende più dalla porosità e dal grado di cementazione (peraltro in genere molto ridotto), mentre nelle restanti successioni il grado di fratturazione riveste un interesse maggiore, concentrandosi, nella maggior parte dei casi, le sorgenti in corrispondenza delle disgiunzioni presenti nella roccia.

Anche per i conglomerati di Mondondone e di Cassano Spinola, con l'associato membro delle Arenarie di Monte Arzolo, si può genericamente affermare che il grado di permeabilità risulta mediamente più elevato di quello delle altre formazioni terrigene grossolane presenti nel Foglio; ciò per via della frequente presenza di bancate o livelli conglomeratici a granulometria anche molto grossolana, spesso a ridotto grado di cementazione.

Rientrano nella terza categoria di classificazione idrogeologica tutte le formazioni ad abbondante o prevalente componente terrigena fine dotate di permeabilità da medio-bassa a bassa, ovvero le Argille Azzurre, la formazione di Sapigno, le marne di S. Agata Fossili, la Formazione di Contignaco, le formazioni del Bacino Terziario Piemontese, le Marne di Antognola, i terreni riferibili alla facies arenaceo-marnoso-sabbiosa della Formazione di Ranzano, le Marne di Monte Piano, le argille varicolori di Cassio, le arenarie di Scabiazza, il complesso di Pietra Parcellara e i depositi caotici che corrispondono alla brecce argillose di Baiso, alle brecce argillose della Val Tiepido - Canossa e alle brecce argillose di Costa Pelata.

PROGETTO CARG

È da rilevare che la formazione di Castagnola, presente sulla sinistra dello Staffora a SW di Varzi, presenta mediamente un grado di permeabilità più elevato delle formazioni terrigene ad abbondante o prevalente componente fine cui è stata associata in carta; la sua permeabilità di massa risulta comunque nel complesso non certamente elevata.

È anche da ricordare che nell'ambito della zona di affioramento del complesso di Pietra Parcellara sono incluse sia pur ridotte masse di rocce di natura ofiolitica, che presentano caratteristiche idrogeologiche nettamente differenti rispetto a quelle dei materiali argillosi in cui risultano inglobate; tali masse, in funzione del loro mediamente elevato grado di fratturazione, sono infatti dotate di una permeabilità in genere elevata.

Nella quarta categoria idrogeologica rientrano il flysch di Monte Penice, il flysch di Bettola e il flysch di Monte Cassio, formazioni di natura prevalentemente calcarea o calcareo-marnosa, prevalentemente diffuse nelle parte montana del Foglio. Come già sottolineato, tali unità formazionali presentano complessivamente una permeabilità da media a medio-elevata, variabile soprattutto in funzione del grado di fratturazione, che può risultare localmente anche piuttosto marcato; ciò avviene soprattutto nelle aree ove sono presenti faglie o sistemi di faglie o nelle aree dove la roccia è interessata da ripiegamenti intensi.

La quinta categoria comprende gli accumuli detritici ed eluvio-colluviali e i corpi di frana. In corrispondenza di queste zone, molto diffuse nel Foglio 178-Voghera, anche se cartografate solo in modo estremamente ridotto e parziale, si assiste in genere a un'attiva circolazione delle acque che avviene in modo superficiale, interessando solo i corpi di frana e non il substrato, con frequenti infiltrazioni e riemersioni, fattori che favoriscono la genesi e lo sviluppo dei movimenti gravitativi stessi.

Queste masse sono contraddistinte da permeabilità variabile in funzione delle caratteristiche granulometriche e della distribuzione della frazione pelitica.

Per quel che concerne la vulnerabilità idrogeologica dei terreni presenti nell'ambito del bacino dello Staffora, questa risulta direttamente correlata al grado di permeabilità dei terreni medesimi, che è a sua volta connesso alle caratteristiche litologiche (granulometria e tessitura dei depositi) e tettoniche (grado di fratturazione) delle successioni rocciose.

Il grado di vulnerabilità delle formazioni alluvionali (zone di fondovalle e pianura), vista la prevalente granulometria grossolana di tali depositi, risulta in genere elevato.

Laddove sussistono però coperture di natura limoso-argillosa (praticamente tutto il settore di pianura al margine NW del Foglio sino alla città di Voghera) il grado di vulnerabilità può abbassarsi anche notevolmente, garantendo in tal modo (soprattutto se lo spessore delle coltri superficiali argillose è abbastanza sensibile) una buona protezione delle acque sotterranee di falda; la presenza di coltri limoso-argillose superficiali protegge infatti le acque di falda dall'infiltrazione di materiali inquinanti (Cavanna *et alii*, 1998).

Risulta complessivamente da medio ad elevato il grado di vulnerabilità idro-

PROGETTO CARG

geologica delle formazioni ad elevata componente terrigena grossolana, anche se esso può ridursi in corrispondenza di livelli o lenti di materiali più fini o contraddistinti da un elevato grado di cementazione o dotati di un basso grado di fratturazione tettonica.

La vulnerabilità dei terreni ad abbondante o prevalente componente terrigena fine risulta, invece, generalmente bassa o molto bassa, visto lo scarso grado di permeabilità complessivo di tali assiemi rocciosi. Solo in corrispondenza di locali livelli a granulometria grossolana la vulnerabilità può risultare talora anche molto elevata. È però da sottolineare che il frequente scompaginamento tettonico degli ammassi rocciosi in questione (v. in particolare arenarie di Scabiazza, argille varicolori di Cassio, complessi breccioidi in genere) ha spesso distrutto la continuità degli orizzonti grossolani intercalati nelle successioni argillose provocandone la frammentazione e dispersione entro il restante materiale argilloso.

Per quel che concerne la vulnerabilità delle formazioni prevalentemente calcaree o calcareo-marnose, questa può considerarsi complessivamente abbastanza elevata e può divenire anche molto marcata in corrispondenza di livelli contraddistinti da un forte grado di cataclasi.

Infine, relativamente al grado di vulnerabilità degli accumuli detritici ed eluvio-colluviali e dei corpi di frana, si può affermare che esso è estremamente variabile essendo correlato alle caratteristiche granulometriche locali dei depositi gravitativi presi in considerazione.

Le risorse idriche del territorio possono, nel complesso, essere definite come scarse o molto scarse. Ciò vale sia per la zona montana che per quella di pianura.

Le aree costituenti la "monoclinale" pedeappenninica sono quelle maggiormente carenti di risorse, in quanto le litologie presenti non consentono la formazione di falde idriche né di circuiti entro le successioni prevalentemente marnoso argillose.

Nella zona montana si assiste alla presenza di numerose sorgenti ai margini delle "placche" arenacee (arenarie di Monte Vallassa, Formazione di Ranzano, ecc.) o calcareo-marnose (flysch di Monte Cassio), o emergenti lungo lineamenti tettonici (ad es. zona del contatto tra il flysch di Monte Cassio ed i terreni argillosi ad E di Varzi).

Laddove unità a elevata permeabilità risultano geometricamente sovrapposte a unità a bassa permeabilità, si individuano linee o zone di emergenza idrica diffusa, o talvolta ben evidenti orizzonti sorgentizi.

Sono da ricordare, in particolare, i casi delle placche conglomeratiche, modellate nei conglomerati di Cassano Spinola, di Nazzano e di Godiasco - Rocca Susella, nonché quelli della placca conglomeratica di Pizzocorno - Pietragavina a N di Varzi (modellata nelle arenarie di Monte Vallassa) che poggiano su sottostanti depositi a basso grado di permeabilità costituiti da materiali a forte componente argilloso-limosa. Alla base delle pareti conglomeratiche sono localizzate varie sorgenti di importanza più o meno rilevante, anche se solo di interesse locale.

Numerose sorgenti (sorgenti di strato) sono presenti anche lungo il fianco

PROGETTO CARG

delle incisioni vallive che intaccano talora profondamente le placche di materiali grossolani citate in precedenza; ciò è soprattutto rilevabile lungo il bordo meridionale della placca arenacea di Pizzocorno - Pietragavina.

La maggioranza delle sorgenti presenti nell'area collinare e montana del bacino idrografico dello Staffora presenta portate limitate e regime idrologico molto irregolare, con forti variazioni di portata correlate all'andamento pluviometrico locale. Molte sorgenti rappresentano solo venute idriche temporanee.

Per questi fattori, poche sorgenti vengono sfruttate come punti di approvvigionamento idropotabile.

Passando a esaminare le zone di raccordo tra rilievo collinare e pianura, è possibile l'individuazione di quelle che sono le principali direttrici di alimentazione delle acque di falda nella piana vogherese.

Tali direttrici sono definite dall'andamento dei fondovalle principali; la falda nel tratto di pianura di interesse risulta alimentata dagli apporti idrici superficiali e sotterranei, provenienti in primo luogo dai fondovalle del T. Staffora e subordinatamente da quelli delle locali valli secondarie (T. Rile di Retorbido, T. Luria, ecc.), del T. Coppa, ecc.

La ridotta porzione di pianura e quella dei terrazzi presenti nell'angolo NW del Foglio hanno potenzialità idrogeologiche limitate.

La falda freatica si avvicina al piano campagna a N di Voghera, al di fuori del Foglio, mentre a S si riscontra alla profondità di diverse decine di metri.

Lungo la fascia di raccordo pianura-collina è più frequente intercettare acque mineralizzate che non acque dolci. Queste sono presenti, come già detto, procedendo verso i settori settentrionali.

1.2. - Le Acque Minerali

Il territorio vogherese è ricco di emergenze idriche a chimismo "anomalo".

Queste si riscontrano in numerosi punti, con fenomeni di mineralizzazione comportanti la presenza di solfati che trovano riscontro nelle successioni litologiche presenti – soprattutto "complessi caotici", arenarie di Scabiazza e formazione di Sapigno – contenenti minerali quali marcasite, pirite, gesso e solfati di Ba e Sr.

Le scaturigini sono molto diffuse, anche se di portata molto limitata; le principali si riscontrano ai margini della placca arenacea di Pizzocorno (Meisina & Guagnini, 1975), in località Molino Cassano (Val di Nizza, captata) e lungo il versante sinistro della Valle Staffora (zona di fondovalle) tra Varzi e Bagnaria (Ariati *et alii*, 1989).

Più significative e conosciute sono le numerose sorgenti sulfuree presenti nella zona del margine collinare nelle località (da E verso W e WSW) di Nebiolo, Garlassolo, Retorbido, Godiasco, Monte Alfeo, Salice Terme e Rivanazzano (Cavanna *et alii*, 1995).

Nella maggior parte dei casi si tratta di sorgenti che si collocano nelle zone

PROGETTO CARG

in cui è presente la formazione di Sapigno, che poggia sulle marne di S. Agata Fossili e ha al tetto successioni poroso-permeabili (conglomerati di Cassano Spinola e membro delle Arenarie di Monte Arzolo).

Le condizioni geologiche locali e il tipo di mineralizzazione porta a ritenere che i circuiti idrici siano relativamente brevi, localizzati nelle fasce a maggior grado di permeabilità e con portate variabili, che risentono degli apporti meteorologici.

Le sorgenti sembrano pertanto legate ad una ricarica locale, con percolazione delle acque attraverso i depositi psefitico-psammitici sino al contatto con le gessoareniti e le gessoruditi sottostanti.

Nella zona di Monte Alfeo si hanno acque a elevata concentrazione salina che sono captate a scopi termali mediante pozzi spinti a profondità variabili tra i 16,5 e i 30 metri.

In questa località si hanno depositi alluvionali che ricoprono le assise del Messiniano che qui sono costituite, tra l'altro, da calcari cariati, lenti gessoarenitiche e lenti di zolfo, sfruttate in passato mediante una vecchia miniera già coltivata, in galleria, in epoca romana.

Sia a Rivanazzano che, soprattutto, a Salice Terme, si rinvengono acque minerali a connotazione salsobromoiodica, captate sia da acquiferi superficiali che profondi. Le acque sono prelevate da pozzi che si spingono a profondità variabili tra i 90 e i 320 metri, che non forniscono grandi quantitativi idrici; il pozzo più famoso è il pozzo Sales (*Fons Sales* – scavato a mano in epoca romana, I sec. A.C., rivestito in rovere e mattoni sino a 18 m di profondità) le cui acque presentano valori di residuo fisso oscillanti tra 30 e 70 g/l. La mineralizzazione presente è data da ioni Cl, Na, Mg, Ca e, in subordine, da Br (tra 50 e 500 mg/l) e I (tra 9 e 35 mg/l). La temperatura delle acque presenta valori generalmente compresi tra 13° e 17° C evidenziando che si tratta di "acque fredde" compatibili con un circuito idrico superficiale, da porre in relazione con le escursioni termiche atmosferiche stagionali.

1.3. - Produzione di Energia Idroelettrica

Lungo il corso del T. Tidone, tra gli anni 1921 e 1928, è stata costruita la Diga del Molato, che forma un bacino (Lago di Trebecco) situato tra i comuni di Nibbiano (Piacenza) e di Zavattarello (Pavia). Il nome del lago deriva dall'antico borgo di Trebecco, oggi frazione di Nibbiano, che al tempo della costruzione della diga era un comune autonomo. La diga, costruita al fine di laminare le piene del Tidone, per scopi irrigui, potabili e idroelettrici è del tipo ad archi multipli e speroni, con le due spalle in calcestruzzo a gravità massiccia, ed è alta 55 m, con sviluppo del coronamento di 322 m; sottende un bacino di 83 km^2. La capacità iniziale del lago-serbatoio era di 12.5 milioni di metri cubi, ridottasi in seguito notevolmente. Recentemente (2005) sono stati ultimati i lavori di ristrutturazione della diga che l'hanno portata alla rinnovata efficienza ma con una diminuzione

PROGETTO CARG

consistente della potenzialità d'invaso, che risulta di circa 9 milioni di m3. La diga è gestita attualmente dal Consorzio di Bonifica di Piacenza, che ne utilizza le acque per finalità agricole; contemporaneamente queste sono impiegate anche per la produzione di energia elettrica, gestita direttamente da Enel Green Power, con una resa media annua che si aggira su 1,5-2 MGW/h.

2. - CAVE E MINIERE

Le informazioni di seguito esposte, relative ai materiali potenzialmente estraibili da cave e/o miniere sono strettamente attinenti al Foglio 178-Voghera, anche se a poche centinaia di metri (ad es. a N) sono presenti risorse significative per la produzione di laterizi.

Le attività estrattive interessano, o hanno interessato in passato, diverse produzioni: argille, di alterazione nelle aree di pianura e nella fascia pedemontana, e primarie nella fascia interna della catena; sabbie e ghiaie, nei depositi di pianura e vallivi; brecce e puddinghe, principalmente nei depositi clastici in area montuosa (conglomerati di Cassano Spinola); calcari, sia come inerti sia come pietre ornamentali, e gesso, nella fascia prospiciente la pianura interessata dal Gruppo Gessoso-Solfifera del Messiniano. Nell'area del Foglio risultano ancora in attività, nel 2010, poche cave (Tab. 2). Nella fascia di pianura pedemontana, al vertice NW del Foglio, sono ubicati tre poli estrattivi di argille, utilizzate soprattutto per la produzione di laterizi. I comuni interessati sono Retorbido, Montebello della Battaglia e Torrazza Coste, con alcune cave tuttavia sviluppate a cavallo dei confini comunali. Le argille estratte derivano principalmente dai processi pedogenetici sviluppati a spese dei sedimenti vallivi che risedimentano le argille primarie delle unità di substrato. All'interno dell'area montuosa è presente una cava attiva di argilla nel territorio di Torrazza Coste e una cava di materiali lapidei, calcari, calcari marnosi e calcari silicei nel comune di Borgo Priolo (formazione di Contignaco). In totale sono quindi cinque poli estrattivi suddivisi tra otto impianti di cava.

Tab. 2 - *Elenco cave attive nell'anno 2010.*

Provincia	Comune	Sigla	Materiale	Tipologia
PV	Borgo Priolo	C38/c90/PV	Argilla	Mezzacosta
PV	Calvignano	C38/c90/PV	Argilla	Mezzacosta
PV	Borgo Priolo	C39/c89/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante
PV	Torrazza Coste	C39/c89/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante
PV	Torrazza Coste	C67/a86/PV	Argilla	A cielo aperto
PV	Montebello della Battaglia	C67/a86/PV	Argilla	A cielo aperto
PV	Retorbido	C33/a80/PV	Argilla	A cielo aperto
PV	Torrazza Coste	C44/a86/PV	Argilla	A cielo aperto

PROGETTO CARG

Nel passato invece l'attività estrattiva è stata molto più intensa (Tab. 3). Oltre alle cave di pianura dedicate all'estrazione di argilla, sabbie e ghiaie era presente una cava, sempre per sabbie e ghiaie, sviluppata nei depositi alluvionali del Torrente Staffora presso Nazzano; cave di brecce usate come inerti erano presenti sul Torrente Staffora presso Salice Terme e a Coppena sul Torrente Coppa. In aree più interne, nelle valli Versa e Scuropasso, tra Canevino e Volpara e nei dintorni di Lirio, venivano cavati, anche in galleria, i banchi di marne rosate del membro di Poviago della formazione di Val Luretta. Cave di argille primarie erano numerosissime nella zona a NW di Zavattarello, a N di Ponte Nizza e sulla fascia prospiciente la pianura a N di Rocca Susella. Altrettanto numerose le cave di calcari, usati sia come inerti che localmente tagliati come pietra ornamentale e da costruzione, ubicate sia al vertice NE del Foglio, a Montecalvo Versiggia, e nella parte S, tra Bagnara e Varzi. Va segnalata un'unica cava di gesso, impostata nel Gruppo Gessoso Solfifera, presso Mondondone, sotto al Monte Lucano.

In ogni caso le risorse di materiali di cava non sono particolarmente interessanti – fatta eccezione per le cave di calcari marnosi della formazione di Contignaco – ma destinati per lo più a utilizzi locali, con quantitativi disponibili molto limitati.

Tab. 3 - *Elenco cave cessate aggiornato all'anno 2010.*

Provincia	Comune	Sigla	Materiale	Tipologia	Superficie
PV	Bagnaria	R1300/a/PV	Argilla	Base versante	da 1 a 10 ha
PV	Bagnaria	R1301/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Mezzacosta	fino a 1 ha
PV	Borgo Priolo	R1411/a/PV	Argilla	A fossa in falda	fino a 1 ha
PV	Borgo Priolo	R1326/p/PV	Brecce e puddinghe	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Borgo Priolo	R1318/a/PV	Argilla	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Borgo Priolo	R1412/a/PV	Argilla	A cielo aperto	da 10 a 30 ha
PV	Calvignano	C45/a87/PV		Mezzacosta	
PV	Calvignano	R1325/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Canevino	R1337/o/PV	Brecce e puddinghe	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Canevino	R1339/o/PV	Brecce e puddinghe	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Canevino	R1340/o/PV	Brecce e puddinghe	A cielo aperto	da 1 a 10 ha
PV	Canevino	R1341/o/PV	Brecce e puddinghe	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Casteggio	R1327/p/PV	Brecce e puddinghe	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Cecima	R1307/a/PV	Argilla	Base versante	oltre 30 ha
PV	Codevilla	R1514/a/PV	Argilla	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Codevilla	R1515/a/PV	Gesso	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Codevilla	R1314/c/PV	Gesso	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Golferenzo	R1342/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	In sotterraneo	
PV	Golferenzo	R1343/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	In sotterraneo	
PV	Golferenzo	R1345/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	In sotterraneo	
PV	Lirio	R1371/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	A cielo aperto	da 1 a 10 ha
PV	Lirio	R1372/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Menconico	R1284/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante	fino a 1 ha

PROGETTO CARG

Provincia	Comune	Sigla	Materiale	Tipologia	Superficie
PV	Montalto pavese	R1335/o/PV	Argilla	Altro	fino a 1 ha
PV	Montebello della Battaglia	R1410/a/PV	Argilla	A fossa a secco	da 1 a 10 ha
PV	Montebello della Battaglia	R1331/a/PV	Argilla	A fossa a secco	da 1 a 10 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1346/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	In sotterraneo	
PV	Montecalvo Versiggia	R1364/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Altro	da 1 a 10 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1368/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Altro	fino a 1 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1370/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Altro	fino a 1 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1392/o/PV	Brecce e puddinghe	Altro	fino a 1 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1369/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Altro	fino a 1 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1365/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Altro	da 1 a 10 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1363/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Altro	da 1 a 10 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1360/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Altro	da 1 a 10 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1361/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	A cielo aperto	da 1 a 10 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1362/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Montecalvo Versiggia	R1348/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	In sotterraneo	
PV	Ponte Nizza	R1303/a/PV	Argilla	Base versante	da 1 a 10 ha
PV	Ponte Nizza	R1304/o/PV	Argilla, sabbia e ghiaia	Base versante	da 1 a 10 ha
PV	Ponte Nizza	R1305/a/PV	Argilla	Base versante	da 1 a 10 ha
PV	Ponte Nizza	R1306/a/PV	Argilla	Mezzacosta	fino a 1 ha
PV	Retorbido	R1312/a/PV	Argilla	Altro	da 1 a 10 ha
PV	Rivanazzano	R1308/p/PV	Brecce e puddinghe	Altro	fino a 1 ha
PV	Rivanazzano	R1309/g/PV	Sabbia e ghiaia	Altro	da 1 a 10 ha
PV	Rivanazzano	R1311/a/PV	Argilla	Altro	da 1 a 10 ha
PV	Rocca Susella	R37/c88/PV	Argilla	Base versante	
PV	Rocca Susella	R1313/p/PV	Brecce e puddinghe	Altro	fino a 1 ha
PV	Rocca Susella	R1316/a/PV	Argilla	Altro	fino a 1 ha
PV	Rocca Susella	R1317/a/PV	Argilla	Altro	fino a 1 ha
PV	Rocca Susella	R1315/a/PV	Argilla	Altro	da 1 a 10 ha
PV	Romagnese	R1289/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante	fino a 1 ha
PV	Romagnese	R1287/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante	fino a 1 ha
PV	Romagnese	R1290/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante	da 1 a 10 ha
PV	Romagnese	R1292/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante	fino a 1 ha
PV	Romagnese	R1293/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante	da 1 a 10 ha
PV	Ruino	R1336/c/PV	Gesso	Altro	da 1 a 10 ha
PV	Santa Maria della Versa	R1347/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	In sotterraneo	
PV	Santa Maria della Versa	R1367/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	A cielo aperto	da 1 a 10 ha
PV	Santa Maria della Versa	R1359/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	A cielo aperto	fino a 1 ha
PV	Torrazza Coste	R1513/a/PV	Argilla	A cielo aperto	da 1 a 10 ha
PV	Valverde	R1295/a/PV	Argilla	A fossa in falda	fino a 1 ha
PV	Valverde	R1298/a/PV	Argilla	Base versante	da 1 a 10 ha
PV	Valverde	R1296/a/PV	Argilla	Base versante	da 1 a 10 ha
PV	Valverde	R1297/a/PV	Argilla	Base versante	da 1 a 10 ha
PV	Varzi	R1294/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante	fino a 1 ha
PV	Varzi	R1320/c/PV	Calcare (anche dolomitico)	Base versante	fino a 1 ha
PV	Voghera	R1521/a/PV	Argilla	A fossa a secco	da 1 a 10 ha
PV	Voghera	R1580/a/PV	Argilla	A fossa a secco	da 1 a 10 ha
PV	Volpara	R1338/o/PV	Calcare (anche dolomitico)	altro	da 1 a 10 ha

PROGETTO GARG

3. - PATRIMONIO GEOLOGICO

Appare opportuno menzionare quegli elementi geologici del territorio ritenuti meritevoli di tutela in quanto riconosciuti come beni geologici. I cosiddetti geositi sono individuati qualora a essi sia possibile associare un valore scientifico, ai fini della comprensione dei processi geologici in atto e/o nei termini dell'esemplarità didattica. I geositi trovano una posizione ben definita nella normativa comunitaria, in particolare nella Raccomandazione del Consiglio d'Europa Rec (2004) sulla conservazione del patrimonio geologico e delle aree di particolare interesse geologico, adottata dal Comitato dei Ministri il 5 maggio 2004, e sono stati riconosciuti come "istituzioni per la tutela della natura" nel Piano Territoriale Paesaggistico Regionale (PTPR) approvato dalla Giunta Regionale con Deliberazione 16 gennaio 2008, n. 8/6447, adottato dal Consiglio Regionale della Lombardia con Deliberazione n. VIII/874 del 30 luglio 2009 e approvato con Deliberazione n. VIII/951 del 2010. I repertori del PTPR sono congruenti con l'allegato 14 della Deliberazione di Giunta Regionale n. IX/2616 del 11 novembre 2011 ("Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio"), cui si è fatto riferimento per l'individuazione dei geositi nell'area del Foglio 178-Voghera.

I 17 geositi ricadenti nell'area del Foglio (Tab. 4) sono stati classificati da un punto di vista tipologico, secondo le indicazioni del progetto "Conservazione del patrimonio geologico italiano" coordinato da ISPRA, sulla base del motivo d'in-

Tab. 4 - *Dati di sintesi sui 17 geositi riconosciuti da Regione Lombardia sull'area del Foglio 178-Voghera (fonti: PTPR 2009 e D.G.R. 2616/2011).*

Nome	Valore	Livello	Comune	Prov.	Comunità Montana
Affioramento di Marne di Monte Lumello	Sedimentologico	L	Godiasco	PV	Oltrepò Pavese
Apofisi Orientale del Bacino Terziario Piemontese	Geologia strutturale	R	Varzi	PV	Oltrepò Pavese
Calanchi di Fontana Nivone	Geomorfologico	L	Varzi	PV	Oltrepò Pavese
Calanchi di Torrazza Coste	Geomorfologico	R	Torrazza Coste	PV	Oltrepò Pavese
Deviazione Staffora - Bagnaria	Geologia strutturale	L	Bagnaria	PV	Oltrepò Pavese
Deviazione Staffora - Varzi	Geologia strutturale	L	Varzi	PV	Oltrepò Pavese
Fonti di Salice Terme	Idrogeologico	R	Godiasco	PV	Oltrepò Pavese
Frana di Colombato	Geomorfologico	L	Montecalvo Versiggia	PV	Oltrepò Pavese
Frana di Poggio Ferrato	Geomorfologico	L	Val di Nizza	PV	Oltrepò Pavese
Gessi di Garlazzolo	Sedimentologico	L	Codevilla	PV	Oltrepò Pavese
Monte Calcinera	Sedimentologico	R	Cecima	PV	Oltrepò Pavese
Grotta di San Ponzo	Sedimentologico	L	Ponte Nizza	PV	Oltrepò Pavese
Orrido di Cadezzano	Geomorfologico	R	Rivanazzano	PV	
Orrido di Sant'antonino	Geomorfologico	R	Torrazza Coste	PV	Oltrepò Pavese
Placca di Pizzocorno - Pietragavina	Sedimentologico	L	Ponte Nizza	PV	Oltrepò Pavese
Rocca Susella	Sedimentologico	N	Rocca Susella	PV	Oltrepò Pavese
Valle in Formazione del Rio del Mola	Geomorfologico	L	Valverde	PV	Oltrepò Pavese

PROGETTO CARG

teresse scientifico prevalente (in questo caso prevalentemente geomorfologico e sedimentologico) e sul livello al quale l'interesse si esplica (da locale a mondiale). Tutti i geositi riportati nella tabella 4 sono stati descritti in Pellegrini & Vercesi (2005) assieme a molti altri che sono stati successivamente inclusi nel PTCP della Provincia di Pavia.

4. - RISCHI NATURALI

4.1. - Sismicità

L'area del Foglio 178-Voghera si colloca, dal punto di vista sismotettonico, in una complessa zona di trasferimento che accomoda la migrazione verso NE degli archi appenninici emiliano e del Monferrato (Patacca *et alii*, 1990; Meletti *et alii*, 2008). La sismicità dell'area del Foglio è tuttavia modesta, soprattutto se confrontata con quella osservata più a E, lungo gli archi strutturali che costituiscono il fronte settentrionale degli Appennini e in corrispondenza con le faglie di svincolo.

All'interno dell'area del Foglio gli epicentri di terremoti sia storici sia recenti si concentrano nel suo angolo SW (Fig. 42).

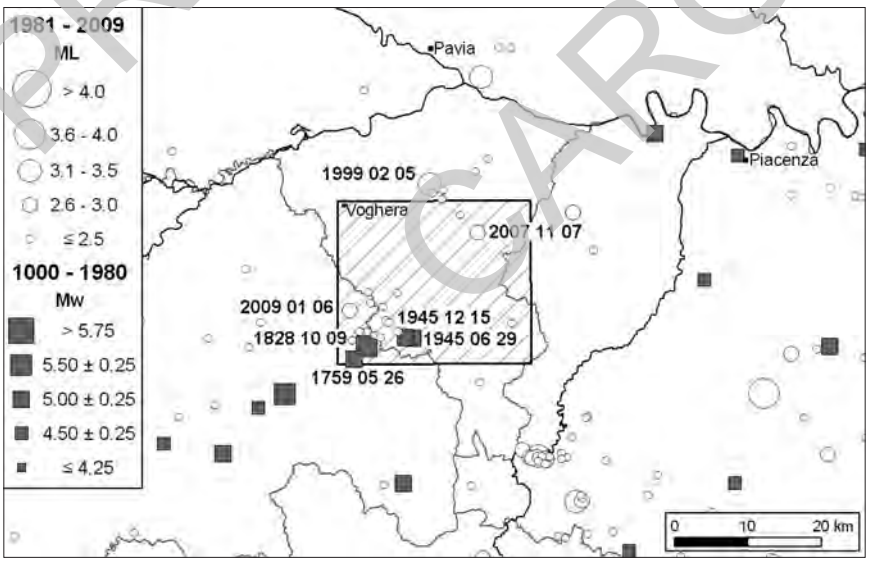


Fig. 42 - *Sismicità 1000-1980 da CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004) e 1981-2009 da CSI 1.1 (Castello* et alii*, 2006 e Bollettino Strumentale INGV). (Mw = magnitudo momento, ML = magnitudo locale).*

PROGETTO CARG

Secondo il catalogo CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004) in questo angolo si localizzano i terremoti del 26 maggio 1759 (Mw 4.83 ± 0.26), del 9 ottobre 1828 (Mw 5.67 ± 0.08), del 29 giugno e 15 dicembre 1945 (Mw 5.15 ± 0.11 e Mw 4.78 ± 0.11, rispettivamente).

Il terremoto del 1759 è noto solamente attraverso gli effetti che ha provocato a Pavia e Genova, con intensità valutate rispettivamente come 6 e 5 MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg; Sieberg, 1932) dallo studio di ENEL (1985). La valutazione dell'epicentro e della magnitudo del terremoto sono quindi da ritenersi molto incerti; tuttavia le intensità macrosismiche assegnate a Pavia e Genova in conseguenza del meglio conosciuto terremoto del 1828 (6 MCS per entrambe le città secondo Boschi *et alii*, 1997) supportano la localizzazione dell'epicentro del terremoto del 1759 non lontano da quello del 1828.

Il terremoto del 9 ottobre 1828 (Mw 5.67 ± 0.08) è il più forte tra quelli sopra citati e dell'intera area, insieme a quello del 22 ottobre 1522 con epicentro localizzato a SW dell'area del Foglio e Mw 5.48 ± 0.15. L'epicentro del terremoto del 1828 è localizzato nell'alta valle del Curone, poco a S di Momperone, ed è determinato dalla distribuzione dei 105 dati di intensità macrosismica valutati da Boschi *et alii* (1997). Secondo questo studio, il terremoto produsse danni classificati come Is 7-8 e 7 MCS in 30 località situate principalmente nelle valli dello Staffora e del Curone, ma anche, tra le altre, a Novi Ligure, Alessandria, Tortona, Voghera e Casteggio (Fig. 43). L'intensità massima, pari a 8 MCS fu osservata a San Paolo, pochi km a E di Godiasco. Il terremoto produsse danni più lievi, valutati come Is 6-7 e 6 MCS in un'altra trentina di località, molte delle quali situate all'interno dell'area del Foglio, ma anche a Pavia e Genova, come ricordato più sopra. Inoltre, l'area di risentimento fu molto ampia, da Marsiglia a Ravenna e da Livorno a Lugano.

L'epicentro del terremoto del 29 giugno 1945 è localizzato nella valle dello Staffora nei pressi di Bagnaria (Mw 5.15 ± 0.11). Secondo lo studio di Boschi *et alii* (1997), dal quale derivano i parametri proposti da CPTI04, gli effetti del terremoto riguardano in tutto 31 località. Le intensità più elevate (Is 7-8 e 7 MCS) sono assegnate a 20 località situate prevalentemente all'interno del Foglio, in un'area ristretta della valle dello Staffora. Danni più lievi furono osservati a Godiasco (Is 6-7 MCS), Rivanazzano e Voghera (Is 6 MCS); l'area di risentimento non andò oltre Pavia (Is 4-5 MCS) e l'entroterra di Genova (Rondanina, Is 4 MCS).

Il 15 dicembre 1945 un'altra scossa produsse, secondo lo studio di ENEL (1985) danni lievi (Is 6 MCS) a Momperone e Varzi e fu risentita in altre 5 località situate a W in Provincia di Alessandria e fino a Torino, Genova e Pavia. Sulla base di queste informazioni CPTI04 localizza l'epicentro del terremoto molto vicino a quello del 29 giugno.

La storia sismica di Voghera (Fig. 44) si presenta abbastanza povera, e comincia con il risentimento del terremoto della Valle dell'Olio del 1802, la cui intensità risentita a Voghera è stata recentemente abbassata da Is 5 MCS a Is 4 MCS (Albini & Rovida, 2010). Successivamente le intensità più elevate

PROPRIETÀ CNR

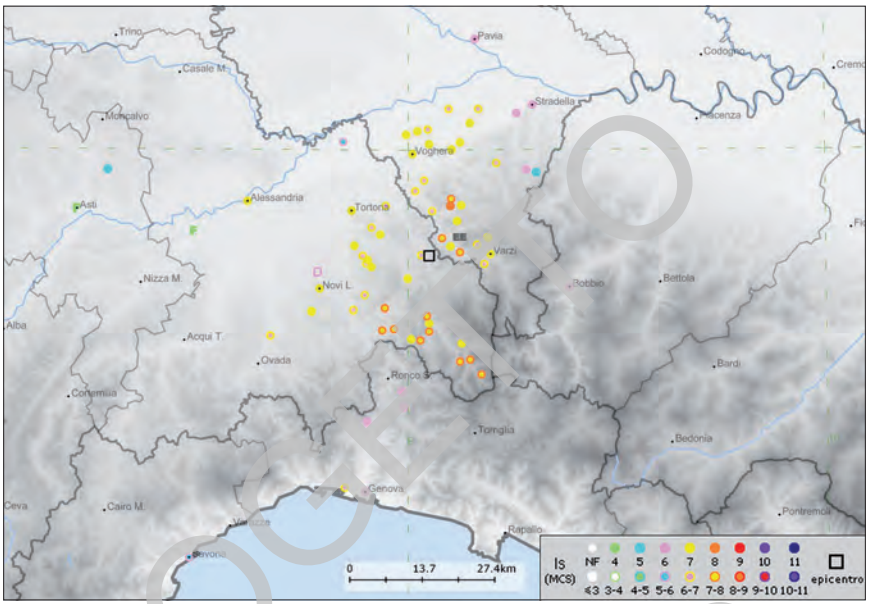


Fig. 43 - *Distribuzione delle intensità del terremoto del 9 ottobre 1828 secondo* Boschi et alii *(1997), da DBMI04 (*Stucchi et alii*, 2007).*

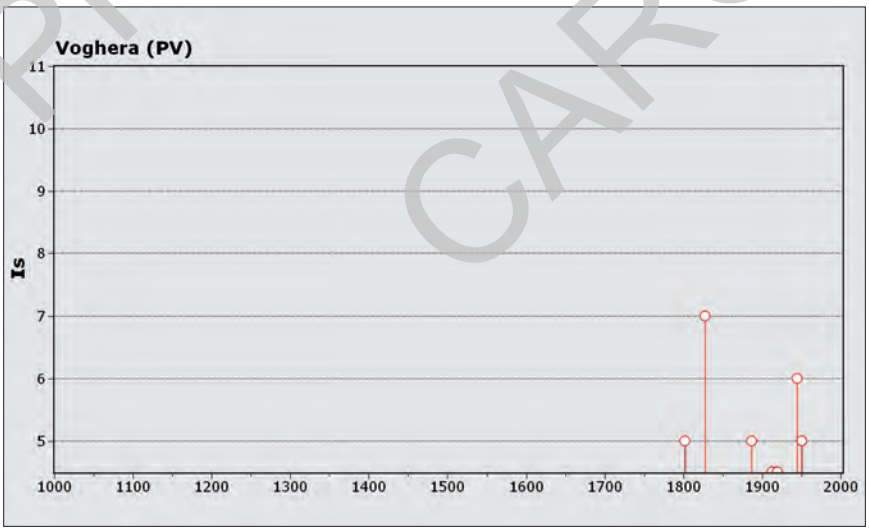


Fig. 44 - *Grafico della storia sismica di Voghera, da DBMI04 (*Stucchi et alii*, 2007). (Is = Intensità al sito, scala MCS).*

PROGETTO CARG

registrate a Voghera sono, oltre a quelle dovute ai terremoti locali citati sopra, relative ai più forti terremoti conosciuti per l'Italia nord-occidentale: 23.02.1887 Liguria occidentale (Mw 6.29 ± 0.10), 07.09.1920 Garfagnana (Mw 6.48 ± 0.04) e 15.05.1951 Lodigiano (Mw 5.24 ± 0.07).

Anche la sismicità recente si concentra nell'angolo SW dell'area del Foglio, con eventi di bassa e bassissima energia. In particolare si segnalano le sequenza del gennaio e del luglio 2008 con eventi di magnitudo locale (ML) tra 1.3 e 2.5 e il terremoto del 6 gennaio 2009 con ML 2.6 (Bollettino Sismico INGV).

Un altro evento con ML 2.6 è stato localizzato il 7 novembre 2007 (Bollettino Sismico INGV) nella porzione NE dell'area del Foglio e, appena al di fuori di essa verso N, il 5 febbraio 1999 (ML 3.1; Castello *et alii*, 2006).

Nei giorni 21 e 22 novembre 2013, tra le province di Alessandria e Pavia (zona a S di Voghera) si sono avuti alcuni terremoti con profondità ipocentrali rispettivamente di 5,6 km e 10 km con ML 3.8 e 3.7

Porre in correlazione gli eventi sismici e i relativi elementi strutturali (faglie e sovrascorrimenti) non è semplice. I lineamenti tettonici riconosciuti in superficie non necessariamente sono da ritenersi responsabili dei sismi riscontrati ubicando gli ipocentri sul loro piano di movimento. Ciò è dovuto al fatto che sul terreno si hanno soprattutto riscontri morfologici e non si evidenziano o, quantomeno, non si ha la certezza della presenza e della posizione di elementi strutturali associati e vicarianti di quelli ritenuti principali (e.g. Linea Villalvernia-Varzi e *thrust* frontale dell'arco del Monferrato) sulle cui superfici potrebbero collocarsi i punti di frizione.

Ciò che appare tuttavia alquanto evidente è la posizione degli epicentri che, come già precisato, si collocano nella zona di raccordo tra l'arco emiliano e quello del Monferrato, evidenziando la necessità di porre in questo settore elementi strutturali sismogenetici.

4.2. - Frane e Deformazioni Gravitative

Si riportano alcuni dati sulla distribuzione del dissesto, tratti dall'Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI) delle Regioni Lombardia, Piemonte e Emilia-Romagna, in cui risultano cartografate in totale 4446 aree in dissesto di cui 194 in Piemonte, 144 in Emilia, 4125 in Lombardia, che interessano una superficie di circa 140 km^2 per la sola Regione Lombardia. Come si può vedere dalla figura 45, la tipologia di dissesto più diffusa è rappresentata dagli scivolamenti ed in subordine dai colamenti lenti che si sviluppano con maggiore intensità in corrispondenza degli affioramenti dei Complessi caotici (brecce argillose di Baiso, brecce argillose della Val Tiepido - Canossa, brecce argillose di Costa Pelata e delle argille varicolori di Cassio). Esempi di questo tipo sono le frane di Poggioferrato (Val di Nizza), Fracchio (Valle Staffora).

Da citare anche la frana di Rocca de' Giorgi, che interessa depositi della Formazione di Val Luretta, e la frana di Casa Callegaro, che interessa i depositi delle

PROGETTO CARG

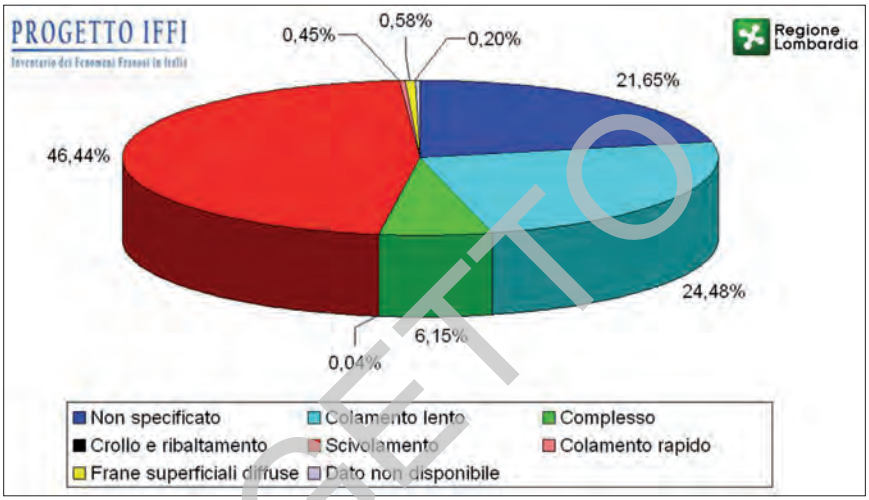


Fig. 45 - *Distribuzione numerica delle diverse tipologie di dissesto.*

argille varicolori di Cassio come esempi di frane più complesse con componente di scivolamento, ed evoluzione in colata.

Fenomeni di crollo (peraltro di entità limitata) si sono avuti a Canevino in corrispondenza di affioramenti della Formazione di Ranzano (membro di Pizzo d'Oca - litofacies arenaceo-conglomeratica) nonché nelle arenarie di Monte Vallassa (ai margini delle placche di Pizzocorno - Pietragavina e di Monte Vallassa). In figura 46 è riportata la distribuzione areale dei fenomeni.

4.3. - Prevenzione del Rischio Geologico, Idrogeologico e Sismico nella Pianificazione Territoriale in Regione Lombardia

La prevenzione del rischio idrogeologico, attraverso una pianificazione territoriale compatibile con l'assetto geologico, geomorfologico e con le condizioni di sismicità del territorio a scala comunale viene attuata in Lombardia dal 1993. In questo periodo di tempo il 99,7% dei comuni lombardi ha realizzato uno studio geologico di supporto e guida alla pianificazione, redatto in conformità a criteri formulati con delibere regionali. I criteri attualmente in vigore sono quelli espressi con la d.g.r. 30 novembre 2011, n. IX/2616 "Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12 "Legge di Governo del Territorio", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. VIII/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. VIII/7374".

PROGETTO CARG

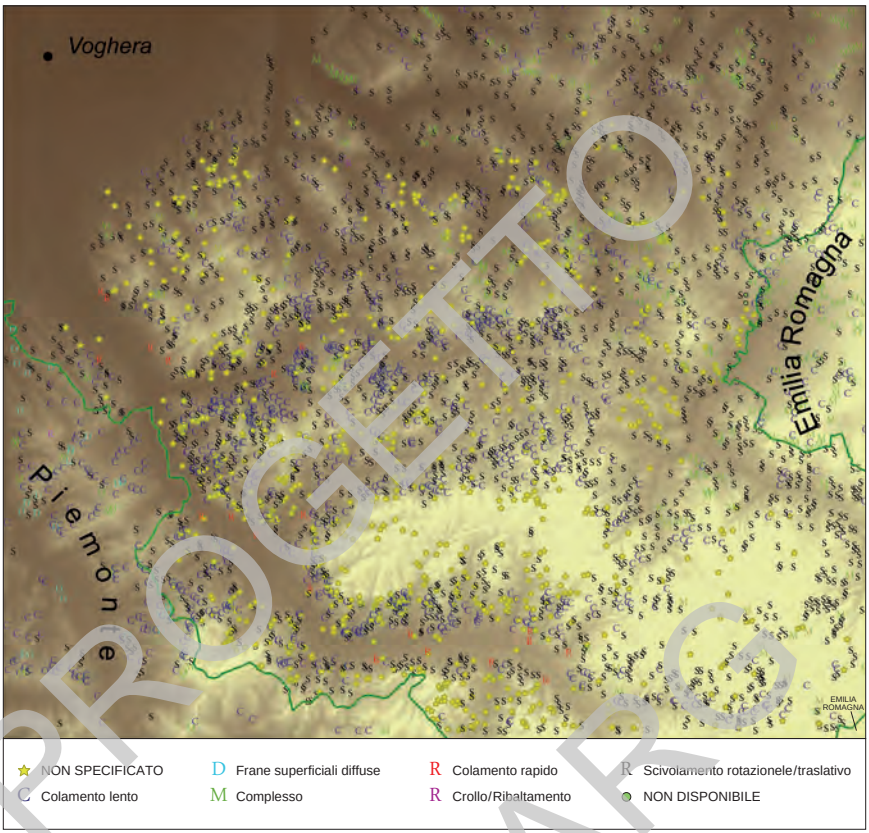


Fig. 46 - *Distribuzione areale dei fenomeni franosi registrati nei cataloghi regionali.*

Lo studio geologico si articola nelle tre fasi di: analisi, sintesi/valutazione e proposta; quest'ultima è definita attraverso la redazione della carta di fattibilità geologica delle azioni di piano e delle norme geologiche di attuazione. Nella carta di fattibilità geologica (Fig. 47), che è una carta di pericolosità, il territorio comunale viene classificato in 4 classi di "fattibilità geologica degli interventi di trasformazione urbanistica": nelle porzioni attribuite alla classe 1 non sono presenti limitazioni dal punto di vista geologico, idrogeologico e sismico alle trasformazioni urbanistiche, nelle porzioni attribuite alla classe 2 sono presenti modeste limitazioni superabili mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi, nelle porzioni attribuite alla classe 3 sono presenti consistenti limitazioni per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa, nelle porzioni attribuite alla classe 4 vi sono gravi limitazioni per cui è esclusa qualsiasi nuova edificazione se non opere

PROGETTO CARG

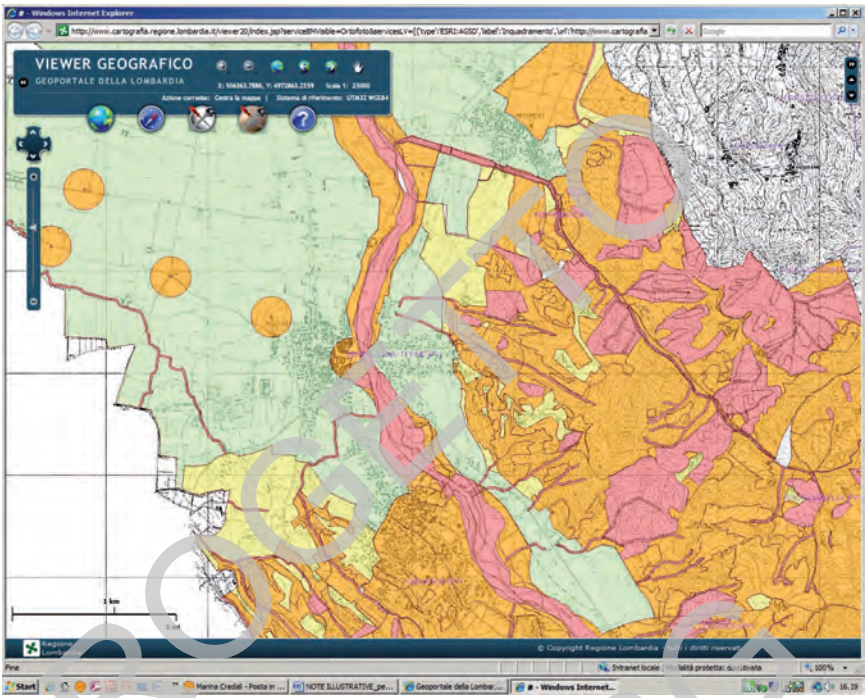


Fig. 47 - *Mosaico della fattibilità geologica del comune di Rivanazzano, consultabile nel GEOPortale della Lombardia (www.cartografia.regione.lombardia.it). In verde le aree assegnate alla classe di fattibilità geologica 1, in giallo quelle assegnate alla classe 2, in arancione alla classe 3 e in rosso alla classe 4.*

tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Alle classi di fattibilità geologica è sovrapposta l'individuazione degli ambiti soggetti ad amplificazione sismica locale.

Lo studio geologico comunale è una delle componenti del quadro conoscitivo del Piano di Governo del Territorio (P.G.T., lo strumento urbanistico comunale redatto ai sensi della l.r. 11 marzo 2005, n. 12). Inoltre gli elaborati di sintesi/valutazione e proposta dello studio, costituiti dalla Carta di Sintesi, dalla Carta dei Vincoli e dalla Carta di Fattibilità Geologica delle azioni di piano, costituiscono parte integrante del Piano delle Regole del P.G.T., nel quale sono individuate le aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, nonché le norme e le prescrizioni a cui le medesime sono assoggettate.

Per quanto riguarda il rischio sismico, con la prima classificazione sismica del territorio lombardo formulata nel 1984 con il D.M. 5 marzo 1984, n. 5, furono dichiarati sismici 41 Comuni, uno dei quali, Varzi, in Provincia di Pavia e ricadente entro il Foglio 178-Voghera. Per questo comune lo studio geologico

PROGETTO CARG

comunale prevedeva un approfondimento specifico del rischio sismico. La nuova classificazione introdotta dall'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/3/2003 e recepita dalla Regione Lombardia con la d.g.r. n. 14964/03 fornisce una classificazione di tutto il territorio nazionale in 4 Zone a differente sismicità: in Lombardia non si trovano comuni in Zona 1, quella a più alta pericolosità; i Comuni in Zona 2 sono 41 (media sismicità, uno dei quali è il comune di Varzi), 238 quelli in Zona 3 (bassa sismicità) mentre l'84% dei Comuni lombardi sono classificati in Zona 4 (bassissima sismicità). Tutti i comuni sono tenuti quindi a valutare nei propri studi geologici comunali il rischio sismico secondo le procedure definite nelle delibere citate in precedenza.

PROGETTO CARG

PROGETTO CARG

VI - ABSTRACT

The area of the 178-Voghera Sheet at 1:50.000 scale includes two morphologically different parts: a small (45 km²), triangular shaped, plain area in the NW sector of the map and a larger mountainous area, whose higher peak is represented by Monte Alpe (1253 m a.s.l.).

From a geological point of view, the 178-Voghera Sheet includes three main structural domains: the Tertiary Piedmont Basin (BTP) with its substratum, the Ligurian Units of the Northern Apennines and, finally, the Padan Units, which are mainly present in the subsurface.

These domains are separated by important structural elements, namely the Villalvernia-Varzi Line (between BTP and Ligurian Apenninic Units), and the Ligurian Front (between the Ligurian Apenninic Units and the Padan Units).

The BTP is a wide epi-sutural basin located in the inner side of the Western Alps, whose late-Eocene to Messinian sedimentary succession unconformably overlies both Alpine (Penninic) and Apenninic (Ligurian) tectonic units. This basin actually is a bridge between the Alps and the Apennines, as it covers rock units that formed and were first deformed during the Alpine orogenesis, but that, starting from Oligocene, took also part in the Apenninic orogenesis.

The Ligurian Units of the 178-Voghera Sheet are composed of the M. Cassio and Bettola-Luretta Units that represent a rather external part of the whole Ligurian Units; these Units were deformed by the mid-Eocene Ligurian Phase, and the late-Eocene to Messinian Epiligurian sediments were deposited, above them, in the newly formed thrust-top basins.

A close relationship exists between the coeval BTP and Epiligurian successions, as they both represent thrust-top basins sediments of the Alpine-Apenninic orogene, and they record all the events between the Ligurian Phase and the Messinian.

The Padan Units of the 178-Voghera Sheet represent a part of the autochthonous portion of the Northern Apennines; more precisely, these Padan Units represent Miocene to Pliocene foredeep sediments.

When the Apenninic fronts shifted northwards, late Pliocene to Quaternary piggy-back sediments were deposited above the Ligurian Front, suturing the Ligurian and Padan Units contact.

The Villalvernia-Varzi Line is an E-W trending structure which actually is the surface expression of a subvertical North-verging fault. This fault represents the northern boundary of BTP and of its substratum, the M. Antola Unit, and it is thought to be laterally connected with the Ottone-Levanto structure, through which the thrusting of Inner Ligurian Units over Outer Ligurian Units is carried out. In the past this fault has been considered as the Alps-Apennines boundary (Boni, 1962, 1980 and 1986; Elter & Pertusati, 1973), as it separates the M. Antola Unit from the Apenninic units.

The Ligurian Front, in the 178-Voghera Sheet area, is mainly represented by subsurface structures, through which the allochthonous Ligurian Units thrust over the autochthonous Padan Units. Actually, in this area the Ligurian Front is composed of the terminations of two archs, which converge in the Godiasco area: the western termination of the Pavia Arch and the eastern termination of the Monferrato Arch. This very characteristic shape is due to the presence of a rigid area in the Padan foreland in front of Godiasco (a crystalline basement high, Battuda area, and an Eocene to Miocene volcano in the Mortara area), which hampered thrust front propagation.

In general, the 178-Voghera Sheet deals with the following subjects:

- Lithostratigraphic units identification and definition, and their stratigraphic and tectonic arrangement;
- Unconformity surfaces identification and careful consideration of their significance, particularly for those included in the Epiligurian Succession which, actually, are related to the evolution of the Apenninic orogeny;
- Interpretation of the widespread chaotic rocks formations in terms of sedimentary vs. tectonic origin and their assignment to different stratigraphic successions;
- Significance of Triassic-Jurassic sedimentary succession fragments which are visible in the Ligurian Units;
- Analyis and interpretation of Quaternary continental succession, in order to define lithostratigraphic and/or unconformity bound units;
- Ligurian Units deformation phases identification, and their significance in the framework of the Apenninic orogeny;
- Interpretation of the Villalvernia-Varzi Line, and its relationships with the Tertiary Piedmont Basin;
- Late tectonic (Pliocene and Quaternary) deformations phases identification;
- Neotectonic characters of the area.

PROGETTO CARG

The following main tectonic phases have been recognised in the 178-Voghera Sheet area:

- Late Cretaceous – it only involves the Ligurian Units and, in particular, the older Ligurian formations, which were deformed before deposition of the Helminthoid Flysch; this event is related to the "eo-alpine" events of the Alps;
- Ligurian Phase (Elter, 1975) – it involves the Ligurian Units as a whole and it corresponds to the meso-alpine phase of the Alps; this event is related to the alpine continental collision of mid Eocene age;
- Sub-Ligurian Phase – it mainly is late Oligocene in age and it involves both the Ligurian and Epiligurian units; it is represented by the northeastward thrusting of M. Cassio Unit above Bettola Luretta Unit, with deformation of the oldest Epiligurian formations (BAI, MMP and RAN) deposited above the Bettola Luretta Unit. This phase also is thought to induce the deposition of the Epiligurian MVT formation (Val Tiepido - Canossa Melange), a chaotic rock unit;
- Burdigalian Phase – it corresponds to a widespread tectonic event, which is recorded all over Italy; it is represented by the angular unconformity at the base of M. Vallassa Formation (Epiligurian Succession), in the 178-Voghera Sheet area, and by the unconformity at the base of Bismantova Group in most of the Northern Apennines;
- Tortonian to Messinian Phase – it is responsible for the deposition of the Epiligurian BPE Formation (Brecce argillose di Costa Pelata), a chaotic rock unit, and for the formation of Pavia Arch;
- Mid-Pliocene Phase – it is responsible for the formation of NE-directed thrusts, and for multi-kilometric open folds with NE-SW axis (Perotti, 1995); also the Pizzocorno syncline is related to this deformation phase and it results from the interaction between a NE-directed and a NNW-directed sub-horizontal compressive directions (Perotti & Zoccarato, 2000);
- Final Extensional Phase – it has been recognized in the most internal part of the chain (Perotti & Vercesi, 1992) and it is responsible for the formation of extensional fault systems, which cut all the pre-existing structures.

Isolated bodies of Quaternary continental deposits are present in every valley, mainly at the bottom. Due to correlation difficulties, they are mapped as local units referred to each catchment basin, distinguishing from W to E Curone, Staffora and Schizzola successions.

An articulate succession of synorogenic continental deposits outcrops with continuity only the northwestern corner of the area, from appenninic foothills towards Po river. They are referred to Po catchment system, and are influenced by recent tectonic movements of sperone di Stradella western flank.

The oldest sedimentary units are mapped as Monte Brienzone conglomerates (alluvial conglomerates on top of Monte Brienzone, without preserved weathering profile - and Cà d'Andrino group; the latter comprises:

a) isolated bodies of fine-grained weathering products with residual siliceous

PROGETTO CARG

flattened clasts, developped on alluvial perhaps lower or middle-pleistocenic sediments, and preserved only on the ridges facing the Po plain;

b) an articulated perhaps polyphasic body of weathered, originally mainly coarse sediments, extended as an omogeneous Sheet deeply dissected by local rills and gullies, and characterized by a series of stepped palaeosurfaces.

In face of it stays another lower morphological level, also articulated in many palaeosurfaces and dissected by local hydrographic pattern; deposits of it are mapped as Torrazza Coste Group: it comprises deeply weathered perhaps alluvial deposits of younger age, set in disconformity on the marine bedrock.

Going down from appenninic relief towards Po plain, a flat northeastern widening surface border the foothills, mapped as Codevilla synthem: it is structured on coarse alluvial sediments and fine-grained interchannel and crevasse splay deposits, both of them deeply weathered.

High Po plain is in this area divided into two units, Rivanazzano and Voghera synthems, shaped as low terraced surfaces with feeble metric escarpments, and attributed to upper pleistocenic phases.

Foothills quaternary sediments are extensively reworked by mass-flows and soil creep, so a quite continous Sheet of fine-grained deposits covers all ridge flanks; they are collected in a series of short length, deep gullies and rills and expanded over the lower morphological steps and over the plain as wide complex fans, locally drowning pre existent morphologies. They have been set down through all the period, up to upper Pleistocene or perhaps Olocene, and are grouped in the Retorbido group.

Olocenic landslides, often quiescent or also in activity are scattered through all mountain areas: gravity is in fact at present the main active phenomenon in landscape shaping.

PROOF ONLY CARG

VII - ENGLISH LEGEND

QUATERNARY CONTINENTAL DEPOSITS

UNDIFFERENTIATED BASIN UNITS

PO SYNTHEM (**POI**)

Angular clast gravel and diamicton (slope, landslide, mass-flow deposits); stratified gravel, sand and silt (alluvial deposits). Unweathered upper boundary surface, with well-preserved up to still evolving morphologies.
UPPER PLEISTOCENE (post 18.000 year BP?) - HOLOCENE

RETORBIDO GROUP (**RE**)

Planar stratified silt, sandy or clayey limes, clayey matrix supported diamicton with sparse residual subangular silt rounded clasts (colluvial and mass-flow deposits), from the erosion of in situ weathered materials; variable weathering profile, depending on parent material.
PLEISTOCENE - HOLOCENE

ALTERITES (**b_6**)

Weathered matrix supported diamicton with residual clasts, lying on evident palaeosurfaces; derived from deep pedogenesis of Arenarie di Ranzano parent material.
PLIOCENE? - PRESENT

SCHIZZOLA CATCHMENT BASIN UNITS

RIVAZZA SYNTHEM (**RVX**)

Stratified gravel and sand, interlayered silt (alluvial deposits). Upper boundary

PROGETTO CARG

surface partially preserved, with deposits locally buried under successive mudflows.
UPPER PLEISTOCENE - HOLOCENE

CURONE CATCHMENT BASIN UNITS

BRIGNANO UNIT (**UBI**)
Silty-sandy matrix gravel with well-rounded clasts (alluvial deposits). Well preserved morphology. Unobserved weathering profile.
UPPER PLEISTOCENE

MOMPERONE UNIT (**UMO**)
Well-rounded clasts and sandy matrix gravel (alluvial deposits). Well preserved morphology. Unobserved weathering profile.
UPPER PLEISTOCENE?

STAFFORA CATCHMENT BASIN UNITS

NIZZA UNIT (**NIZ**)
Sandy-silty matrix, sub rounded to rounded clasts gravel (alluvial deposits). Weathering profile unobserved, well preserved morphology.
UPPER PLEISTOCENE - HOLOCENE?

ARDIVESTRA UNIT (**ADV**)
Gravel with sandy matrix and sub rounded to rounded clasts (alluvial deposits). Unobserved weathering profile, well preserved morphology.
UPPER PLEISTOCENE - HOLOCENE?

VARZI UNIT (**VRZ**)
Silty-sandy-matrix graves with centimetric rounded clasts (alluvial deposits); locally horizons with metric boulders (mass-flow deposits). Preserved morphology.
UPPER PLEISTOCENE - HOLOCENE?

TORRETTA UNIT (**TTS**)
Silty-sandy matrix gravel with decimetric well-rounded clasts (alluvial deposits). Preserved morphology, suspended up to 15 m on today's bottom.
PLEISTOCENE

BAGNARIA CONGLOMERATES (**UBG**)
Suborizontally stratified conglomerate and gravel with rounded clasts; stratified sand (gravity flow deposits). Not well cemented. Unconserved morphology.
PLEISTOCENE

PROGETTO CARG

PO CATCHMENT BASIN UNITS

VOGHERA SYNTHEM (**VOH**)

Matrix or clast supported gravel, with well selected and rounded clasts; interlayered sands (alluvial deposits). Well preserved morphology, with up to meters escarpment.
UPPER PLEISTOCENE

RIVANAZZANO SYNTHEM (**URV**)

Well stratified sand with interlayered silt (alluvial deposits). Upper boundary surface with partially preserved morphology, with terraced deposits, locally buried under successive flow-deposits.
UPPER PLEISTOCENE

CODEVLLA SYNTHEM (**LLV**)

Silt, sandy or clayey silt, with interlayered sub rounded to rounded gravel (alluvial deposits). Upper boundary surface cut by erosion, evolved plurimetric weathering profile, matrix color 7.5 YR; unpreserved morphology, in erosion.
MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

TORRAZZA COSTE GROUP (**TZ**)

Silt, sandy or clayey silt, with matrix supported, rounded-clasts gravel at the base (alterites on alluvial deposits). Upper boundary surface with up to ten meters thick weathering profile, partially preserved morphology, in erosion.
MIDDLE PLEISTOCENE?

CÀ D'ANDRINO GROUP (**GD**)

Silt, sandy or clayey silt with sparse residual sub rounded to rounded clasts (alterites on alluvial deposits). Upper boundary surface cut by erosion, not preserved morphology, in erosion.
LOWER PLEISTOCENE? - MIDDLE PLEISTOCENE?

MONTE BRIENZONE CONGLOMERATES (**CNZ**)

Badly cemented conglomerate, with rounded, sometimes embricated clasts and sandy or silty matrix, reddish if weathered. Shallow marine environment deposits. Tens of meters thick.
LOWER PLEISTOCENE (GELASIAN?)

POST MESSINIAN PHASE SUCCESSION

ASTI SANDS (**AST**)

Yellowish sandy marls, sands and sandstones, with Chlamis opercularis and

PROGETTO CARG

in the upper part Calycimeris insubrica. Some tens of meters in thickness. Sub littoral to littoral deposits.
PIACENZIAN - CALABRIAN

LIGHT BLUE SHALES (**FAA**)

Grey marly and silty, sometimes sandy shales, with abundant macrofossil faunas (gasteropoda, bivalves etc.) and microfauna (Bolivina piacentina Zanmatti, Planorbulina mediterranensis D'Orb., Globigerinoides italicus Mosna & Vercesi, Globorotalia margarite Bolli & Bermudez). Platform deposits; in the lower part, lenticular massive fossiliferous conglomerates about 60 m in thickness (Mondondone conglomerates, **FAA$_a$**).

About 140 m in thickness.
ZANCLEAN - PIACENZIAN

GESSOSO SOLFIFERA GROUP (**GS**)

CASSANO SPINOLA CONGLOMERATES (**CCS**)

Amalgamated lenticular beds of clast supported, sandy matrix alluvial conglomerates, with sparse sandy lenses; on them, massive badly cemented sandy matrix conglomerates. Alluvial and fan-delta deposits. Up to 180 m in thickness.

In the upper part, Monte Arzolo sandstone member (**CCS$_1$**): alluvial stratified cross-laminated sandstones, sands and silts with centimetric interlayered silty-clayey levels, often with diagenethic amalgamated strata. Up to 100 m in thickness. *UPPER MESSINIAN*
MESSINIAN

SAPIGNO FORMATION (**GNO**)

Eterogeneous succession of marls, limestones, vacuolar limestones, shales, sandstones and gypsum, with prevailing gypsarenitic and gypsoruditic levels. Oligotypic microfauna (Rectuvigerina siphogenerinoides (Lipparini), R. gaudrynoides (Lipparini), Bulimina echinata D'Orb.). Inside the grey-ligth blu marls: Brizalina dentellata (Tavani), B. dilatata (Reuss), Bulimina aculeata D'Orb. and B. echinata D'Orb.

Supposed 50 to 60 m in thickness. Evaporitic deposits.
MESSINIAN

EPILIGURIAN SUCCESSION

COSTA PELATA MELANGE (**BPE**)

Chaotic grey matrix conglomerates with angular clasts up to boulders, with prevailing pale limestones, grey-hazelnut sandstones and shales, and also clasts from Monte Vallassa Sandstone (**AVL**). About 100 m as observed thickness. Submerged mass-flow deposits.
TORTONIAN?

PROGETTO CARG

S. AGATA FOSSILS MARLS (**SAF**)

Silty and sandy marls with interlayered sandstones in the lower part; often with gasteropoda, single corals and microforaminifera (Rectouvigerina gaudrynoides (Lipparini), R. siphogenerinoides (Lipparini), Bulimina echinata D'Orb., B. aculeata D'Orb., Burseolina calabra Seguenza, Bolivina miocenica (Gianotti) e Brizalina arta (Macfadyen)). External platform, platform slope and evaporitic deposits. Some tens of meters in thickness.

TORTONIAN - LOWER MESSINIAN

MONTE VALLASSA SANDSTONES (**AVL**)

Badly stratified, amalgamated, sometimes cross bedded grey bioclastic sandstone and biocalcarenites, brown-yellowish weathered, with mollusca (ostreids, pectinids, gasteropoda), briozoa, benthonic forams (Uvigerina barbatula Macfadyen e Stilostomella verneuili (D'Orb.)) and echinids. Subordinated thin grained, bioclastic conglomerates and biocalcirudites with green metamorphic clasts, and interlayered grey-blu bioturbated sandy marls. Intensively bioturbated and heavily diagenetically modified; sometimes with silicized veins (M. Tre Termini). Sometimes weathered up to incoherent sands. About 400 m in thickness. Coastal deposits.

UPPER BURDIGALIAN? - SERRAVALLIAN

CONTIGNACO FORMATION (**CTG**)

Whitish or grey, cherty or "tripoli" kind, locally silty compact marls, with splinter fracture and spread secondary silicization, sometimes concentrated in thin dark grey levels or lenses; torbiditic stratified fine to very coarse grained sandstones and sporadic ashley layers. Up to 300 m in thickness.

UPPER AQUITANIAN - LOWER BURDIGALIAN

VAL TIEPIDO - CANOSSA MELANGE (**MVT**)

Chaotic polygenic shaly matrix conglomerates with angular clasts, with two different lithozones:

Upper Lithozone (**MVT_b**): submarine mass-flow grey shaly matrix conglomerates with sparse angular clasts of Argille varicolori, Scabbiazza Sandstones, Flysch a Helmintoidi l.s., "palombini" limestones and Ranzano Fm.

Lower lithozone (**MVT_a**): submarine mass-flow reddish shaly matrix conglomerates with sparse angular clasts of Argille varicolori, Scabiazza Sandstones, Flysch a Helmintoidi l.s., "palombini" limestones and Ranzano Fm.

Submerged mass-flow deposits. Up to 200 m in thickness.

CHATTIAN? - AQUITANIAN

ANTOGNOLA FORMATION (**ANT**)

Badly stratified greenish or grey shaly marls and marls with Mg-patinas, concoidal or typically concentric fracture surfaces; microfossils and some-

PROGETTO CARG

times bioclasts frequent. concoidal or typically concentric fracture surfaces; microfossils and sometimes bioclasts frequent. Nannofossil flora with "rosetta" Discoaster, Chiasmolithus spp., Sphenolithus spp., D. deflandrei Bramlette & Riedel and Helicosphaera granulate (Bukry & Percival); planctonic forams fauna with Globigerinoides sp., Neogloboquadrina dutertrei (D'Orb.), and abundant bentonic fauna with Melonis padanum (Perconig), Stilostomella consobrina var. emaciata (Reuss), (Batsch), Brizalina aff. dilatata (Reuss), Oridorsalis umbonatus var. stellatus (Silvestri).

Supposed up to 200 m in thickness. Emipelagitic deposits.

UPPER RUPELIAN - AQUITANIAN

RANZANO FORMATION (**RAN**)

Torbiditic formation always divided in three members (RAN_1, RAN_2 and RAN_3) and relative litofacies, but in limitated badly-outcropping areas (Val Ardivestra, Valle Versa, Valle S. Zeno).

Varano de' Melegari member (**RAN_3**)

Torbiditic system grey sandstones, conglomerates and pelites in variable proportions, organized from bottom to top in three lithofacies-conglomeratic and conglomeratic-sandstone, sandstone-pelitic and pelitic-sandstone; conglomerates with typically frequent clasts from Flysch a Helmintoidi.

Pelitic-sandstone lithofacies (**RAN_{3c}**): planoparallel very thin to medium layered fine and medium grained sandstones, sandstone/pelitic ratio <1.

Sandstone-pelitic lithofacies (**RAN_{3b}**): planoparallel thickly to very thickly stratified coarse to fine grained sandstones, sandstone/pelitic ratio about 1.

Sandstone-conglomeratic lithofacies (**RAN_{3a}**): erosional, often amalgamated thickly to very thickly bedded conglomerates and coarse conglomeratic sandstones, with clasts up to 50-60 cm, sandstone/pelitic ratio >1.

Up to 300-400 m in thickness.

Val Pessola member (**RAN_2**)

Torbiditic system greenish sandstones, conglomerates and pelites in variable proportions, organized from bottom to top in three lithofacies-conglomeratic and conglomeratic-sandstone, sandstone-pelitic and pelitic-sandstone, typically with green ophiolithic clasts.

Pelitic-sandstone lithofacies (**RAN_{2c}**): planoparallel very thin to medium layered fine and medium grained sandstones, sandstone/pelitic ratio <1.

Sandstone-pelitic lithofacies (**RAN_{2b}**): planoparallel thin to medium stratified, coarse to fine grained sandstones, sandstone/pelitic ratio ≥1.

Sandstone-conglomeratic lithofacies (**RAN_{2a}**): erosional, often amalgamated, uncontinuous thickly to very thickly bedded conglomerates and coarse conglomeratic sandstones, sometimes with interlayered thin pelitic layers; well-rounded clasts up to 50 cm. Supposed 300-400 m in thickness.

PROGETTO CARG

Pizzo d'Oca member (**RAN_1**)

White crystalline clast sandstones and pelites in variable proportions; exiguous thickness and badly outcropping prevent from reconstructing lithofacies sequence.

Pelitic-sandstone lithofacies (**RAN_{1c}**): white planar or slightly erosional thin to medium layered very coarse grained sandstones, layer top clean and undulated, sandstone/pelitic ratio <1.

Sandstone-pelitic lithofacies (**RAN_{1b}**): planoparallel medium to thick stratified, coarse to fine grained sandstones, sandstone/pelitic ratio >1.

Sandstone-conglomeratic lithofacies (**RAN_{1a}**): amalgamated, thickly to very thickly bedded coarse conglomeratic sandstones, sometimes with interlayered thin pelitic levels; well-rounded clasts up to 10 cm. Supposed about tens of meters in thickness.

UPPER PRIABONIAN - LOWER RUPELIAN

MONTE PIANO MARLS (**MMP**)

Indistinctly stratified, more evident to the top, shaly marls and silty-marly shales; grey and greenish-grey, reddish in the lower part, marls and silty marls with rare thinly interlayered sandstones to the top. Typically soap fractured. From 10 up to 100 m in thickness. Emipelgic sediments.

UPPER BARTONIAN - PRIABONIAN

BAISO MELANGE (**BAI**)

Chaotic block in matrix grey or varicolored clayey matrix conglomerates with angular etherometric clasts from ligurid units: Scabiazza sandstones, palombini shales, Argille varicolori, Flysch a Helimntoidi l.s. Submerged mass flow deposits. Up to 300 m in thickness.

BARTONIAN

OLISTHOLITHES INSIDE THE EPILIGURIAN SUCCESSION

Inside Costa Pelata mélange (**va**) and Val Tiepido-Canossa mélange (**va**, **cc**, **ra**)

TERTIARY PIEDMONT BASIN SUCCESSION

MONTE BRUGI MARL (**BGU**)

Highly siliceous marls, shales and sandstones. From bottom to top: grey marls with siliceous levels (about 50 m in thickness); 10 m thick high siliceous marly level; thin or medium layered alternated pale marls and medium to fine grained bioturbated sandstones (35 m); pale marls with siliceous levels (40 m). Up to 150 m in observed thickness.

Platform torbiditic deposits with interlayered emipelagic sediments.

BURDIGALIAN

PROGETTO CARG

CASTAGNOLA FORMATION

Torbiditic unit, vertically divided into two members:

Torrente Dorbida member (**FCA_2**): planoparallel medium to thick layered coarse and medium grained sandstone, with interlayered thin pelitic levels, or sometimes amalgamated. Up to 100 m in thickness.

Costa Grande member (**FCA_1**): planoparallel stratified regularly alternated torbiditic sandstones and shales, with isolated siliceous levels in the upper part; sandstone/shale ratio <1. 900 m in thickness. More than 1000 in thickness for all unit.

CHATTIAN - BURDIGALIAN

GREMIASCO FORMATION - Nivione member (**GEM_2**)

Torbiditic continuously thin and medium stratified, medium to fine grained sandstones, marly siltites and marls, with sub ordered medium to coarse grained litharenitic strata. Two distinct lithozones:

- upper pelitic lithozone (GEM2c): not distinguishable layered marls, grey silty marls and sub ordered shales.
- arenitic lithozone (GEM2a): torbiditic medium to thickly layered, often amalgamated, litharenitic sandstones.

Up to 300 m in thickness (Valle di Nivione).

RUPELIAN - CHATTIAN

MONASTERO FORMATION (**MST**)

Torbiditic thin to medium layered, medium to fine grained sandstones, marly siltites and marls. Two distinct lithofacies: arenitic lithofacies (**MST_b**) and, on the top, pelitic lithofacies (**MST_d**): emipelagic unlayered greyish marls, silty marls and sub ordered clays, with locally interlayered sandy-siltitic levels. About some tens of meters in thickness

RUPELIAN p.p.

SAVIGNONE CONGLOMERATES - Monte Rivalta member (**SAV_1**)

Alternated decimetric stratified conglomerates and sandstones and centimetric pelitic levels; clasts from ligurid units and BTP units. Coarse deltaic iperconcentrated flow deposits in marginal marine environment. About 180 m in thickness.

RUPELIAN p.p.

DERNICE FORMATION - Pelitic lithozone (**DRN_c**)

Marls and shales with indistinguishable strata. Sub littoral deposits.

UPPER PRIABONIAN

VIGOPONZO MARLS (**VIG**)

Badly stratified marls, pale grey silty marls and sub ordered shales. Emipelagic deposits. Up to 100 m in thickness.

PRIABONIAN p.p.

PROGETTO CARG

LIGURIAN UNITS

MONTE DELLE TANE TECTONIC UNIT

MONTE RAGOLA COMPLEX (**ap**)
Palombini shales olistholithes
UPPER CRETACEOUS?

CASSIO TECTONIC UNIT

MONTE CASSIO FLYSCH (**MCS**)
Calcareous and silicoclastic torbidites interlayered with emipelagic sediments: alternating thick to very thick stratified marly limestones, thin layered carbonatic and silicoclastic strata, blackish siliceous shales; discordant often tectonized lower boundary surface on Argille Varicolori di Cassio, discordant upper boundary surface – when exposed – with epiligurian succession. Supposed up to 1000 m in thickness.
UPPER CAMPANIAN - MAASTRICHTIAN

VARICOLOURED CASSIO SHALES (**AVV**)
Varicoloured – wine red, greenish, dark grey – shales and siltitic shales: emipelagic deposits. Locally interlayered in the lower part, centimetric to decimetric stratified pale gray fine grained feldspatic litarenites and polygenic conglomerates (Conglomerati dei Salti del Diavolo **AVV$_1$**) with rounded clasts from continental crust: torbiditic deposits. Abou 50 m in thickness (supposed).
SANTONIAN - CAMPANIAN

SCABIAZZA SANDTONES (**SCB**)
Alternating grey-hazelnut fine and medium grained often micaceous litharenites with carbonaceous vegetal remnants, and thin to medium layered dark grey silty marls, with locally interlayered reddish shales. Not valuable thickness, 400 m in thickness recorded in Sheet 196 - Cabella Ligure. Torbiditic deposits.
CONIACIAN - LOWER CAMPANIAN

GROPPALLO TECTONIC UNIT

PIETRA PARCELLARA COMPLEX (**CPP**)
Laminated lead grey shales and silty shales with pale grey silicized calcilutites and sub ordered dark grey or green marly limestones; locally interlayered reddish shales. Wrapped Calpionelle limestones, "palombini" type (micritic white tectonized limestones) and ophiolitic (serpentinites) olistholites. Emipelagites and torbidites.
UPPER CRETACEOUS?

PROGETTO CARG

BETTOLA TECTONIC UNIT

VAL LURETTA FORMATION (**VLU**)

Alternating marly sandstones and marly limestones; three distinct members:

Genepreto member (**VLU_3**)

Medium to very thickly layered micritic limestones, grey-whitish marly limestones with pale grey, hazelnut-pinky sometimes marls and calcareous marls; locally interlayered medium stratified medium to coarse grained dark gray sandstones. Planctonic forams faunas with Morozovella aragonensis (Nutt.), Acarinina soldadoensis Bronniman; Morozovella lensiformis Subbotina, M. caucasica Glaessner and Acarinina pentacamerata Subbotina. Nannofossil flora with Discoaster sublodoensis Bramlette & Sullivan associated with Ericsonia formosa (Kamptner), Sphenolithus primus Perch-Nielsen, S. anarrhopus Bukry & Bramlette, S. editus Perch-Nielsen and S. radians Deflandre, Zeughrablithus bijugatus Deflandre.

Supposed up to 200 m in thickness.

YPRESIAN p.p - LUTETIAN

Monteventano member (**VLU_2**)

Torbiditic sequences of medium to thick stratified medium to fine grained grey-hazelnut sandstones and grey-greenish silty marls; in the upper part, medium to thickly stratified grey-witish limestones and marly limestones. Unfrequent planctonic forams: Acarinina bulbrooki (Bolli) and Globanomalina pseudoscitula (Glaessner); reworked nannofossils: Ericsonia Formosa (Kamptner). 230 m in thickness, in Sheet 179 - Ponte dell'Olio.

THANETIAN - YPRESIAN

Poviago member (**VLU_1**)

Torbiditic sequences of medium to thickly stratified grey-hazelnut fine to medium grained sandstones and grey-greenish silty marls; in the lower part bedded pink marls and calcarenites.

200-300 m in thickness (supposed).

DANIAN - THANETIAN

BETTOLA FLYSCH (**BET**)

Thick to very thick stratified pale marly limestones, sometimes calcarenitic in the lower part, with marls and calcareous marls: calcareous-marly torbidites. Not valuable thickness, 400 m in thickness recorded in Sheet 179 - Ponte dell'Olio.

UPPER CAMPANIAN - PALEOCENE BASAL

PROGETTO CARG

SUB LIGURIAN UNITS

CANETOLO TECTONIC UNIT - PENICE SUBUNIT

MONTE PENICE FLYSCH (**PEN**)

Alternating thick to very thick stratified white or pale gray, sometimes bio-calcarenitic in the lower part, miciritc limestones, and thin to very thin stratified dark pelites: calcareous-marly torbidites. At least 800 m in thickness, in the nearby Sheet 189 - Ponte dell'Olio, Calcare e Argille di S. Maria included, non present in this Sheet.

UPPER PALEOCENE - MIDDLE EOCENE

PROGETTO CARG

BIBLIOGRAFIA

AA.VV.(1980) - *Sezioni geologico-strutturali in scala 1:200.000 attraverso l'Appennino settentrionale*. C.N.R., P.F.G. - Sottoprogetto 5 - Modello Strutturale gruppo Appennino settentrionale.

Arca S. & Beretta G.P. (1985) - *Prima sintesi geodetico-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia settentrionale (1897-1957)*. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, anno XLIV, **2**: 125-156, I.G.M., Firenze.

Aiello E. (1975) - *Le arenarie dell'Aveto, di Petrignacola e di Monte Senario (Appennino settentrionale). Osservazioni sedimentologiche e petrografiche*. Boll. Soc. Geol. It., **94**: 797-825, Roma.

Albini P. & Rovida A. (2010) - *The 12 May 1802 earthquake (N Italy) in its historical and seismological context*. J. Seismol. **14**: 629-651, Springer Netherlands.

Ambrosetti P., Bosi C., Carraro F., Ciaranfi N., Papani G., Vezzani L. & Zanferrari A. (1983) - *Neotectonic Map of Italy*. C.N.R.- P.F.G. sottoprogetto Neotettonica, 6 Tavv. Ed. L.A.C. Firenze.

Amorosi A., Ricci Lucchi F. & Tateo F. (1995) - *The lower Miocene siliceous zone: a marker in the palaeogeographic evolution of the Northern Apennines*. Palaeo., **118**: 131-149, Elsevier, Amsterdam.

Andreoni G., Galbiati B., Maccabruni A. & Vercesi P.L. (1981) - *Stratigrafia e paleogeografia dei depositi oligocenici sup. - miocenici inf. nell'estremità orientale del Bacino Ligure Piemontese*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **87**: 245-281, Milano.

Anelli M. (1938) - *Note stratigrafiche e tettoniche sull'Appennino di Piacenza*. Atti e Mem. R. Acc. Sc. Lett. Arti Modena, s., **3**: 3-37, Modena.

Anfossi G., Desio A., Gelati R., Laureri S., Petrucci F. & Venzo S. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 60 Piacenza*. Serv. Geol. d'It.: pp.38, Roma.

Ariati L., Feletti F., Mariani G. & Peloso G.F. (1989) - *Le sorgenti della Placca di Castagnola (Appennino pavese-alessandrino). Rapporti tra struttura geologica e chimismo delle acque*. Atti Tic. Sc. Terra, **32**: 89-124, Pavia.

AQUATER S.p.A. (1978) - *Interpretazione dei dati geofisici delle strutture plioceniche e quaternarie delle Pianure Padana e Veneta*. GEOS/A A0153. San Lorenzo in Campo, 31.08.1978.

Bally A.W. & Snelson S. (1980) - *Realms of subsidence*. In: Miall A.D. (Eds) *Facts and Principles of world petroleum occurrence*, Can. Soc. Petrol. Geol. Mem., **6**: 9-75, Calgary.

Bartolini C., Bernini M., Carloni G.C., Costantini A., Federici P.R., Gasperi G., Lazzarotto A., Marchetti G., Mazzanti R., Papani G., Pranzini G., Rau A., Sandrelli F., Vercesi P.L., Castaldini D. & Francavilla F. (1982) - *Carta neotettonica dell'Appennino settentrionale*. C.N.R. - P.F.G. sottoprogetto Neotettonica, pubbl. 403, Boll. Soc. Geol. It., **101**: 523-549, 4 Tavv., Roma.

Baruffini L., Cavalli C. & Papani L. (1994) - *Detailed stratal correlation and stacking patterns of the Gremiasco and lower Castagnola turbidite systems, Tertiary Piedmont Basin, Northwestern Italy*. In: Weimer P., Bouma A.H. & Perkins B. (Eds) *Submarine Fans and Turbidite Systems*, papers presented at the GCS-SEPM 15th Annual Research Conference, Houston, December 4-7, 1994, 9-21.

Bellinzona G., Boni A., Braga G., Casnedi R. & Marchetti G. (1968) - *Carta geologica della "Finestra di Bobbio"*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, **19**, Pavia.

Bellinzona G., Boni A., Braga G. & Marchetti G. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 71 Voghera*. Serv. Geol. d'It.: pp. 121, Roma.

Berggren W.A. & Pearson P.N. (2005) - *A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation*. Journal of Foraminiferal Research, **35**: 279-298, Washington.

PROGETTO CARG

Bettelli G., Panini F. & Pizziolo M. (2002) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 236 Pavullo sul Frignano*. Serv. Geol. d'It.: pp. 165, 41 Figg., Firenze.

Bettelli G. & Vannucchi P. (2003) - *Structural style of the offscraped Ligurian oceanic sequences of the Northern Apennines: new hypothesis concerning the development of mélange block in matrix fabric*. Journal of Structural Geology, **25**: 371-388, Elsevier.

Bini A., Borsato A., Carraro F., Carton A., Corbari D., Cucato M., Monegato G. & Pellegrini G.B. (2004) - *Definizione di alcuni termini in uso nella cartografia dei depositi quaternari continentali in ambito alpino*. Il Quaternario - It. J. Quat. Sci., **17**(1): 75-82, Torino.

Bini A., Bosi C., Carraro F. & Castiglioni G.B. (1991) - *Cartografia geologica del Quaternario*. In: *Commissione per la Cartografia geologica e geomorfologica del CNR: Guida al rilevamento della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000*. I Convegno sulla Cartografia geologica nazionale, CNR e Servizio Geologico Nazionale, 63-83, Roma.

Bini A., Ferliga C. & Zuccoli L. (in stampa) - *Sintesi e revisione delle unità stratigrafiche quaternarie e terziarie continentali riconosciute durante i rilevamenti 1982-2012*. Geologia Insubrica.

Boccaletti M. & Coli M. (1982) - *Carta strutturale dell'Appennino settentrionale*. P.F.G. - Sottoprogetto 5 - Modello Strutturale, 4 Tavv. Selca, Firenze.

Boccaletti M., Decandia F.A., Gasperi G., Gelmini R., Lazzarotto A. & Zanzucchi G. (1987) - *Carta strutturale dell'Appennino settentrionale*. Pubbl. n. 429 (1982). C.N.R., P.F.G. - Sottoprogetto 5 - Modello Strutturale gruppo Appennino settentrionale, pp. 203.

Boni A. (1932) - *Il Miocene del M. Vallassa*. Rend. R. Acc. Lincei, Cl. Sc. Fis. Mat. e Nat., s. VI, **15** fasc. **12**: 981-986, Roma.

Boni A. (1933) - *Fossili miocenici del Monte Vallassa*. Boll. Soc. Geol. It., **52**, fasc. **1**: 73-156, Roma.

Boni A. (1943) - *Osservazioni geologiche sull'Appennino pavese. I. Osservazioni stratigrafiche sul Neogene dell'Appennino vogherese*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, **1**, Pavia.

Boni A. (1962) - *Lignes et problèmes tectoniques du secteur nord-ouest de l'Apennin septentrional*. Bull. Soc. Géol. France, VII, **4**, 5, 644-656, Paris.

Boni A. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 59 Pavia*. Serv. Geol. d'It.: pp. 68, Roma.

Boni A. (1980) - *Struttura geologica e sismicità del "territorio" pavese*. In: *Seminari su: Eventi naturali ed antropici: I terremoti*. Univ. Studi Pavia, 149-277.

Boni A. (1986) - *Struttura geologica e sismicità in Lombardia*. Atti Isti. Geol. Pavia, **30-II**: 246-309, Pavia.

Boni A., Braga G. & Marchetti G. (1968) - *Nuovi dati sull'età della "Formazione di Bobbio" e della "Formazione di Val d'Aveto" (Appennino ligure-emiliano)*. Rend. Ist. Lomb., cl. A, **102**: 737-743, Milano.

Boni A., Boni P., Peloso G.F. & Gervasoni S. (1980) - *Dati sulla neotettonica del Foglio Pavia (59) e di parte dei Fogli Voghera (71) ed Alessandria (70)*. Pubbl. n. 356 del P.F.G. del C.N.R., 1199-1244.

Boni A., Braga G., Gelati R., Laureri S., Papani G., Petrucci F. & Venzo S. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 72 Fiorenzuola d'Arda*. Serv. Geol. d'It.: pp. 84, Roma.

Boni A. & Casnedi R. (1970) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Fogli 69-70, Asti-Alessandria*. Serv. Geol. d'It.: pp. 63, Roma.

Bortolotti V., Sagri M., Abbate E. & Passerini P. (1969) - *Geological Map of the Northern Apennines and adjoining areas*. C.N.R., Centro Studi Geologia Appennino. Ristampa, 1987, L.A.C. Firenze.

PROGETTO CARG

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. & Gasperini P. (1997) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980, vol. 2*. ING-SGA, Bologna, 644 pp.

Braga G. (1957) - *Segnalazione di Scisti ad Aptici e di calcari tipo Maiolica nell'Appennino di Piacenza*. Atti Ist. Geol. Pavia, **7**: 87-104, Pavia.

Braga G. (1965) - *Geologia delle Valli Nure e Perino (Appennino piacentino)*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, **17**: 1-49, Pavia.

Carannante G., Esteban M., Milliman J.D. & Simone L. (1988) - *Carbonate lithofacies and paleolatitude indicators: problems and limitations*. Sedimentary geology, 60: 333-346, Elsevier.

Carminati E., Doglioni C. & The TRANSMED III Working Group (2004) - *TRANSMED - TRANSECT III: a description of the section and of the data sources*. In: Cavazza W., Roure F., Spakman W., Stampfli G.M. & Ziegler P.A. (Eds), *The TRANSMED Atlas - The Mediterranean Region from Crust to Mantle*. Springer, Berlin Heidelberg.

Carruba S., Perotti C. & Zoccarato R. (2002) - *Deformazioni sinsedimentarie e tettoniche nelle Arenarie del M. Vallassa (Serravalliano, Appennino nord-occidentale)*. Nel volume dei riassunti dell'81° Congresso della Società Geologica Italiana. Torino, 10-12 settembre 2002, 271.

Cassano E., Anelli L., Fichera R. & Cappelli V. (1986) - *Pianura padana, interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*. AGIP, 73° Congresso della Società Geologica Italiana.

Castellarin A. (1976) - *Ipotesi paleogeografica sul bacino del Flysch sudalpino cretacico*. Boll. Soc. Geol. It., **95**: 501-511, Roma.

Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C. & Amato A. (2006) - *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1*. INGV-CNT, Roma. http://www.ingv.it/CSI/.

Catanzariti R., Ottria G., Cerrina Feroni A. & Martelli L. (2002) - *Tavole stratigrafiche*. In: Cerrina Feroni A., Ottria G., Martinelli P., Martelli L. & Catanzariti R. (Eds) - *Carta Geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo, scala 1:250.000*. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse, S.EL.CA Firenze.

Catanzariti R., Rio D. & Martelli L. (1997) - *Late Eocene to Oligocene calcareous nannofossil biostratigraphy in Northern Apennines: the Ranzano Sandstone*. Memorie Scienze Geologiche, **49**: 207-253, Padova.

Cavanna F., Di Giulio A., Galbiati B., Mosna S., Perotti C.R. & Pieri M. (1989) - *Carta geologica dell'estremità orientale del Bacino Terziario Ligure Piemontese*. Atti Ticinesi Sc. Terra, **32**, Pavia.

Cavanna F., Guado P. & Vercesi P.L. (1995) - *Assetto strutturale del margine appenninico pavese-piacentino e connessione con la mineralizzazione delle acque*. Convegno Salice Terme 15-16 maggio 1995, Acque Sotterranee, Ed. Geo-Graph snc, 193-233.

Cavanna F., Marchetti G. & Vercesi P.L. (1998) - *Idrogeomorfologia e insediamenti a rischio ambientale (il caso della pianura dell'Oltrepò Pavese e del relativo margine collinare)*. F.L.A. 14-72, 6 Tavv., Isabel Litografia, Gessate (MI).

Cazzola C., Fonnesu F., Mutti E., Rampone G., Sonnino M. & Vigna B. (1981) - *Geometry and facies of small, fault-controlled deep-sea fan systems in a transgressive depositional setting (Tertiary Piedmont Basin, Northwestern Italy)*. In: Ricci Lucchi F. (Eds), *Excursione guidebook, 2nd European Regional Meeting of International Association of Sedimentologists*, Bologna 1981, 5-56.

Cazzola C., Mutti E. & Vigna B. (1985) - *Cengio turbidite system, Italy*. In: Bouma A.H., Normark W.R. & Barnes N.E. (Eds), *Submarine Fans and Related Turbidite Systems*, 179-184, Springer-Verlag New York.

PROGETTO CARG

Cerrina Feroni A., Ottria G., Martinelli P., Martelli L. & Catanzariti R. (2002) - *Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo con sezioni geologiche e note illustrative*. Ed. Regione Emilia-Romagna, S.EL.C.A. Firenze.

Cerrina Feroni A., Ottria G. & Ellero A. (2004) - *The Northern Apennine, Italy: geological structure and transpressive evolution*. Special volume of the Italia Geological Society for the IGC 32 Florence - 2004, 15-32.

Charrier G., Fernandez D. & Malaroda R. (1964) - *La Formazione di Pianfolco (Bacino Oligocenico Ligure-Piemontese)*. Atti Acc. Naz. Lincei, Mem. Cl. Sc. Mat., Fis., Nat., ser. 8, **7**(2): 23-81, Roma.

Cibin U. (1993a) - *La successione epiligure eo-oligocenica dell'Appennino settentrionale: composizione del detrito e diagenesi*. Tesi di Dottorato, Università di Bologna, 139 pp.

Cibin U. (1993b) - *Evoluzione composizionale delle areniti nella successione epiligure eo-oligocenica (Appennino settentrionale)*. Giornale di Geologia, 55: 69-92, Bologna.

Cibin U., Spadafora E., Zuffa G.G. & Castellarin A. (2001) - *Continental collision history from arenites of episutural basins in the Nothern apennines, Italy*. G.S.A. Bull., **113**: 4-19, Tulsa.

CNR-GNDCI (1997) - *Centri abitati instabili della Provincia di Pavia. Vol. 1 Centri interessati da provvedimento di risanamento, consolidamento o trasferimento*. Arti Grafiche Vertemati, Vimercate (MI), 43 pp. + schede.

Cobianchi M., Piccin A. & Vercesi P.L. (1995) - *La Formazione di Val Luretta (Appennino piacentino): nuovi dati litostratigrafici e biostratigrafici*. Atti Ticinesi Sc. Terra, **37**: 235-262, Pavia.

Conti S., Panini F. & Gubertini A. (2005) - *Seep carbonates from the Oltrepò Pavese area (northern Apennines, middle-late Miocene)*. Boll. Soc. Geol. It., v. Speciale **4**: 67-76, Roma.

Dallagiovanna G., Marchetti G. & Vercesi P.L. (1991) - *Sulla presenza di spezzoni di successioni giurassiche nel "Complesso caotico indifferenziato" dell'Appennino pavese-piacentino*. Rend. Soc. Geol. It., **14**: 37-42, Roma.

Delfrati L., Falorni P., Groppelli G. & Pampaloni R. (2000) - *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Catalogo delle formazioni - Fascicolo I - Unità validate*. Quad. Serv. Geol. d'It., serie III, **7**(I): pp. 228, Roma.

Delfrati L., Falorni P., Izzo P. & Petti F.M. (2006) - *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Catalogo delle formazioni - Fascicolo V - Unità validate*. Quad. Serv. Geol. d'It., serie III, **7**(V): pp. 210, Roma.

De Rosa E., Gelati R. & Mutti E. (1966) - *Una nuova formazione terziaria dell'Appennino di Piacenza: la Formazione di Val Luretta*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **72**: 369-395, Milano.

Di Biase D. (1998) - *Stratigrafia fisica, facies e significato dei Conglomerati della Val Borbera (Bacino Terziario Piemontese)*. Tesi di Dottorato inedita, Università di Parma.

Di Dio G., Piccin A. & Vercesi P.L. (2005) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 179 Ponte dell'Olio*. APAT - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia, Roma, pp.108.

Di Giulio A. (1991) - *Detritismo della parte orientale del Bacino Terziario Piemontese durante l'Eocene - Oligocene: composizione delle arenarie ed evoluzione tettono-stratigrafica*. Atti Ticinesi Sc. Terra, **34**: 21-41, Pavia.

Di Giulio A. & Galbiati B. (1995) - *Interaction between tectonics and deposition into an episutural basin in the Alps-Apennines knot*. Convegno sul tema "Rapporti tra Alpi ed Appennino", 113-128.

Doglioni C., Mongelli F. & Pialli G. (1998) - *Boudinage of the alpine belt in the Apenninic back-arc*. Mem. Soc. Geol. It., **52**: 457-468, Roma.

PROGETTO CARG

Doglioni C., Fernandez M., Gueguen E. & Sàbat F. (1999) - *On the interference between the early Apennines Maghrebides backarc extension and the Alps-Betics orogen in the Neogene Geodynamics of the Western Mediterranean*. Boll. Soc. Geol. It., **118**: 75-89, Roma.

Elter P. (1973) - *Lineamenti tettonici ed evolutivi dell'Appennino settentrionale*. In: *Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino*. Acc. Naz. Lincei, Quad. **183**: 97-109, Roma.

Elter P. (1975a) - *Introduction a la geologie de l'Apennin Septentrional*. Bull. Soc. Geol. Franc., **17**: 956-962, Paris.

Elter P. (1975b) - *L'ensemble Ligure*. Bull. Soc. Geol. Franc., **17**: 984-997, Paris.

Elter P., Catanzariti R., Ghiselli F., Marroni M., Molli G., Ottria G. & Pandolfi L. (1999) - *L'unità Aveto (Appennino settentrionale): caratteristiche litostratigrafiche, biostratigrafia, petrografia delle areniti ed assetto strutturale*. Boll. Soc. Geol. It., **118**: 41-64, Roma.

Elter G., Elter P., Sturani C. & Weidmann M. (1966) - *Sur la prolongation du domaine ligure de l'Apennin dans le Monferrat et les Alpes et sur l'origine de la Nappe de la Simme s.l. des Prealpes romandes et chablaisiennes*. Arch. Sciences de Geneve, **19**/3: 279-378, Geneve.

Elter P., Ghiselli F., Marroni M. & Ottria G. (1997) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 197 Bobbio*. SGN-RER, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 106 pp.

Elter P., Gratziu C. & Labesse B. (1964) - *Sul significato dell'esistenza di una unità tettonica alloctona costituita da formazioni terziarie nell'Appennino settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., **83**(2): 373-394, Roma.

Elter P. & Nardi R. (1962) - *Osservazioni sulla serie di Costa Merlassino presso Cantalupo Ligure (Alessandria)*. Boll. Soc. Geol. lt., **81**, n° 3: 381-384, Roma.

Elter P. & Pertusati P.C. (1973) - *Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle relazioni con l'arco delle Alpi occidentali*. Mem. Soc. Geol. It., **12**: 359-375, Roma.

Elter P. & Raggi G. (1965) - *Contributo alla conoscenza dell'Appennino Ligure: 3) Tentativo di interpretazione delle brecce ofiolitiche cretacee in relazione ai movimenti orogenetici nell'Appennino ligure*. Boll. Soc. Geol. It., **84**: 1-12, Roma.

ENEL (1985) - *Studi e indagini per l'accertamento della idoneità tecnica delle aree suscettibili di insediamento di impianti nucleari per le Regioni Piemonte, Lombardia e Puglia: indagini di sismica storica*. Rapporti tecnici predisposti da ISMES-SGA, Roma.

Falorni P., Petti F.M. & D'Ambrogi C. (2007) - *Argille Azzurre*. In: Cita M.B., Abbate E., Balini M., Conti A.M., Falorni P., Germani D., Groppelli G., Manetti P. & Petti F.M., *Carta Geologica d'Italia 1:50.000 - Catalogo delle Formazioni - Unità tradizionali (2)*. Quad. Serv. Geol. d'It., serie III, **7**(VII): pp. 382, Roma.

Ferrero E. & Pavia G. (1996) - *La revisione. La successione marina pre-villafranchiana*. In: Carraro F. (Eds), *Revisione del Villafranchiano nell'area-tipo di Villafranca d'Asti*. Il Quaternario, **9**: 36-38, Roma.

Festa A., Dela Pierre F., Irace A., Piana F., Fioraso G., Lucchesi S., Boano P. & Forno M.G. (2009) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 156 Torino Est*. Litografia Geda, Nichelino, 2009.

Finney S.C. (2011) - *Formal definition of the Quaternary System/Period and redefinition of the Pleistocene Series/Epoch*. Episodes, **33**, 3: 159-163, Bangalore.

Fornaciari E. & Rio D. (1996) - *Latest Oligocene to early middle Miocene quantitative calcareous nannofossil biostratigraphy in the Mediterranean region*. Micropaleont., **42**(1): 1-36, New York.

PROGETTO CARG

Fossati A., Perotti C. & Vercesi P.L. (1988) - *Deformazioni tettoniche al margine sud-orientale del bacino terziario ligure-piemontese*. Rend. Soc. Geol. It., **11**, f.2: 305-308, Roma.

Franceschetti B. (1967) - *Studi geologici sulla regione ad ovest di Ovada (Provincia di Alessandria)*. Mem. Soc. Geol. It., **6**(3): 379-420, Roma.

Fregni P. & Panini F. (1988) - *Lacuna stratigrafica tra le Formazioni di Ranzano e Antognola nelle zone di Roteglia e Montebaranzone (Appennino reggiano e modenese)*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **93**(4) (1987): 533-558, Milano.

Galbiati B. (1976) - *La successione oligo-miocenica tra Rigoroso e Carrosio (Bacino Ligure-Piemontese)*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, **26**: 30-40, Pavia.

Gandolfi R. (1948) - *La faglia dello Staffora. Sue caratteristiche in rapporto al sistema di fratture del Vogherese*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. di Sc. Fis., Mat. e Nat. s. VIII, **5**, fasc. 1-2: 67-70.

Gasperi G., Bettelli G, Panini F., Pizziolo M., Bonazzi U., Fioroni C., Fregni P. & Vaiani S.C. (2005) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 219 Sassuolo*. Serv. Geol. d'It.

Gelati R. (1967) - *Osservazioni stratigrafiche sull'Oligo-Miocene delle Langhe (Piemonte, Italia)*. Pubbl. Ist. Geol. Univ. Milano, S.G., **23**6: 18 pp., Milano.

Gelati R. (1974) - *Il limite Eocene-Oligocene nella successione stratigrafica di Costa Merlassino (Alessandria)*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **80** 1: 49-74, Milano.

Gelati R. (1977) - *La successione eo-oligocenica di Garbagna (Alessandria) al margine orientale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **83**: 103-136, Milano.

Gelati R., Bruzzi D., Catasta G. & Cattaneo P.C. (1974) - *Evoluzione stratigrafico-strutturale dell'Appennino vogherese a nord-est della Val Staffora*. Riv. Ital. Paleont. Strat., 80: 479-514, Milano.

Gelati R. & Gnaccolini M. (1978) - *I conglomerati della Val Borbera, al margine orientale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **84**: 701-728, Milano.

Gelati R. & Gnaccolini M. (1980) - *Significato dei corpi arenacei di conoide sottomarina (Oligocene - Miocene inferiore) nell'evoluzione tettonico-sedimentaria del Bacino Terziario Ligure-Piemontese*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **86**: 167-186, Milano.

Gelati R. & Gnaccolini M. (1982) - *Evoluzione tettonico-sedimentaria della zona limite tra Alpi ed Appennini tra l'inizio dell'Oligocene e il Miocene medio*. Mem. Soc. Geol. It., **24**: 183-191, Roma.

Gelati R. & Gnaccolini M. (1988) - *Sequenze deposizionali in un bacino episuturale, nella zona di raccordo tra Alpi ed Appennino settentrionale*. Atti Tic. Sc. Terra, **31**: 340-350, Pavia.

Gelati R. & Gnaccolini M. (2003) - *Genesis and evolution of the Langhe Basin, with emphasis on the Latest Oligocene - Early Miocene and Serravalian*. Atti Tic. Sc. Terra, **44**: 3-18, Pavia.

Gelati R., Gnaccolini M., Falletti P. & Catrullo D. (1993) - *Stratigrafia sequenziale della successione oligo-miocenica delle Langhe, Bacino Terziario Ligure-Piemontese*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **98**: 425-452, Milano.

Gelati R. & Massiotta P. (1977) - *Indizi geomorfologici di deformazioni neotettoniche lungo la Linea "Villalvernia-Varzi-Bobbio" (Appennino settentrionale)*. Rend. Ist. Lomb. Acc. Sci. e Lett., **11**: 79-88, Milano.

Gelati R. & Pasquarè G. (1970) - *Interperetazione geologica del limite Alpi-Appennini in Liguria*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **76**/4: 513-578, Milano.

Ghibaudo G., Clari P. & Perello M. (1985) - *Litostratigrafia, sedimentologia, ed evoluzione tettonico-sedimentaria dei depositi miocenici del margine sud-orientale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese*. Boll. Soc. Geol. It., **104**: 349-397, Roma.

PROGETTO CARG

Ghiselli F., Ottria G. & Perilli N. (1991) - *Nuovi dati biostratigrafici sulle Arenarie di Scabiazza in base ai Nannofossili Calcarei (Val Trebbia, Appennino settentrionale)*. Atti Tic. Sc. Terra, **34**: Note brevi, 75-84, Pavia.

Ghiselli F., Ottria G., Piccin A. & Vercesi P.L. (1994) - *Assetto strutturale delle Arenarie di Scabiazza tra le valli Trebbia e Tidone (Appennino settentrionale)*. Atti Tic. Sc. Terra, Ser. Spec. **1**: 93-104, Pavia.

Giulietti C. (1900) - *Notizie naturali geologiche di Casteggio con appendice*. Tip. Enrico Sparolazzi, Casteggio, 77 pp.

Gnaccolini M. (1974) - *Osservazioni sedimentologiche sui conglomerati oligocenici del settore meridionale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese*. Riv. ltal. Paleont. Strat., **80**(1): 85-100, Milano.

Gnaccolini M. (1982) - *Oligocene fan-delta deposits in northern Italy: a summary*. Riv. ltal. Paleont. Strat., **87**(4): 627-636, Milano.

Gnaccolini M. (1988) - *Osservazioni sui conglomerati oligocenici affioranti nell'area compresa tra Roccaforte Ligure e Grondona (Alessandria)*. Riv. ltal. Paleont. Strat., **93**: 521-532, Milano.

Gobetti A. & Perotti C.R. (1990) - *Genesi e caratteristiche dell'arco strutturale di Pavia*. Atti Tic. Sc. Terra, **33**: 143-156, Pavia.

Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G., Bleeker W. & Lourens L. (2004) - *A new Geological Time Scale with special reference to Precambrian and Neogene*. Episodes, **27**(2): 83-100, Bijing (China).

Gruppo di Lavoro CPTI (2004) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Iitaliani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna. http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/

Ibbeken H.P. (1970) - *Das Ligurische Tongriano, eine resedimentierte molasse des Nord-Apennin*. Beih. Geol. Jb., 93: 139 pp., Hannover.

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) - *Bollettino sismico mensile*. http://legacy.ingv.it/roma/reti/rms/bollettino/index.php?lang=it

ISSC - International Subcommission on Stratigraphic Classification of Iugs International Commission on Stratigraphy (1994) - *International Stratigraphic Guide (2nd edition)*. Trondheim, IUGS and Boulder, GSA, 214 pp.

Labesse B. (1966) - *Etudes des terraines Eocene et Oligocene du bassin Liguro-Piemontais dans Ia region de San Sebastiano Curone-Varzi*. Bull. Soc. Geol. Fr. 8(7): 956-966, Paris.

Laubscher H, Biella G.C., Cassinis R., Gelati R., Lozej A., Scarascia S. & Tabacco I. (1992) - *The collisional knot in Liguria*. Geologische Rundschau, **81**(2): 275-289, Stuttgart.

Laureri S. (1964) - *Cenni sulla giacitura del Neogene nel Pedeappennino piacentino tra le valli dell'Arda e del Nure*. Ateneo Parmense, Acta Naturalia, **35**: 75-81, Parma.

Lorenz C. (1960) - *Données nouvelle sur la date de la transgression de l'Oligo - Miocène dans la région de Ceva - Millesimo (Piémont)*. C. R. Ac. Sc. t 250. P. 1683.

Lorenz C. (1969) - *Contribution à l'étude stratigraphique de l'Oligocène et du Miocène inférieur des confins liguro-piémontais (Italie)*. Atti Ist. Geol. Univ. Genova, **6**: 253-888, Genova.

Ludwig O. (1929) - *Geologische Untersuchungen in der Gegend von Bobbio im Nord apennin*. Geologische Rundschau, **20**: 36-66, Stuttgart.

Mancin N. & Cobianchi M. (2000) - *Le Marne di M. Piano della Val di Nizza (Appennino settentrionale): biostratigrafia integrata e considerazioni paleoambientali*. Atti Tic. Sc. Terra, **41**: 145-162, Pavia.

Mancin N., Cobianchi M., Di Giulio A. & Catellani D. (2007) - *Stratigraphy of the Cenozoic subsurface succession of the Venetian-Friulian Basin (NE Italy): a review*. Riv. ltal. Paleont. Strat., **113**(3): 401-418, Milano.

PROGETTO CARG

Mantelli L. & Vercesi P.L. (2000) - *Evoluzione morfostrutturale recente del pedeappennino vogherese-tortonese*. Atti Tic. Sc. Terra, **41**: 49-58, Pavia.

Marchesi R. (1961a) - *Serie stratigrafica di M. Piano*. Boll. Soc. Geol. It., **80**: 71-77, Roma.

Marchesi R. (1961b) - *Serie stratigrafica di Contignaco*. Boll. Soc. Geol. It., **80**: 100-104, Roma.

Marchetti G. Mosna S. & Vercesi P.L. (1979) - *Nuovi affioramenti di terreni paleogenici e neogenici a margine dell'Appennino pavese (ad est di Stradella) e loro possibile significato*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, **XXVIII**: 87-95, Pavia.

Marchetti G., Pellegrini L., Perotti C. & Vercesi P.L. (1980) - *Note illustrative degli elaborati cartografici presentati il 31/5/1980 (F. 60 Piacenza e 61 Cremona) e il 31/3/1979 (F. 71 Voghera, F. 72 Fiorenzuola d'Arda, F. 83 Rapallo e F. 84 Pontremoli)*. Pubbl. n. 356 del P.F.G. del C.N.R., 915-964

Mariani E. (1887) - *Descrizione dei terreni miocenici fra la Scrivia e la Staffora*. Boll. Soc. Geol. It., **5**: 1-41, Roma.

Marroni M., Molli G., Ottria G. & Pandolfi L. (2001) - *Tectono-sedimentary evolution of the External Liguride units (Northern Apennines, Italy): insights in the pre-collisional history of a fossil ocean-continent transition zone*. Geodinamica Acta, **14**: 307-320, Elsevier.

Marroni M., Molli G., Montanini A., Ottria G., Pandolfi L. & Tribuzio R. (2002) - *The external Ligurian units (Northern Apennine, Italy): from rifting to convergence of a fossil ocean-continent transition zone*. Ofioliti, **27**: 119-131, Pisa.

Martelli L., Cibin U., Di Giulio A. & Catanzariti R. (1998) - *Litostratigrafia della Formazione di Ranzano (Priaboniano-Rupeliano, Appennino settentrionale e Bacino Terziario Piemontese)*. Boll. Soc. Geol. It., **117**: 151-185, Roma.

Martini E. (1971) - *Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation*. In: Farinacci A. (Eds), *Proceedings II° Planktonic Conference*, Rome 1970, **2**: 739-785, Roma.

Medioli F., Papani G., Petrucci F. & Venzo S. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 73 Parma*. Serv. Geol. d'It.: pp. 66, Roma.

Meisina L. & Guagnini G. (1975) - *Struttura idrogeologica del rilievo di Pizzocorno - Pietragavina (Pavia)*. Atti 3° Convegno Naz. Studi sui problemi della Geologia Applicata ANGI, 1973, 147-156.

Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G. & Boschi E. (2008) - *A seismic source zone model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. Tectonophysics, **450**: 85-108, Elsevier.

Merla G. (1952) - *Geologia dell'Appennino settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., **70**: 96-382, Roma.

Merla G. (1957) - *Essay on the geology of the Northern Apennines, with a Geologica Map 1:1.000.000*. Atti del Convegno "I Giacimenti gassiferi dell'Europa occidentale", Acc. Naz. Lincei-ENI, **2**: 629-651.

Merla G., Scarsella F., Selli R., Trevisan L. & Maxwell J.C. (1964) - *Italy Guidebook*. A.G.I., Washington, pp. 1-112.

Miletto M. & Polino R. (1992) - *A gravity model of the crust beneath the Tertiary Piemonte Basin (Northwestern Italy)*. Tectonophysics, **212**: 243-256, Elsevier.

Mutti E. (1992) - *Turbidite sandstones*. AGIP - Istituto di Geologia dell'Università di Parma, 275 pp.

Mutti E., Papani L., Di Biase D., Davoli G., Mora S., Segadelli S. & Tinterri R. (1995) - *Le successioni terrigene priaboniane e rupeliane del Bacino Terziario Piemontese e del Bacino Epiligure: nuovi dati e problemi*. Memorie di Scienze Geologiche, **47**: 217-244, Padova.

PROGETTO CARG

Mutti E. Ricci Lucchi F., Seguret M. & Zanzucchi G. (1984) - *Seismoturbidites: a new group of resedimented deposits*. Marine Geology, **55**: 103-116, Elsevier.

NASC - North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (1983) - *North American Stratigraphic code*. Bull. Amer. Ass., Petrol. Geologist., **67**/5: 841-875, Tulsa.

Natale L. (1998) - *Studio idraulico e progettazione preliminare delle opere di sistemazione idraulica del Torrente Staffora da Casanova a Rivanazzano*.

Panini F., Fioroni C. & Fregni P. (2006) - *Geologia dell'area di Varzi (Appennino vogherese): note preliminari*. Atti Tic. Sc. Terra, **45** (2004): 43-59, Pavia.

Panini F., Fioroni C., Fregni P. & Bonacci M. (2002) - *Le rocce caotiche dell'Oltrepò Pavese: note illustrative alla Carta Geologica dell'Appennino vogherese tra Borgo Priolo e Ruino*. Atti Tic. Sc. Terra, **43**: 83-109, Pavia.

Papani G. (1971) - *Geologia della struttura di Viano (Reggio Emilia)*. Mem. Soc. Geol. It., **10**(2): 121-165, Roma.

Papani L. (1998) - *Le Arenarie di Loiano nel contesto dell'Appennino settentrionale*. Tesi di Dottorato, Università di Bologna, 83 pp.

Papani G., De Nardo M.T., Bettelli G., Rio D., Tellini C. & Vernia L. (2002) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 218 Castelnuovo ne' Monti*. Selca, Firenze, 2002.

Papani G. & Zanzucchi G. (1969) - *Nuove unità litostratigrafiche dell'Appennino emiliano: il Flysch di Monte Cassio*. Ateneo Parmense, Acta Naturalia, **5**(1): 1-16, Parma.

Pasquini C. & Vercesi P.L. (2007a) - *Superfici relitte ed evoluzione morfoneotettonica tra la Val Nure e la Valle Staffora (Appennino meridionale)*. Atti Tic. Sc. Terra, **45** (2004-2007): 99-108, Pavia.

Pasquini C. & Vercesi P.L. (2007b) - *Evoluzione del reticolato idrografico in funzione della strutturazione recente del settore appenninico vogherese-piacentino*. Atti Tic. Sc. Terra, **45** (2004-2007): 109-120, Pavia.

Patacca E., Sartori R. & Scandone P. (1990) - *Tyrrhenian basin and apenninic arcs: kinematic relations since Late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It., **45**: 425-451, Roma.

Pellegrini L. & Vercesi P.L. (1995) - *Considerazioni morfoneotettoniche sulla zona a sud del Po tra Voghera (PV) e Sarmato (PC)*. Atti Tic. Sc. Terra, **38**: 95-118, Pavia.

Pellegrini L. & Vercesi P.L. (2005) - *I geositi della Provincia di Pavia*. Luigi Ponzio e Figlio Ed., 228 pp.

Perotti C.R. (1991) - *Osservazioni sull'assetto strutturale del versante padano dell'Appennino settentrionale*. Atti Tic. Sc. Terra, **34**: 11-22, Pavia.

Perotti C.R. (1995) - *Analisi strutturale dei depositi conglomeratici neogenici affioranti lungo il margine padano dell'Appennino pavese-piacentino*. Atti Tic. Sc. Terra, Serie Spec. **3**: 89-98, Pavia, 1995.

Perotti C.R., Savazzi G. & Vercesi P.L. (1989) - *Osservazioni stratigrafiche e sedimentologiche preliminari sull'Unità di Canetolo in Val Nure (Piacenza)*. Atti Tic. Sc. Terra, **32**: 191-201, Pavia.

Perotti C. & Vercesi P.L. (1992) - *Assetto tettonico ed evoluzione strutturale recente della porzione nord-occidentale dell'Appennino emiliano*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **46**: 313-326, Roma.

Perotti C.R. & Zoccarato R. (2000) - *Tectonic features and synsedimentary deformations of the M. Vallassa Sandstones (Serravallian - NW Apennines - Italy)*. Volume degli abstracts del Convegno "Evoluzione geologica e geodinamica dell'Appennino" in memoria del Prof. Gianpaolo Pialli, 16-18 Febbraio 2000, Foligno, 266-267.

Pieri M. (1961) - *Nota introduttiva al rilevamento del versante appenninico padano, eseguito dai geologi dell'AGIP Mineraria*. Boll. Soc. Geol. It., **80**: 111-126, Roma.

PROGETTO CARG

Pieri M. & Groppi G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain. Progetto Finalizzato Geodinamica/Sottoprogetto 'Modello Strutturale'*. Publ. 414, PP.23. Rome, CNR Publication

Plesi G. (1974) - *L'Unità di Canetolo nella struttura di Bobbio, Montegroppo e lungo la trasversale Cinque Terre-Pracchiola*. Atti Soc. Toscana Sc. Nat. Mem., Ser. A, **81**: 121-151, Pisa.

Plesi G. (1975) - *La Nappe de Canetolo*. Bull. Soc. Geol. France, **17**: 979-983, Paris.

Polino R. & Clari P.A. (2003) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 157 Trino*. Apat - Dipart. Dif. Suolo.

Ricci Lucchi F. & Ori G.G. (1985) - *Syn-orogenic deposits of migrating basin systems in the NW Adriatic Foreland*. In: Allen P. & Homewood P. (Eds) *Foreland Basins Symp. Excursion Guide-book*, IAS, p. 137-176.

Rio D. & Villa G. (1987) - *On the age of the "Salti del Diavolo" conglomerates and of the Monte Cassio Flysch "Basal Complex" (Northern Apennines, Parma Province)*. Giornale di Geologia, **49**: 63-79, Bologna.

Rio D., Villa G. & Cantadori M. (1983) - *Nannofossil dating of the Helminthoid flysch units in the Northern Apennines*. Giornale di Geologia, **45**: 57-86, Bologna.

Rossi M. & Vercesi P.L. (2011) - *La sedimentazione detritica dell'Unità di Canetolo nell'intervallo Oligocene - Miocene inferiore. Nuovi dati dalle successioni della Val d'Aveto, M.te Arzé ed alta Val Nure (Appennino settentrionale)*. Atti Tic. Sc. Terra, Serie Speciale **11**: 27-43, Pavia.

Rovereto G. (1926) - *Note al rilevamento geologico dei Fogli "Rapallo" e "Chiavari": V - Assetto tettonico tra la Trebbia e l'Aveto*. Boll. Soc. Geol. It., **45**: 123-134, Roma.

Rovereto G. (1939) - *Liguria geologica*. Mem. Soc. Geol. It., **2**: 1-743, Roma.

Roveri M. & Manzi V. (2007) - *Gessoso-Solfifera*. In: Cita M.B., Abbate E., Balini M., Conti A.M., Falorni P., Germani D., Groppelli G., Manetti P. & Petti F.M. (2007), *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Catalogo delle formazioni - Unità tradizionali (2)*. Quad. Serv. Geol. d'It., serie III, 7(VII): pp. 382, Roma.

Sacco F. (1890) - *Il bacino terziario e quaternario del Piemonte*. Tipografia Bernardoni, 634 pp., Milano.

Sacco F. (1891) - *L'Appennino settentrionale (parte centrale)*. Boll. Soc. Geol. It., **10**: 731-956, Roma.

Salvador A. (1987) - *Unconformity-bounded stratigraphic units*. Geol. Soc. Am. Bull., **98**: 232-237, Tulsa.

Sames C.W. (1967) - *Sui conglomerati medio-cretacei della geosinclinale emiliana e la loro importanza per la paleogeografia*. Boll. Soc. Geol. It., **86**: 49-58, Roma.

Scagni G. & Vercesi P.L. (1987) - *Il Messiniano tra la Valle Versa e la Valle Staffora (Appennino pavese-vogherese): considerazioni paleogeografiche*. Atti Tic. Sc. Terra, **31**: 1-20, Pavia.

Segnini A. (1961) - *La serie stratigrafica di Costa Merlassino*. Boll. Soc. Geol. It., **80**: 80-87, Roma.

Servizio Geologico d'Italia (1929) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 71 Voghera, I edizione*. R. Uff. Geol., Roma.

Servizio Geologico d'Italia (1965) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 59 Pavia*. Roma.

Servizio Geologico d'Italia (1967) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 60 Piacenza*. Roma.

Servizio Geologico d'Italia (1969) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 71 Voghera, II edizione*. Roma.

PROGETTO CARG

Servizio Geologico d'Italia (1969) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 72 Fiorenzuola*. Roma.

Servizio Geologico d'Italia (1964) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 73 Parma*. Roma.

Servizio Geologico d'Italia (1997) - *Nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 197 Bobbio*. Roma.

Servizio Geologico d'Italia (2005) - *Nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 179 Ponte dell'Olio*. Roma.

Servizio Geologico d'Italia (in stampa) - *Nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 196 Cabella Ligure*. Roma.

Sieberg A. (1932) - *Geologie der Erdbeben*. Handbuch der Geophysik, Gebr. Bornträger, Berlin, **2**: 550-555.

Signorini R. (1946) - *Autoctonia e alloctonia dei terreni dell'Appennino centrale e settentrionale*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Classe Sc. Fis. Mat. e Nat., ser. VIII, **I**, Roma.

Steinmann G. (1907) - *Alpen und Apennin*. Monastber., d. Deutsch. Geol. Ges., **59**, n. 8-9: 177-183, Berlin.

Stocchi S., Cavalli C. & Baruffini L. (1992) - *I depositi torbiditici di Guaso (Pirenei centro-meridionali), Gremiasco e Castagnola (settore orientale del BTP): geometria e correlazioni di dettaglio*. Atti Tic. Sc. Terra, **35**: 153-177, Pavia.

Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F., & Azzaro R. (2007) - *DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/*. Quaderni di Geofisica, **49**: 38 pp., Roma.

Taramelli T. (1877) - *Osservazioni stratigrafiche sulla Provincia di Pavia*. Rend. R. Ist. Lomb. Sc. Lett. e Lett., s. II, vol. **10**, fasc. 9-10: 279-297, Milano.

Taramelli T. (1878) - *Sulla formazione serpentinosa dell'Appennino pavese*. Acc. Naz. Lincei, Mem. Cl. Sc. Fis., Mat. e Nat., s. III, **2**: 1-56, Roma.

Taramelli T. (1882) - *Descrizione geologica della Provincia di Pavia, con annessa Carta Geologica*. Stab. Crivelli G., p. 1-163, Milano.

Taramelli T. (1916) - *Descrizione geologica della Provincia di Pavia con annessa Carta Geologica*. Ist. Geogr. De Agostini, 139 pp., Novara.

Tedeschi D. & Cococcetta V. (1961) - *Stratigrafia della Serie di Costa Merlassino*. Boll. Soc. Geol. It., **80**(1): 139-153, Roma.

Thieme R. (1961) - *Serie stratigrafica di Antognola*. Boll. Soc. Geol. It., **80**: 89-98, Roma.

Vannucci R. & Wezel F.C. (1978) - *I conglomerati dell'Aveto e relative deduzioni tettoniche*. Mem. Soc. Geol. It., **19**: 453-460, Roma.

Vanossi M., Perotti C.R. & Seno S. (1994) - *The Maritime Alps arc in the Ligurian and Tyrrhenian systems*. Tectonophysics, **230**: 75-89, Elsevier.

Vercesi P.L. & Cobianchi M. (1998) - *Stratigrafia di un frammento di margine continentale giurassico: la successione di Case Caldarola (Appennino piacentino)*. Boll. Soc. Geol. It., **117**: 537-554, Roma.

Vercesi P.L. & Scagni G. (1985) - *Osservazioni sui depositi conglomeratici dello sperone collinare di Stradella*. Rend. Soc. Geol. It., **7**: 23-27, Roma.

Vescovi P., Villa G. & Barbieri G. (1998) - *L'Unità Tettonica Groppo Sovrano (alta Val Bratica - Provincia di Parma)*. Atti Tic. Sc. Terra, **40**: 15-31, Pavia.

PROGETTO CARG

PROGETTO
CARG

PROGETTO
CARG