



IS P R A

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

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

NOTE ILLUSTRATIVE

della

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

alla scala 1:50.000

foglio 118

MILANO

a cura di:

V. Francani⁽²⁾, A. Piccin⁽¹⁾, M. Credali⁽¹⁾, F. Berra^(1,3), D. Battaglia⁽⁵⁾, P. Gattinoni⁽²⁾, I. Rigamonti⁽⁵⁾, S. Rosselli⁽⁵⁾

con contributi di:

G. Biella⁽⁷⁾, A. Ceresa Mori⁽⁸⁾, R. De Franco⁽⁷⁾, E. Garzanti⁽⁴⁾,
G. Muttoni⁽³⁾, R. Pini⁽⁶⁾, S. Rossi⁽⁵⁾, A. Rovida⁽⁶⁾, G. Scardia^(6,7),
D. Sciunnach⁽¹⁾, P. Vezzoli⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Regione Lombardia

⁽²⁾ Politecnico di Milano, DIIAR

⁽³⁾ Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Milano

⁽⁴⁾ Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie, Università degli Studi di Milano - Bicocca

⁽⁵⁾ Consulente Regione Lombardia

⁽⁶⁾ INGV Milano

⁽⁷⁾ C.N.R. IDPA, Milano

⁽⁸⁾ Soprintendenza ai Beni Archeologici della Lombardia

Ente realizzatore:



**Regione
Lombardia**

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

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

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

**Gestione operativa del Progetto CARG per il Servizio Geologico
 d'Italia – ISPRA: M.T. Lettieri**

**Gestione operativa del Progetto CARG per la Regione
 Lombardia: G. Mannucci, N. Padovan, A. Piccin, G.B. Siletto, M.
 Credali e P. Belotti**

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:

D. Tacchia (coord.), S. Falcetti

Per Regione Lombardia

Coordinamento editoriale e allestimento cartografico:

M. Credali

Informatizzazione dei dati geologici:

coordinamento e direzione lavori: **G. B. Siletto, F. Berra, A. Piccin**

informatizzazione: **I. Rigamonti, D. Battaglia, S. Rosselli, P. Gattinoni, F.**

Mandozzi, S. Racchetti, F. Torri.

Allestimento cartografico per la stampa della Banca Dati

a cura di **Infocartografica - Piacenza**

collaudo: a cura di **Lombardia Informatica S.P.A**

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

I. ...INTRODUZIONE	9
II. ..STUDI PRECEDENTI.....	13
1. - LE CONOSCENZE GEOLOGICHE	13
1.1 - CONOSCENZE SUL SOTTOSUOLO	18
2. - STUDI PEDOLOGICI	20
3. - CARTOGRAFIE TEMATICHE	26
4. - CENNI STORICI SULL'IDROGEOLOGIA DELLA ZONA	26
III..INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO GENERALE	31
1. - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	31
2. - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO - GEOLOGICO.....	32
2.1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO.....	36
IV. .DATI E METODI DI STUDIO	39
1. - CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE E BANCA DATI UTILIZZATA	41
1.1 - STUDIO DELL'EVOLUZIONE ANTROPICA	42
1.1.1. - <i>Foto aeree</i>	42
1.1.2. - <i>Cartografia storica</i>	43
1.1.3. - <i>Dati archeologici</i>	44
2. - CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO	46
2.1 - ANALISI DEI DATI PREGRESSI.....	46
2.2 - BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO	49
2.3 - ACQUISIZIONE DI NUOVI DATI E RICOSTRUZIONE GEOLOGICA	49
3. - CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA.....	51
3.1 - ACQUISIZIONE ED ORGANIZZAZIONE DEI DATI IDROGEOLOGICI	51
3.2 - IMPLEMENTAZIONE DI UN DATABASE IDROGEOLOGICO	51
3.3 - ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI IDROGEOLOGICI	52
V. ..STRATIGRAFIA	53
1. - SUCCESSIONE NEOGENICO - QUATERNARIA.....	53

1.1 - UNITÀ DI SOTTOSUOLO	53
1.1.1. - <i>Cenni sulle unità precedenti al supersintema Padano</i>	55
1.1.2. - <i>Supersintema Padano (PD)</i>	58
1.1.3. - <i>Supersintema Lombardo Inferiore (LI)</i>	61
1.1.4. - <i>Supersintema Lombardo Superiore (LS)</i>	63
1.2 - UNITÀ DI SUPERFICIE	64
1.2.1. - <i>Supersintema del Bozzente (BO)</i>	64
1.2.2. - <i>Sintema di Binago (BIN)</i>	66
1.2.3. - <i>Supersintema di Besnate</i>	68
1.2.3.1. - Unità di Sumirago (SUM)	69
1.2.3.2. - Unità di Guanzate (BEZ)	70
1.2.3.3. - Unità di Cadorago (BEE)	72
1.2.3.4. - Unità di Minoprio (BMI)	74
1.2.3.4.1. - Settore occidentale	74
1.2.3.4.2. - Settore orientale	77
1.2.3.5. - Unità di Bulgarograsso (BXE)	79
1.2.4. - <i>Supersintema di Venegono (VE)</i>	80
1.2.5. - <i>Supersintema dei Laghi: sintema di Cantù (LCN)</i>	81
1.2.5.1. - Area Lura-Olona	82
1.2.5.2. - Settore NE di Milano	83
1.2.5.3. - Area del fiume Lambro Meridionale	83
1.2.5.4. - Area del fiume Lambro	84
1.2.5.5. - Subsintema di Ronchetto delle Rane (LCN ₄)	84
1.2.6. - <i>Sintema del Po (POI)</i>	86
1.2.6.1. - Area del Fiume Olona	86
1.2.6.2. - Fiume Seveso	87
1.2.6.3. - Fiume Lambro Meridionale e Cavo Vettabbia	87
1.2.6.4. - Fiume Lambro	88
1.2.6.5. - Aree non associate a valli fluviali	90

VI. ASPETTI DI MODIFICAZIONE ANTROPICA..... 91

1. - ATTIVITÀ ANTROPICA	91
2. - CLASSIFICAZIONE DELLE ATTIVITÀ ANTROPICHE	92
3. - DEPOSITI ANTROPICI DEL CENTRO DI MILANO	96
3.1 - SCAVI ARCHEOLOGICI ED EVOLUZIONE STORICA	96
3.2 - CARTA GEOARCHEOLOGICA DEL CENTRO STORICO DI MILANO	102

VII. ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA..... 105

1. - ATTIVITÀ ESTRATTIVE	105
1.1 - LA PIANIFICAZIONE PROVINCIALE IN TEMA DI CAVE	107
2. - PROBLEMATICHE DI GEOLOGIA APPLICATA	107
VIII. ASPETTI IDROGEOLOGICI	113
1. - PREMESSA	113
2. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	114
2.1 - GRUPPO ACQUIFERO A	114
2.2 - GRUPPO ACQUIFERO B	115
2.3 - GRUPPO ACQUIFERO C	115
3. - RICOSTRUZIONE DELLA STRUTTURA IDROGEOLOGICA DI DETTAGLIO.....	116
3.1 - ANALISI PRELIMINARE DELLA STRUTTURA IDROGEOLOGICA	116
3.2 - ELABORAZIONE DELLE CARTE TEMATICHE.....	121
3.2.1. - <i>Base dell'Acquifero Tradizionale (base Gruppo Acquifero B) ...</i>	122
3.2.2. - <i>Base del I Acquifero</i>	122
3.2.3. - <i>Andamento e spessore dell'aquitard di separazione tra il I Acquifero ed il II Acquifero</i>	123
3.2.4. - <i>Carta della permeabilità del I Acquifero.....</i>	123
3.2.5. - <i>Piezometria.....</i>	124
3.2.5.1. - <i>Piezometria del I Acquifero.....</i>	124
3.2.5.2. - <i>I fontanili</i>	125
3.2.5.3. - <i>Piezometria del II Acquifero</i>	125
3.2.5.4. - <i>Oscillazioni piezometriche stagionali</i>	126
IX. PROBLEMATICHE GEOLOGICHE	129
1. - L'INNALZAMENTO DELLA FALDA	130
2. - I CEDIMENTI DEL SUOLO.....	132
2.1 - L'ESEMPIO DI MONZA	133
3. - ESONDAZIONE DEI CORSI D'ACQUA	137
3.1 - IL LAMBRO.....	140
3.2 - IL SEVESO.....	141
3.3 - L'OLONA	143
3.4 - IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DEL FIUME PO.....	144
4. - DISPONIBILITÀ E GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE.....	147
4.1 - PRODUTTIVITÀ DEGLI ACQUIFERI	147

4.2 - SOSTENIBILITÀ DELLO SFRUTTAMENTO	148
4.3 - QUALITÀ DELLE ACQUE E TUTELA DELLA RISORSA IDRICA.....	148
4.4 - DISTRIBUZIONE DEI COMPOSTI ORGANOALOGENATI	150
4.5 - DISTRIBUZIONE DEI NITRATI	151
4.6 - DISTRIBUZIONE DEL CROMO	152
4.7 - IMPATTO SULLA DISPONIBILITÀ DELLA RISORSA.....	152
4.8 - LO STATO QUALITATIVO DEI CORSI D'ACQUA	152
5. - SISMICITÀ.....	153

X. ..APPENDICE 1 - ORGANIZZAZIONE DELLA BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO 159

1. - INTRODUZIONE.....	159
2. - LA BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO.....	159
2.1 - DATI RELATIVI AL FOGLIO 118-MILANO.....	161

XI. ..APPENDICE 2 - SONDAGGI GEOGNOSTICI..... 167

1. - STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI.....	167
2. - ANALISI MAGNETOSTRATIGRAFICHE.....	174
2.1 - PESCHIERA BORROMEO RL8.....	175
2.2 - GAGGIANO RL9.....	177
2.3 - MILANO C.NA TRIULZA RL10.....	177
2.4 - MILANO PARCO NORD RL11	177
2.5 - SINTESI DEI RISULTATI	180
3. - ANALISI PALINOLOGICHE	181
3.1 - PESCHIERA BORROMEO RL8.....	185
3.1.1. - <i>Spettri pollinici</i>	186
3.1.2. - <i>Interpretazione palinostratigrafica, paleoclimatica e paleoambientale</i>	189
3.2 - Gaggiano RL9	189
3.2.1. - <i>Spettri pollinici e interpretazione palinostratigrafica, paleoclimatica e paleoambientale</i>	190
3.3 - MILANO C.NA TRIULZA RL10.....	192
3.4 - MILANO PARCO NORD RL11	192
3.4.1. - <i>Spettri pollinici</i>	193

3.4.2. - <i>Interpretazione palinostratigrafica, paleoclimatica e paleoambientale</i>	195
4. - ANALISI PETROGRAFICHE	195
4.1 - ANALISI DELLE GHIAIE	195
4.2 - ANALISI DELLE SABBIE	198
4.2.1. - <i>Metodologia di campionamento e analisi</i>	199
4.2.2. - <i>Risultati</i>	201
4.2.2.1. - Peschiera Borromeo RL8	201
4.2.2.2. - Gaggiano RL9	202
4.2.2.3. - Milano C.na Triulza RL10	202
4.2.2.4. - Milano Parco Nord RL11	202
5. - INDAGINI SISMICHE IN FORO	209
XII. APPENDICE 3 - ANALISI GEOSTATISTICHE DEI DATI IDROGEOLOGICI	213
1. - DISTRIBUZIONE DEI DATI	214
2. - COSTRUZIONE DELL'ESTIMATORE	214
3. - DEDUZIONI CIRCA LA STRUTTURA SPAZIALE DELLA VARIABILE "BASE DEL I ACQUIFERO"	220
XIII. APPENDICE 4 -ACQUISIZIONE DI UNA LINEA SISMICA AD ALTA RISOLUZIONE NELL'AREA URBANA DI MILANO: L'ESPERIMENTO IN BOSCO IN CITTÀ	225
XIV. ENGLISH LEGEND	233
BIBLIOGRAFIA	233

I. INTRODUZIONE

Il Foglio 118-Milano ricade nella porzione centro-settentrionale della Pianura Padana ed è compreso quasi totalmente nella Provincia di Milano, ad eccezione di due limitati settori a N e a NO, che ricadono rispettivamente nelle Provincie di Monza-Brianza e di Varese. L'area si estende a S fino al limite meridionale del Comune di Milano, ad O fino al Comune di Rho, a N fino al Comune di Monza ed a E fino al Comune di Peschiera Borromeo.

Il foglio è stato realizzato nell'ambito del Progetto CARG, Legge 226/1999, con convenzione tra Servizio Geologico Nazionale e Regione Lombardia.

Il Coordinatore Scientifico del foglio è il Prof. Vincenzo Francani, Ordinario di Geologia Applicata presso il Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie e Rilevamento (DIIAR).

La Direzione del rilevamento è stata curata da Andrea Piccin, Regione Lombardia – Direzione Generale Territorio, Urbanistica e Difesa del suolo e da Fabrizio Berra, Regione Lombardia e poi Ricercatore presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Milano.

Il Rilevamento è stato effettuato da Daniele Battaglia (depositi e modificazioni antropiche e geologia e geotecnica del primo sottosuolo), Ivo Rigamonti (depositi superficiali quaternari), Silvia Rosselli (geologia del

sottosuolo), consulenti di Regione Lombardia, e da Paola Gattinoni, ricercatrice presso il Politecnico di Milano – DIIAR (aspetti idrogeologici).

Per il rilevamento dei depositi quaternari dell'area Lambro è stata inoltre consultata la tesi inedita di MARAZZO (Università degli Studi di Milano A.A. 2002-2003).

I criteri del rilevamento hanno seguito le linee guida nazionali (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992) adattandosi alle necessità e opportunità poste dai problemi geologici incontrati. Il rilevamento è stato eseguito tra gli anni 2000 e 2005 utilizzando la Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia alla scala 1:10.000.

I depositi continentali neogenico-quaternari sono stati caratterizzati dal punto di vista sedimentologico, stratigrafico, petrografico e dell'alterazione.

Nella cartografia dei depositi continentali neogenico-quaternari sono state adottate sia unità a limiti inconformi (UBSU), sia unità litostratigrafiche, come prescritto in SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1992, e successive circolari integrative):

a) UBSU: sono state usate tutte le volte che i corpi geologici presentavano superfici limite ben definite, riconoscibili e tracciabili, con caratteristiche interne non determinanti al fine della definizione dell'unità. Dato l'alto numero di superfici di erosione presenti nei depositi del Quaternario continentale, è necessario che la superficie limite del corpo corrisponda al limite di un ciclo sedimentario e abbia delle caratteristiche tali da distinguerla da tutte le altre. Ad esempio, la presenza di un suolo intero o troncato, ossia di un determinato tipo di alterazione che sia però oggettivamente identificabile sul terreno (profondità del fronte di decarbonatazione, percentuale di clasti alterati a seconda della petrografia, colore della matrice, copertura di *loess*, contenuto in argilla della matrice, orizzonti calcici ...).

Si ritiene opportuno precisare, tuttavia, che le UBSU non corrispondono in pieno alle caratteristiche delle unità del Quaternario continentale. Infatti, le discontinuità che delimitano superiormente e inferiormente tali unità:

- 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.

Si sottolinea che i corpi geologici così cartografati rispondono comunque alle stesse 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.

b) unità litostratigrafiche: sono state utilizzate quando non sono identificabili superfici limite caratteristiche, ma i corpi geologici sono riconoscibili per le caratteristiche interne, quali ad esempio la cementazione, la completa alterazione del corpo geologico o la composizione petrografica dei clasti che lo costituiscono.

Nel testo, facendo riferimento alla tipologia delle unità sopra citate, si useranno alcuni termini di cui è opportuno spiegare il significato:

- indistinto/a: unità (di qualsiasi rango) non suddivisa in sottounità rispetto al tempo o ai rapporti stratigrafici (es. supersintema non suddiviso in sintemi);

- indifferenziato/a: unità (di qualsiasi rango) non suddivisa al suo interno sulla base delle facies in essa presenti.

Per quanto riguarda la litologia superficiale, nella rappresentazione cartografica l'utilizzo delle tre categorie litologiche "ghiaie prevalenti, sabbie prevalenti e fini prevalenti", ha determinato una certa semplificazione, che può non essere del tutto rispondente alla reale complessità di terreno.

L'*Executive Committee* della IUGS (*International Union of Geological Sciences*) ha recentemente spostato la base del Sistema/Periodo Quaternario alla base del Piano/Età Gelasiano (GIBBARD *et alii*, 2010). Di conseguenza, su richiesta del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA, la classificazione del Quaternario è stata adattata alla nuova scala cronostatigrafica attualmente in vigore.

La stesura delle Note è stata curata dagli Autori seguenti:

Introduzione (Cap. I): D. BATTAGLIA, A. PICCIN;

Studi precedenti (Cap. II): V. FRANCANI, P. GATTINONI, A. PICCIN, I. RIGAMONTI;

Inquadramento geografico, geomorfologico e geologico (Cap. III): V. FRANCANI, P. GATTINONI, I. RIGAMONTI, S. ROSSELLI, M. CREDALI;

Dati e metodi di studio (Cap. IV): D. BATTAGLIA, P. GATTINONI, I. RIGAMONTI e S. ROSSELLI;

Stratigrafia (Cap. V): F. BERRA, A. PICCIN, I. RIGAMONTI, S. ROSSELLI;

Aspetti di modificazione antropica (Cap. VI): D. BATTAGLIA e A. CERESA MORI (Ricerche e dati archeologici);

Elementi di geologia tecnica e applicata (Cap. VII): D. BATTAGLIA e S. ROSSI;

Aspetti idrogeologici (Cap. VIII): V. FRANCANI e P. GATTINONI;

Problematiche geologiche (CAP. IX): M. CREDALI, V. FRANCANI e P. GATTINONI (Idrauliche e idrogeologiche), A. ROVIDA (Sismicità);

Appendice I - Organizzazione della banca dati geologica di sottosuolo: D. BATTAGLIA;

Appendice II - Sondaggi geognostici: Stratigrafia dei sondaggi (S. ROSSELLI, D. SCIUNNACH, F. BERRA); Analisi magnetostratigrafiche (G. SCARDIA & G. MUTTONI); Analisi palinologiche (M. DONEGANA & C. RAVAZZI); Analisi petrografiche (D. SCIUNNACH, S. ROSSELLI; E. GARZANTI, G. VEZZOLI & V. SCAZZOSI);

Appendice III - Analisi geostatistiche dei dati idrogeologici: P. GATTINONI;

Appendice IV - Nota sull'acquisizione di una linea sismica ad alta risoluzione nell'area urbana di Milano: l'esperimento in Bosco in Città (R. DE FRANCO, G. CAIELLI, G. BIELLA, F. BERRA).

Le caratteristiche del Foglio 118-Milano, costituito da un territorio pianeggiante intensamente urbanizzato, ha reso necessaria la ricerca sistematica presso archivi pubblici e privati di tutte le informazioni che potessero risultare utili per la ricostruzione geologica, geomorfologica ed idrogeologica del suolo e sottosuolo. A questo proposito è stato realizzato uno specifico Protocollo di Intesa tra le principali amministrazioni pubbliche (Regione Lombardia, Provincia di Milano e Comune di Milano) per lo scambio e la condivisione delle informazioni. L'acquisizione di dati ha coinvolto inoltre altri Enti Pubblici e Società di diritto privato quali: Soprintendenza ai Beni Archeologici della Lombardia, Metropolitana Milanese, Ferrovie dello Stato, varie Amministrazioni Comunali, nonché alcuni studi professionali e società di perforazione. L'elenco di quanti hanno fornito dati utili per la realizzazione del foglio è riportato in Appendice 1.

II. STUDI PRECEDENTI

L'ingente produzione scientifica che ha riguardato il territorio compreso nel Foglio 118-Milano è contraddistinta da alcuni lavori particolarmente significativi, che hanno cambiato radicalmente il modo di interpretare la struttura geologica dell'area.

La trattazione seguente è suddivisa in paragrafi che descrivono le conoscenze geologiche relative all'area di interesse in diversi periodi storici: dapprima vengono illustrate le conoscenze risalenti al XIX secolo, fino allo studio di PENCK & BRÜCKNER (1909), quindi le conoscenze sviluppate nel corso del XX secolo, fino all'inizio degli anni '80, e infine le ricerche più recenti degli ultimi decenni, a partire dallo studio di BINI (1987).

In conclusione al presente capitolo vengono inoltre introdotti alcuni riferimenti storici inerenti gli aspetti idrogeologici approfonditi nella Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano.

1. - LE CONOSCENZE GEOLOGICHE

Fra i primi Autori che si sono occupati del territorio compreso nell'area del Foglio 118-Milano va ricordato innanzitutto BREISLACK (1822), che per la prima volta descrive con un certo dettaglio i terreni costituenti l'area in esame. In particolare, l'Autore parla del ferretto, del ceppo, della distribuzione delle ghiaie, delle sabbie e delle argille, cercando anche di

ricostruire la struttura del sottosuolo e di interpretare la circolazione delle acque sotterranee.

È in questo periodo storico che si distinguono i depositi glaciali rispetto a quelli periglaciali e alle alluvioni, discutendo circa le cause e la dinamica delle glaciazioni, nonché sull'origine dei laghi prealpini. DE MORTILLET (1861) pone fine alla disputa sulla teoria glaciale, introducendo l'ipotesi che il ghiacciaio dell'Adda formasse un vasto semicerchio esteso da Mendrisio a Lecco fino a N del Parco di Monza; l'Autore distingue, inoltre, le alluvioni antiche (posteriori e conseguenza del sollevamento delle Alpi), i depositi glaciali e le alluvioni recenti. Qualche anno dopo, STOPPANI (1874) introduce l'idea, in seguito rivelatasi priva di fondamento, della contemporaneità delle espansioni glaciali col mare pliocenico che occupava la valle padana.

I primi profili stratigrafici ottenuti dalla perforazione di due pozzi a Milano e Monza compaiono ad opera di CURIONI (1877), mentre SACCO (1893) rappresenta per la prima volta il territorio milanese su una carta geologica (in scala 1:100.000), descrivendone con dettaglio la stratigrafia e affrontando, per la prima volta in maniera sistematica, la descrizione delle varie unità: Villafranchiano, che comprende il Ceppo, e Quaternario diviso in Sahariano, che comprende il Diluvium (incluso il ferretto) e il Morenico, e Terraziano. Nell'ambito del rilevamento per la redazione della Carta Geologica d'Italia, STELLA (1895) compie un primo tentativo di suddividere tutti i terreni Quaternari della Valle del Po, riconoscendo l'Alluvium (Quaternario recente), che comprende il Diluvium recente, il Morenico e i conglomerati diluviali recenti, e il Diluvium (Quaternario antico), che comprende il Diluvium antico e i conglomerati diluviali antichi. TARAMELLI (1903) sintetizza le conoscenze dell'epoca sulla geologia milanese, sposando i concetti di STELLA. Tale classificazione verrà successivamente ripresa anche per la redazione dei primi fogli della Carta Geologica d'Italia negli anni '30.

All'inizio del XX secolo PENCK & BRÜCKNER (1909) formulano una teoria di correlazione delle glaciazioni valida in tutto l'arco alpino, universalmente accettata e utilizzata fin quasi ai giorni nostri. Gli Autori riconoscono quattro glaciazioni denominate, dalla più recente alla più antica: Würm, Riss, Mindel e Gunz, separate da tre periodi interglaciali denominati a loro volta: Riss-Würm, Mindel-Riss e Gunz-Mindel. Tale modello diviene il 'paradigma' della geologia quaternaria e nei decenni successivi gli sforzi dei geologi sono volti all'inquadramento dei depositi quaternari nel contesto stratigrafico proposto dagli autori tedeschi.

Successivamente, NANGERONI (1940) riconosce i depositi corrispondenti a queste quattro glaciazioni, distinguendo:

- I glaciazione (Gunz): morenico fangoso sotto il ceppo;

- I interglaciale (Gunz-Mindel): ceppo,
- II glaciazione (Mindel): ferretto,
- II interglaciale (Mindel-Riss): terrazzi del Diluvium medium,
- III glaciazione (Riss): cerchie moreniche più esterne,
- III interglaciale (Riss-Würm),
- IV glaciazione (Würm).

Tale quadro stratigrafico viene poi ripreso e completato da RIVA (1957) che, nella Carta Geologica degli anfiteratri morenici a S del Lario e delle pianure diluviali tra Adda e Olona (in scala 1:50.000), distingue morene del Mindel, del Riss e del Würm, alle quali raccorda rispettivamente le alluvioni del Diluvium antico (ferretto), del Diluvium medio e del Diluvium recente.

Questo è lo schema di classificazione al quale fanno riferimento anche le note illustrative alla Carta Geologica d'Italia (in scala 1:100.000), redatte nel 1969 da COMIZZOLI *et alii*, che identificano la seguente successione delle unità stratigrafiche (dalle più antiche alle più recenti): Ceppo, Morene del Mindel (ferretto), fluvioglaciale mindeliano, Morene del Riss, fluvioglaciale rissiano (Diluvium medio), Morene del Würm, fluvioglaciale rissiano II - würmiano (Diluvium recente), fluvioglaciale würmiano (Diluvium tardivo), alluvioni antiche (Alluvium antico), alluvioni recenti e attuali (Alluvium recente e attuale). In sostanza, nell'ambito di questa ricostruzione, il Foglio 118-Milano è interessato dalle terminazioni meridionali dei lembi di depositi alluvionali del Pleistocene medio-inferiore, fortemente pedogenizzati ("Mindel" e "Riss" con suolo a "Ferretto" *Auct.*) di Garbagnate (Parco delle Groane, settore nord-occidentale del foglio) e di Monza (settore nord-orientale) e, per la maggior parte, dai depositi alluvionali del Pleistocene superiore ("Würm" *Auct.*), localmente incisi dagli alvei olocenici dei principali corsi d'acqua.

Per quanto riguarda invece la geologia di sottosuolo, nell'area esaminata si rinvencono unità riferibili al substrato litoide, diagenizzato e tettonizzato, i cui termini più recenti risalgono all'Oligocene, su cui poggiano varie unità sia marine che continentali, la cui età va dal Pliocene all'Olocene. Gran parte di queste unità immergono verso S, delineando una struttura geologica profonda, nota in particolare attraverso le esplorazioni per la ricerca di idrocarburi (PIERI & GROPPi, 1981; CASSANO *et alii*, 1986).

Dopo la forte fase erosiva del Miocene, l'evoluzione plio-quadernaria della Pianura Padana, all'interno della quale si inserisce l'area in esame, può essere così sintetizzata (FINCKH *et alii*, 1984):

a) **Fase di ritiro del mare e di sedimentazione** dei depositi transizionali e continentali fluviolacustri, deltizi e di pianura costiera (Pliocene superiore – Pleistocene inferiore).

b) **Fase glaciale pleistocenica** che comprende le principali fasi glaciali, note in letteratura con i nomi di Gunz, Mindel, Riss e Würm.

c) **Fase postglaciale olocenica**, di sedimentazione prevalentemente alluvionale.

Di seguito vengono descritte le varie unità presenti nel sottosuolo della Pianura Padana in base alle loro caratteristiche geologiche, secondo la tradizionale descrizione adottata nella letteratura geologica fino all'inizio degli anni '80 (BRAGA & RAGNI, 1969; COMIZZOLI *et alii*, 1969; OROMBELLI, 1979) (Fig. 1, tratta da FRANCANI, 1997).

Substrato roccioso indifferenziato

Il substrato, che comprende varie formazioni sedimentarie e cristalline con età dal Paleozoico al Terziario, risulta coperto dai terreni quaternari più recenti ed è stato trovato a profondità ridotte (40-60m) solo nella parte settentrionale dell'area, mentre spostandosi verso S si approfondisce notevolmente, tanto da non essere più intercettato nelle perforazioni.

Villafranchiano

Con tale termine si comprendono varie unità, non sempre ben distinte o con concordanza di attribuzione da parte degli studiosi che le hanno descritte e studiate.

Spesso denominato "Unità Villafranchiana", è costituito da una da una potente successione, che va inspessendosi verso S, con una porzione basale formata prevalentemente da argille e limi di color grigio-azzurro e da una parte sommitale costituita da sedimenti argillosi e limosi di colore grigio-giallo, contenenti lenti sabbiose.

In corrispondenza di Milano essa ha uno spessore di varie centinaia di metri. Gli affioramenti più importanti si rinvencono lungo i solchi vallivi scavati dai fiumi Adda e Ticino.

Tale unità è rappresentativa di un ambiente di deposizione transizionale (deltizio-lagunare) e, talora, anche continentale (lacustre intramorenico). La porzione basale, ricca in fossili marini, viene attribuita al Pleistocene inferiore (Calabriano). Litologicamente si tratta di argille varvate, argille e sabbie fossilifere nonché sabbie con laminazioni oblique, che rappresenterebbero l'unghia più settentrionale di depositi marini nella valle dell'Olona, depositi lacustri nel settore nord-orientale, ed in alcuni casi orizzonti argillosi nell'ambito del Ceppo.

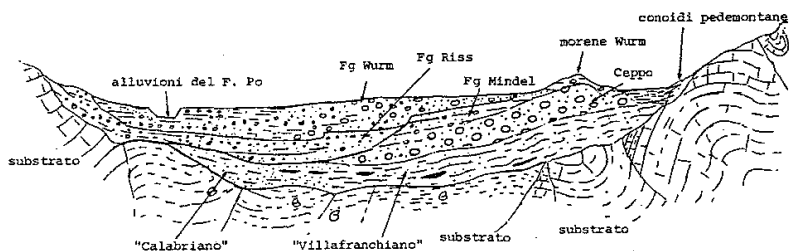


Fig. 1 - Schema geologico delle principali unità che costituiscono la Pianura Padana, secondo l'interpretazione tradizionale (FRANCANI, 1997).

Ceppo

Con tale termine si intendono i conglomerati che si ritrovano lungo le incisioni dei principali fiumi ed in numerosi pozzi della pianura che tuttavia non hanno origine o età univoche. Litologicamente tale unità è costituita da conglomerati ed arenarie da poco a molto cementati, sovente in lenti passanti a ghiaie e sabbie.

Depositi glaciali

In questo raggruppamento sono comprese tutte le unità che costituiscono gli apparati morenici della Pianura lombarda settentrionale.

Litologicamente sono depositi estremamente eterogenei, in cui si rinvencono elementi dalle dimensioni dei blocchi fino a quelli delle argille. La matrice limosa è abbondante, per cui la loro permeabilità è bassa, salvo locali variazioni. Vi è anche un'ulteriore copertura di materiale loessico, che determina una bassa infiltrazione da parte delle acque superficiali.

Depositi terrazzati con "ferretto"

Questa unità comprende i depositi fluvio-glaciali ed alluvionali che costituiscono i ripiani altimetricamente più elevati dell'alta pianura. Essi si raccordano con le cerchie moreniche a monte e con il livello fondamentale della pianura tramite dei terrazzi, oppure gradualmente lungo un piano leggermente inclinato. Litologicamente sono costituiti da elementi arrotondati con diametro variabile, mediamente inferiore ai 10 cm, in matrice sabbioso argillosa. Sono alterati dai processi pedogenetici (suolo a "ferretto") e hanno spessore variabile da pochi metri a diverse decine di metri, con una tipica colorazione rossastra.

Si ritiene che tali depositi, quando non siano stati erosi, immergano a S sotto il livello fondamentale della pianura e che, gradualmente, passino a ghiaie e sabbie e, nella zona più meridionale, a granulometrie ancora più fini (sabbie ed argille).

Alluvioni attuali e recenti

Questi depositi si rinvenivano negli attuali alvei dei fiumi che formano la rete idrografica dell'area lombarda. I più estesi sono quelli dei fiumi Adda e Ticino e subordinati quelli dei fiumi Olona e Lambro. Essi sono costituiti da ghiaie prevalenti nel settore settentrionale, che passano a termini più fini verso S.

Dal Pleistocene superiore all'Olocene si è avuto il lento innalzamento dell'alta pianura, testimoniato dall'affioramento in superficie dei sedimenti più antichi, innalzamento che è poi continuato anche in tempi più recenti (ARCA & BERETTA, 1985). Tale innalzamento è stato più consistente nel settore nord-orientale, dove ha portato alla formazione di vere e proprie dorsali, mentre nel settore occidentale si è avuto un maggiore accumulo di depositi recenti.

La caratterizzazione geologica precedentemente descritta deriva dalla suddivisione, tradizionalmente utilizzata fino ai primi anni '80, basata su criteri litostratigrafici, morfologici e geoclimatici; tale suddivisione è stata poi sottoposta ad una profonda revisione che ha portato a rielaborare la classificazione stratigrafico-temporale, definendo nuove unità basate sull'identificazione dei loro limiti inconformi (UBSU).

Ad affrontare il problema del rilevamento del Quaternario da un punto di vista differente, abbandonando il modello delle quattro glaciazioni di PENCK & BRÜCKNER, è BINI nel 1987. Per la prima volta viene effettuato un rilevamento di dettaglio nell'anfiteatro glaciale Lariano a S di Como, suddividendo i corpi sedimentari in "complessi glaciali" riconosciuti per le caratteristiche dei profili di alterazione, presenza di *loess*, cementazione e morfologia. Ai "complessi glaciali" vengono in seguito sostituite le Alloformazioni e risulta sempre più evidente l'impossibilità di correlare direttamente depositi appartenenti a differenti anfiteatri. Le espansioni glaciali riconosciute passano dalle quattro del modello classico a tredici.

1.1 - CONOSCENZE SUL SOTTOSUOLO

Le conoscenze geologiche sul sottosuolo del Foglio 118-Milano prendono l'avvio dall'analisi integrata dei pozzi per acqua più profondi, perforati nella prima metà del secolo scorso e pubblicati nel 1957 (NORDIO, 1957). In questo lavoro vengono individuate le prime ripartizioni litologiche, se non ancora stratigrafiche, dei depositi continentali quaternari, fino a profondità massime di circa 300 m.

Solo all'inizio degli anni '80, con la pubblicazione delle prime sintesi sulle conoscenze nel frattempo acquisite da ENI-Agip con l'esplorazione petrolifera della Pianura Padana (PIERI & GROPPi, 1981 e CASSANO *et alii*,

1986), viene delineato l'assetto strutturale e stratigrafico del sottosuolo profondo.

All'inizio degli anni 2000, l'applicazione del metodo di studio "petrolifero" ai depositi quaternari della Pianura Padana (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI AGIP, 1998 e REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002), unita alla perforazione di diversi sondaggi profondi a carotaggio continuo nell'ambito del Progetto CARG, corredati da un'approfondita serie di analisi multidisciplinari, ha permesso di meglio dettagliare la porzione Pleistocenica del sottosuolo, individuando e mappando a scala di bacino alcune superfici di *unconformity* di importanza regionale, fondamentali per correlare le unità geologiche sepolte con criterio stratigrafico. Sulla base di queste nuove conoscenze, si è sviluppata una serie di studi di approfondimento, tra cui si ricordano in particolare: MUTTONI *et alii*, 2003, che applicando la magnetostratigrafia alle carote dei sondaggi CARG di Regione Lombardia ha vincolato stratigraficamente la principale *unconformity* del Pleistocene medio ("R" *surface*); SCARDIA *et alii*, 2006 e 2012, che hanno ricostruito i tassi di sedimentazione e delineato i processi deposizionali ed erosivi in risposta ai principali cicli glacio-eustatici e al sollevamento della catena alpina; GARZANTI *et alii*, 2011 che, sulla base dell'analisi petrografica delle stesse carote di sondaggio, ha analizzato le variazioni di provenienza dei sedimenti, correlandole con l'evoluzione del bacino.

In parallelo, una nuova serie di studi a scala regionale pubblicati nell'ultimo decennio dai geologi di ENI, ha permesso di aggiornare e meglio dettagliare le conoscenze dell'intervallo stratigrafico Miocene-Calabriano nonché dell'assetto strutturale del sottosuolo della Pianura Padana (MINERVINI *et alii*, 2008, FANTONI & FRANCIOSI, 2010, GHIELMI *et alii*, 2010 e 2012).

Infine, il Progetto Europeo GeoMol (ISPRA, 2015), realizzato congiuntamente da ISPRA, Regione Emilia-Romagna e Regione Lombardia, in collaborazione con ENI, ha permesso di armonizzare le conoscenze disponibili e ricostruire in 3D l'architettura del sottosuolo di un settore della Pianura Padana centrale (tra Lombardia orientale, Veneto occidentale ed Emilia) a partire dai carbonati mesozoici fino all'Olocene. Anche se questo modello non riguarda strettamente l'area del Foglio 118-Milano, esso ha creato le condizioni per una integrazione delle unità stratigrafiche del sottosuolo in Pianura Padana, tra Alpi e Appennino (cfr. Cap. V.1).

2. - STUDI PEDOLOGICI

Il contributo della pedologia risulta fondamentale per la conoscenza dei depositi quaternari. A partire dagli anni 1970, gli studi della pedologia francese BILLARD costituiscono la prima critica al modello stratigrafico quadripartito del Quaternario continentale (PENCK & BRÜCKNER, 1909).

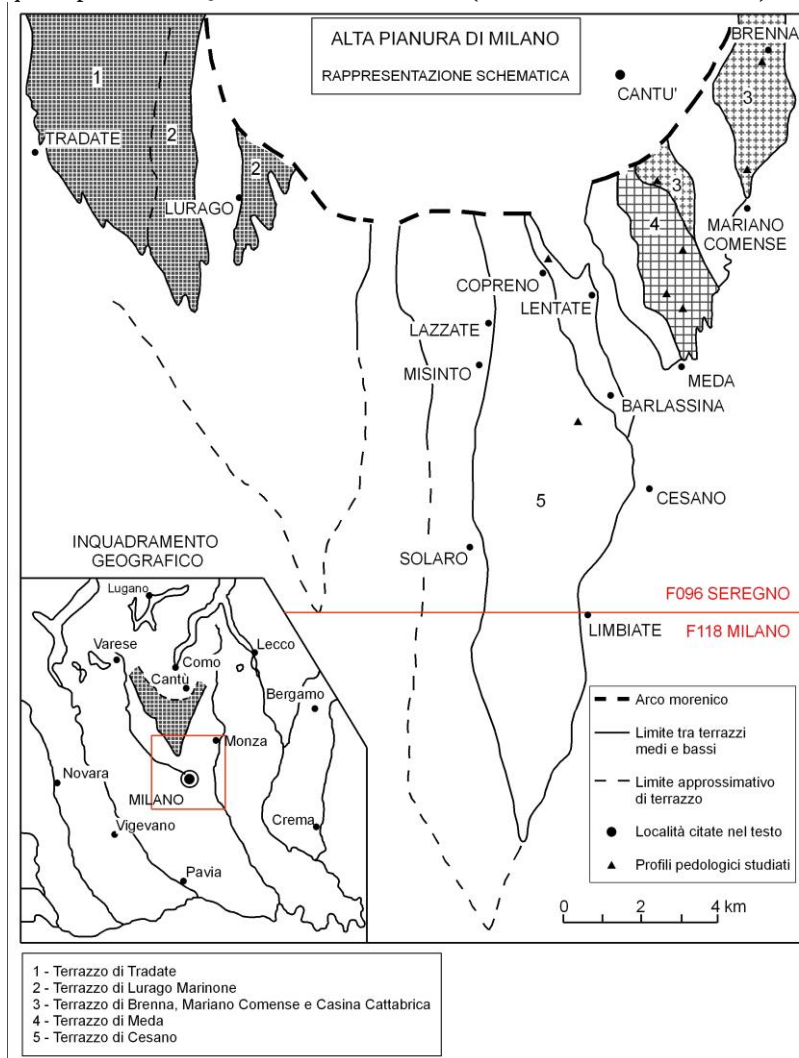


Fig. 2 – Terrazzi nell'Alta Pianura Milanese (ridisegnata da BILLARD, 1973). La linea orizzontale rappresenta il limite settentrionale del Foglio 118-Milano.

In un lungo articolo (BILLARD, 1973), l'autrice si occupa dell'Alta Pianura Milanese che, nell'interpretazione tradizionale, è suddivisa in tre unità topografiche legate a tre diverse glaciazioni: le alluvioni di fondovalle, che derivano a monte dagli archi morenici più interni, sono attribuite al Würm (o al Riss, da VENZO), i terrazzi intermedi al Riss e quelli superiori al Mindel. Le alluvioni mindeliane, decarbonatate e potentemente alterate in un suolo rosso (Ferretto *Auct.*), giacerebbero sulle alluvioni villafranchiane (tardo Pliocene), consolidate in uno spesso conglomerato a cemento calcareo (Ceppo).

L'autrice, analizzando dettagliatamente la topografia, distingue invece i terrazzi di (Fig. 2): Tradate, suddiviso in due livelli (Tradate s.s. (1) e Lurago Marinone (2)); Mariano Comense (3), ulteriormente suddivisibile nei livelli di C.na Cattabrica e Brenna-Mariano comense; Meda (4); Cesano (5), tutti assegnati al Mindel *Auct.*; Lentate e Lazzate, tradizionalmente assegnati al Riss.

Comparando i profili pedologici sommitali, di cui fornisce una lunga descrizione, e considerando come interglaciali tutti i suoli con evoluzione uguale o superiore a quella dei suoli del Post-Würm, BILLARD (1973) giunge alla conclusione che cinque periodi verosimilmente interglaciali - separati da periodi freddi d'erosione dei suoli e deposizione di sedimenti eolici - si sono succeduti dopo la messa in posto delle alluvioni di Cesano, a cui sono da aggiungere altri tre interglaciali per la formazione dei suoli sulle alluvioni di: a) Meda, b) Brenna, Mariano Comense e C.na Cattabrica, c) Lurago Marinone; inoltre le alluvioni del terrazzo di Tradate potrebbero essere ancora più antiche. Sottolinea l'esistenza di uno *hiatus* importante tra il più recente degli alti terrazzi (Cesano; profilo pedologico in Fig. 3) ed i terrazzi intermedi. Infatti la deposizione delle ghiaie non è separata da una, ma da ben tre periodi di pedogenesi, durante i quali si sono successivamente formati i suoli su alluvioni di Cesano ed i suoli IV e III sui limi di Cesano e Meda.

Dal punto di vista più strettamente pedogenetico, riconosce la presenza sistematica di orizzonti A sbiancati, sovrapposti ad orizzonti B o BC di suoli lisciviati, organizzati in cicli (IA/IB; IIA/IIB; IIIA/IIIB), il cui numero decresce dal terrazzo più antico al più recente; i suoli B negli orizzonti III hanno, inoltre, un carattere di *fragipan*.

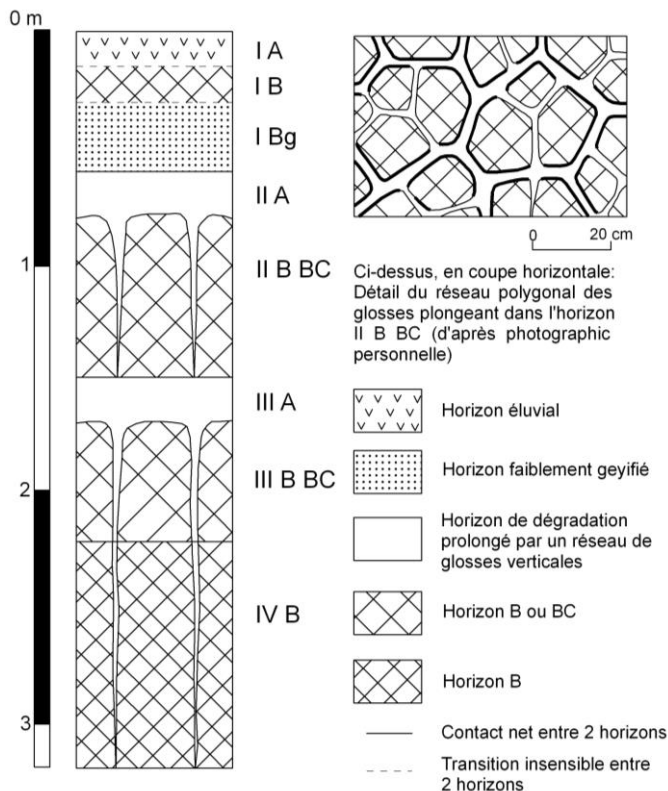


Fig. 3 - Profilo pedologico di Cesano: i limi dell'orizzonte IV B contengono ciottoli e sono interpretati come depositi d'esondazione fluviale (ridisegnato da BILLARD, 1973).

I caratteri glossici dei suoli A sono interpretati come prodotto della pedogenesi di clima freddo, mentre gli orizzonti lisciviati B sono attribuiti ai periodi caldi interglaciali. La coppia A/B rappresenterebbe pertanto un ciclo climatico completo, con alternanze di:

- clima freddo (deposizione di depositi eolici)
- clima temperato (caldo) con formazione di un suolo lisciviato
- clima freddo con troncatura di parte del suolo interglaciale, sviluppo, per degradazione, di un orizzonte glossico alla sommità degli orizzonti residuali e fossilizzazione ad opera di nuovi depositi eolici.

Alla luce delle osservazioni sui suoli alluvionali, distingue tra un Mindel s.s. (*antepenultima* glaciazione come definita nell'avampaese bavarese delle Alpi) ed un Mindel s.l., inteso non come glaciazione unica ma come un periodo più lungo, compreso tra il Villafranchiano ed il Riss,

che raggruppa più glaciazioni separate da interglaciali significativi. In questo quadro, il Ferretto non daterebbe l'interglaciale Mindel-Riss, come assunto nella stratigrafia tradizionale, ma si sarebbe formato in più riprese, nel corso di differenti periodi interglaciali.

Secondo BILLARD, inoltre, durante il Mindel s.l. la pedogenesi ha assunto progressivamente caratteri più attenuati, che riflettono il succedersi di interglaciali più freschi e di minor durata. Nell'interglaciale Mindel-Riss, i suoli hanno ormai caratteri intermedi tra quelli del Mindel Antico ed i suoli brunificati del Quaternario recente.

Questo studio costituisce la base per numerosi altri lavori pubblicati successivamente (tra i quali si ricordano: BILLARD & FEDEROFF, 1977 e BILLARD, 1980) in cui dati e concetti vengono continuamente ripresi ed elaborati. Gli sforzi sono rivolti alla comparazione con profili di altri settori alpini, in particolare con quelli dell'alta pianura torinese, dove BILLARD riconosce terrazzi ancora più antichi di quelli dell'area milanese, nel tentativo di definire un'unica stratigrafia per il Quaternario del pedemonte alpino e di correlarla con gli stadi isotopici definiti nei sedimenti oceanici.

L'ultimo lavoro (BILLARD, 1995), dalla quale è tratta la tabella 1, rappresenta la sintesi finale di tutti i suoi studi: in essa, i terrazzi di Barlassina e Copreno (coincidenti rispettivamente con quelli di Cesano e Lazzate della pubblicazione del 1973) vengono attribuiti a GL3 (stadio isotopico 8) e GL2 (stadio isotopico 6).

Tab. 1 - Schema riassuntivo dei rapporti tra i terrazzi dell'alta pianura milanese con altre località pedevalpine (da BILLARD, 1995).

ITALIA			FRANCIA	GERMANIA
MILANO	TORINO	BIELLA	BIÈVRE-VALLOIRE	SOUABE
1. Camnago				
2. Copreno				Achstetten
3. Barlassina		Biella	Côte S. André	Eichelsteig
4. Meda				
5. Mariano	Robassomero			
6. Lurago				
7. Tradate			Tourdau	

Un ulteriore dettagliato studio sull'evoluzione pedogenetica, basato su descrizioni di profili ed analisi micromorfologiche, mineralogiche e chimiche dei suoli della piana centrale del Po, che interessa anche aree al margine del Foglio 118-Milano, è pubblicato da CREMASCHI (1987). Tra i numerosi profili esaminati, si trovano quelli di Ronco Briantino e Copreno, entrambi localizzati nel vicino 097-Vimercate, in corrispondenza

del terrazzo del “Diluvium Medio” (terrazzo di Vedano al Lambro) (Fig. 4).

La parte superiore dei profili è costituita da un *loess* friabile, colluviato, che giace su una evidente superficie erosionale, incisa in ghiaie fluvioglaciali. Il suolo sviluppato nei *loess* è costituito dagli orizzonti Ap e B1; nelle ghiaie si identificano orizzonti argillici ben espressi (II B2t, II B31t e II B32t). Nella sezione di Novedrate (anch'essa esterna al Foglio 118-Milano) si può osservare il contatto tra le parti profonde del suolo e le ghiaie cementate sottostanti: il limite, posto ad una profondità di circa 8 m dal p.c., è abrupto e fortemente ondulato (limite ad *organi geologici*, per fronte di alterazione).

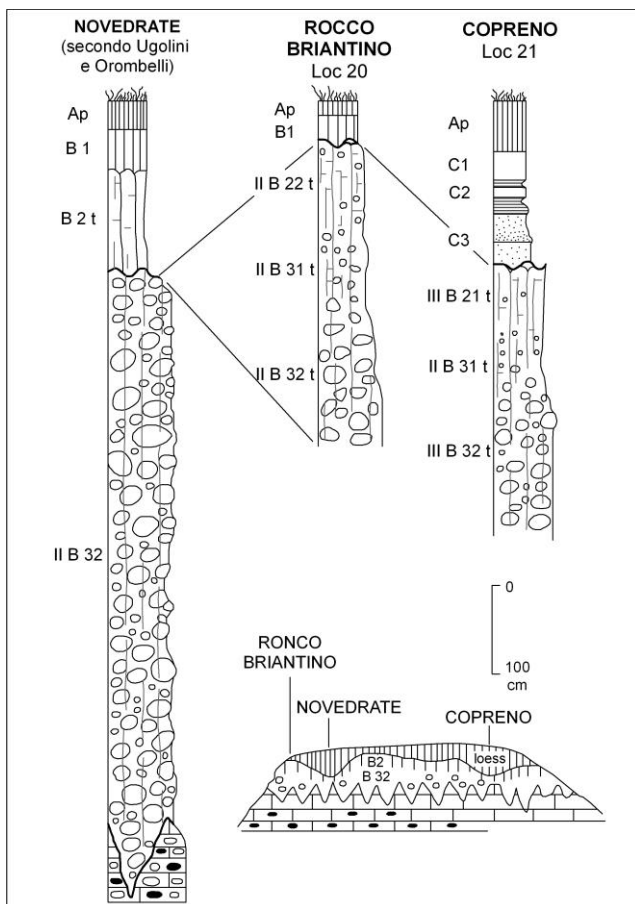


Fig. 4 - Sezione e profili del terrazzo del Diluvium Medio (la descrizione è riportata nel testo – ridisegnata da CREMASCHI, 1987).

La deposizione del *loess* è riferita all'ultima glaciazione (tardo Pleistocene), mentre le ghiaie sottostanti sono attribuite alla penultima fase glaciale (tardo Pleistocene medio).

Il suolo utilizzato come rappresentativo del livello fondamentale della pianura (Ifdp) è invece posto una decina di km a NE del limite orientale del Foglio 118-Milano (profilo di Robbiate dell'unità C2 'Main Level of the Plain Formation') e si sviluppa nelle ghiaie; il profilo è formato dagli orizzonti Ap, B31t, B32t a Ck, con un fronte di decarbonatazione che raggiunge profondità di circa 1,5 m. Le ghiaie vengono attribuite al tardo Pleistocene.

La stratigrafia che l'autore ricava non si discosta molto dal classico modello quadripartito: vengono infatti distinte cinque glaciazioni, la più antica delle quali (Pleistocene inferiore) è presente solo nel settore gardesano.

Per quanto riguarda l'evoluzione pedogenetica, CREMASCHI distingue due gruppi principali di paleosuoli: il primo, sviluppato durante il tardo Terziario ed il Pleistocene Inferiore, mostra caratteri intermedi tra suoli ferrallitici e ferruginosi (che riflettono un clima subtropicale); il secondo comprende suoli fersiallitici (di clima mediterraneo) sviluppati tra il tardo Pleistocene inferiore e l'Olocene medio (Atlantico). I suoli post-Atlantici hanno un limitato sviluppo del profilo e formano un gruppo separato. La sequenza dei suoli fersiallitici rappresenta una successione di stadi in una progressiva evoluzione pedogenetica (concetto di *Vetusuolo*), piuttosto che la somma di vari processi pedogenetici connessi a differenti pedoclimi, come sostenuto da BILLARD (suolo *policiclico*).

Nell'ambito dei suoli sviluppati su sequenze loessiche, che includono bisequenze litologiche e pedologiche, i caratteri glossici vengono ricondotti a processi di idromorfia causati dalla bassa permeabilità e quelli di *fragipan* a processi isohumici su superfici esposte durante le fasi interstadiali, poi sepolte da nuovi arrivi di *loess*. Viene così a perdere ogni significato paleoclimatico la coppia di orizzonti A/B, identificata da BILLARD.

I lavori più recenti che analizzano il territorio dal punto di vista pedologico, e che sono stati in parte utilizzati per la realizzazione della carta di superficie del foglio, sono prodotti da ERSAL (divenuta ERSAF nell'anno 2002) all'interno del Progetto "Carta Pedologica" della Regione Lombardia (ERSAL 1993, 1999a,b). I dati di questo progetto sono stati successivamente revisionati, raffittiti ed integrati nel Sistema Informativo

dei Suoli dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale (I.I.T.) di Regione Lombardia.

3. - CARTOGRAFIE TEMATICHE

Relativamente agli elementi geomorfologici si ricordano:

- lo strato informativo geomorfologico, in formato vettoriale, all'interno delle "Basi informative ambientali della Pianura" (in scala 1:25.000) realizzato da ERSAF per il Sistema Informativo dei Suoli dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale (I.I.T.) di Regione Lombardia;
- la cartografia del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Milano (in particolare Tavola 2 - Difesa del suolo) che riporta elementi morfologici ed ambiti di cava dell'area del foglio.
- la Carta Morfologica Regionale alla scala 1:50.000, redatta nel 1983 per conto di Regione Lombardia, che contiene un'accurata ricostruzione dell'andamento degli alvei abbandonati;
- la cartografia associata al Piano Cave dell'anno 2003 della Provincia di Milano.

4. - CENNI STORICI SULL'IDROGEOLOGIA DELLA ZONA

Gli Autori che si sono occupati della descrizione della struttura idrogeologica del sottosuolo milanese hanno utilizzato differenti approcci, facendo riferimento a criteri litologici (MARTINIS & MAZZARELLA, 1971), idrostratigrafici (FRANCANI & POZZI, 1981; REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002) o idrogeologici (AVANZINI *et alii*, 1995). Altri lavori di sintesi che merita ricordare sono BERETTA *et alii*, 1983 e CAVALLIN *et alii*, 1983.

Molte di queste descrizioni, essendo nate negli anni '70 e poi sviluppate nei decenni successivi, sono ancora fondate sulla visione classica della geologia della pianura milanese di PENCK & BRÜCKNER (1909) invece che sulla più recente interpretazione di BINI (1997). Riassumendo, si può dire che nel sottosuolo dell'area milanese sono state riconosciute ai fini idrogeologici tre litozone, che dall'alto al basso hanno caratteri granulometrici decrescenti (Fig. 5):

- Litozona ghiaioso-sabbiosa (nella quale si riconosce una subunità sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica): questa unità è caratterizzata dalla netta prevalenza di litotipi grossolani, con lenti argillose di limitato spessore ed estensione areale, ed è sede di un acquifero libero, che trae alimentazione per lo più dall'infiltrazione

superficiale delle acque meteoriche e irrigue. La subunità sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica, più antica, affiora nelle aree pedemontane e di alta pianura, dove forma i terrazzi morfologicamente più elevati; gli acquiferi in essa contenuti sono separati da quello sovrastante da diaframmi scarsamente permeabili costituiti da limi e argille, talora molto spessi e quasi sempre molto estesi, che limitano gli scambi tra i due livelli acquiferi e determinano la presenza di falde semi-confinare e localmente confinate. In linea generale, gli acquiferi più produttivi e di maggiore estensione areale si localizzano nella porzione sommitale e sono quelli attualmente sfruttati dalla maggior parte delle opere di captazione; l'insieme degli acquiferi contenuti in questa litozona viene identificato come Acquifero Tradizionale, anche se nella realtà questo complesso è formato da un sistema multifalda che viene assimilato ad un acquifero monostrato. Questa condizione strutturale assume un carattere ancor più marcato nelle aree di bassa pianura dove, in relazione all'affinamento della granulometria dei terreni, l'unità in esame è caratterizzata, già a partire dalla superficie, dalla prevalenza di livelli limoso-argillosi ai quali si alternano terreni più grossolani, che formano acquiferi con falde semi-confinare o confinate. Lo spessore medio della litozona varia da 90-100 m nel settore settentrionale ai 20-40 m nella zona meridionale.

- Litozona sabbioso-argillosa: formata in prevalenza da argille e limi di colore grigio e giallo, con frequenti alternanze nella colorazione, con intercalazioni di livelli di sabbie, talora ghiaiose, e con presenza di torbe. Costituisce generalmente il substrato della falda acquifera tradizionalmente sfruttata; nei livelli sabbiosi o, più raramente, sabbioso-ghiaiosi sono presenti falde confinate, che traggono la loro alimentazione dalle aree poste più a N e dallo scambio con gli acquiferi soprastanti, laddove i setti argillosi di separazione sono discontinui; lo spessore più rilevante di tale litozona si rinviene nell'area occidentale della Provincia di Milano con valori variabili tra 100 e 200 m, a fronte di valori compresi tra 0 e 160 m riscontrabili nei settori centrali e orientale.
- Litozona argillosa: formata prevalentemente da argille e limi di colore grigio-azzurro, con micro e macro fossili marini, ai quali sono subordinati livelli sabbiosi, talora cementati, generalmente di modesto spessore. Queste unità, che si rinvencono nei pozzi per acqua profondi oltre 220-280 m nella media pianura e 130 m

nell'alta pianura, vengono attribuite al Pleistocene inferiore (Calabriano).

Le principali variazioni litologiche sono contraddistinte dalla progressiva prevalenza di terreni limoso-argillosi, che si verifica non solo con l'aumento della profondità ma anche procedendo da N verso S.

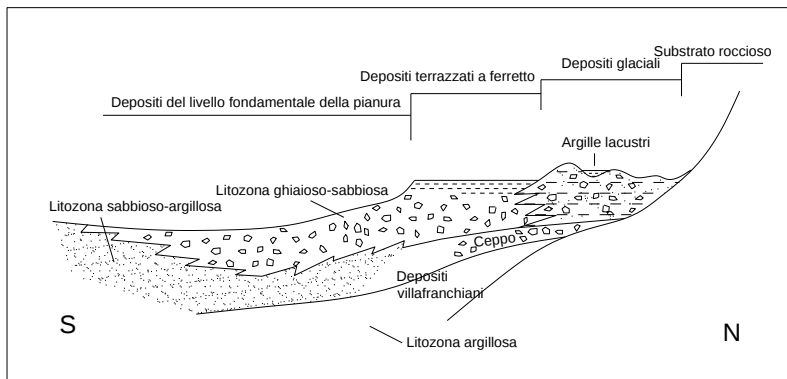


Fig. 5 - Schema delle principali unità idrogeologiche.

In sintesi, vengono generalmente distinti nell'ambito del territorio milanese tre complessi acquiferi principali (Fig. 6):

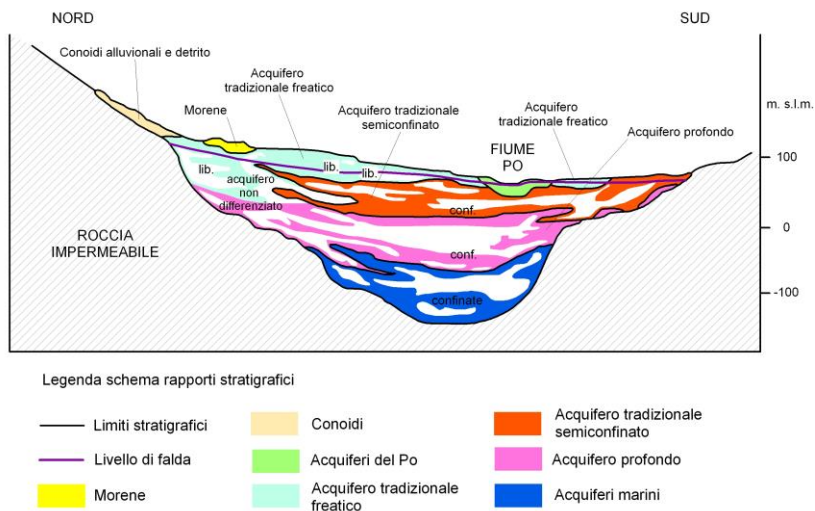


Fig. 6 - Schema geologico della Pianura Padana.

•**ACQUIFERO TRADIZIONALE**: all'interno di questo corpo acquifero viene comunemente distinto un acquifero freatico superficiale, presente fino ad una profondità di 40-45 m dal piano campagna, e uno semiconfinato sottostante (con una profondità variabile tra 80 e 120 m dal piano campagna), separato dal precedente tramite lenti poco permeabili (*aquitard*) di spessore variabile (da 5 a 20m) e spesso discontinue. Tale orizzonte semipermeabile può essere individuato con una discreta continuità nella porzione meridionale dell'area, mentre tende ad assottigliarsi e progressivamente a scomparire verso N, dove non si ha più la distinzione tra gli acquiferi. Di conseguenza, nella parte N del dominio di studio è presente la sola falda libera (una sola unità ghiaioso-sabbiosa), mentre nella parte a S troviamo due unità ghiaioso-sabbiose separate da uno strato continuo di argilla e limo. La base di tale acquifero è generalmente definita dalla litozona sabbioso-argillosa (depositi "Villafranchiani" *Auct.*).

•**ACQUIFERO PROFONDO**: è costituito dai livelli permeabili presenti all'interno dei depositi continentali della litozona sabbioso-argillosa ed è a sua volta suddiviso in quattro corpi acquiferi minori.

•**ACQUIFERI MARINI**: si tratta di una serie di livelli acquiferi presenti nelle argille marine, solo sporadicamente presente nelle sezioni stratigrafiche.

Nella più recente suddivisione in unità idrostratigrafiche proposta da REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002) e basata sulla correlazione fisica dei corpi sedimentari guidata dall'interpretazione della sismica Agip integrata con i dati di perforazione, si identificano i seguenti gruppi acquiferi:

- Gruppo Acquifero A: corrisponde alla porzione più superficiale dell'acquifero tradizionale (litozona ghiaioso-sabbiosa) (Tab. 2), che nell'area di studio si presenta generalmente libero;
- Gruppo Acquifero B: corrisponde alla porzione di acquifero tradizionale più profondo, generalmente confinato o semi-confinato;
- Gruppo Acquifero C: corrisponde alla parte superiore dell'acquifero profondo (litozona sabbioso-argillosa);
- Gruppo Acquifero D: corrisponde alla parte inferiore dell'acquifero profondo e agli acquiferi marini della litozona argillosa.

I rapporti tra le diverse unità sopradescritte sono schematizzati in tabella 2

- Tab. 2 - Descrizione idrogeologica del sottosuolo milanese, secondo vari Autori.

SCALA CRONO - STRATIGRAFICA	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE		UNITÀ IDROGEOLOGICHE ED IDROSTRATIGRAFICHE			
	Mazzilli & Mazzarelli - 1971	Francini & Pozzi - 1981	Mazzilli & Mazzarelli - 1971	Francini & Pozzi - 1981	Azzamini et alii - 1995	Regione Lombardia - EM (2002) griglia delle superfici in milioni di anni
QUACERIE						
PLEISTOCENE SUPERIORE						
PLEISTOCENE MEDIO	LITOZONA OMIOLLOSA SABBIOSA	1 LIVELLO GLACIALE VALLI IM - Aut. (Quaternario recente)		1 AQG UIFERO	UNITÀ OMIOLLOSA - SABBIOSA	OR UPPA ACQUIFERO A
		1 LIVELLO GLACIALE RISOMBRIO - Aut. (Quaternario medio-antico)	ACQUIFERO TRADIZIONALE		UNITÀ OMIOLLOSA - SABBIOSA - LIMO SA.	OR UPPA ACQUIFERO B
		* C E P P O * Aut.		2 AQG UIFERO	UNITÀ CO MOLI MERATI E ARERABIE SABBI	
CALABRIANO	LITOZONA SABBIOSA ARGILLOSA	VILLAFRANCO	ACQUIFERO PROFONDO	3 AQG UIFERO	UNITÀ SABBIOSA ARGILLOSA sotto continenti e di transizione	0,27 Ma OR UPPA ACQUIFERO C
						1,25 Ma OR UPPA ACQUIFERO D
	LITOZONA ARGILLOSA				UNITÀ ARGILLOSA (Basse marine)	1,5 Ma

III. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO GENERALE

1. - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area ricadente nel Foglio 118-Milano, pari a 580 km² circa, si colloca quasi interamente nel territorio della Provincia di Milano, ad eccezione di due piccole parti, rispettivamente nella Provincia di Monza-Brianza a N e di Varese all'estremo NO del foglio (Fig. 7). L'area di studio è in gran parte occupata dalla conurbazione milanese, con una popolazione residente pari a circa 3,5 milioni di abitanti (corrispondente al 30% dell'intera Regione Lombardia).

L'area urbanizzata, comprensiva delle zone residenziali e degli insediamenti produttivi, copre circa il 70% del foglio (Fig. 7); il restante 30% è occupato da aree agricole (Parco Agricolo Sud Milano) nel settore meridionale, da aree sede di zone a parco (Parco delle Groane, Parco di Monza, Parco Nord Milano) nel settore settentrionale. Da ricordare inoltre, nel settore orientale del foglio, la presenza del bacino idrico dell'Idroscalo e dell'annessa area aeroportuale di Linate.

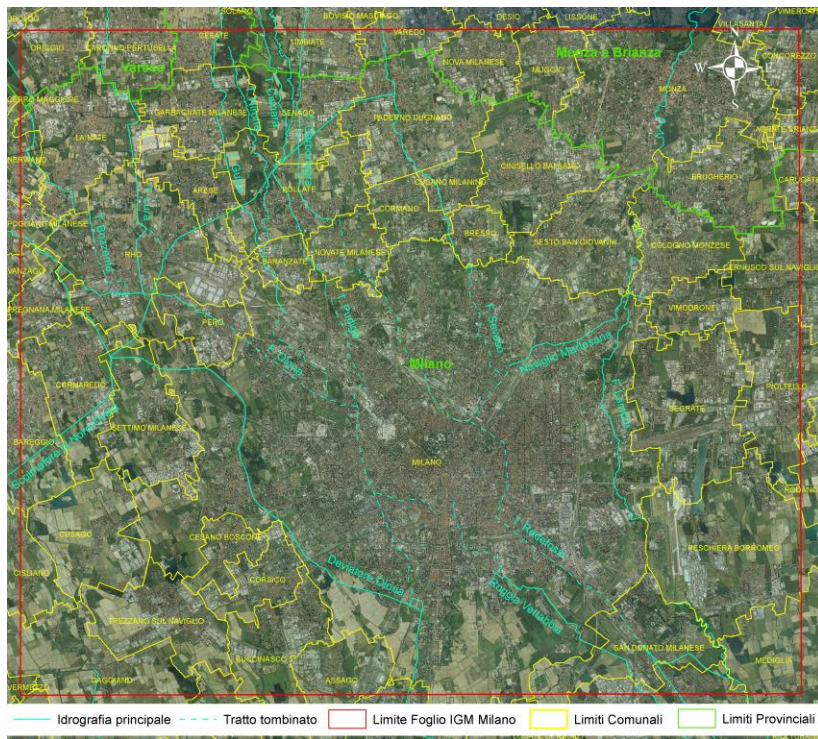


Fig. 7 – Inquadramento geografico del Foglio 118-Milano.

2. - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO - GEOLOGICO

L'area di studio si trova nella media pianura, ed è delimitata, a N e a S, rispettivamente dalle isoipse di 200 m s.l.m. e di 100 m s.l.m. La superficie topografica degrada verso SSE (nella parte settentrionale) e SE (nella parte meridionale) con gradiente progressivamente decrescente (Fig. 8).

Nell'ambito dell'area considerata, gli elementi geomorfologici sono connessi alle fasi erosionali di ambiente fluviale, pleistoceniche ed oloceniche e, soprattutto, alle modifiche apportate dall'attività antropica a partire dal XIII secolo. Il territorio risulta prevalentemente subpianeggiante; si riconoscono orli di terrazzo nel settore nord-occidentale (Parco delle Groane) lungo il corso del Lambro e nella zona meridionale del foglio.

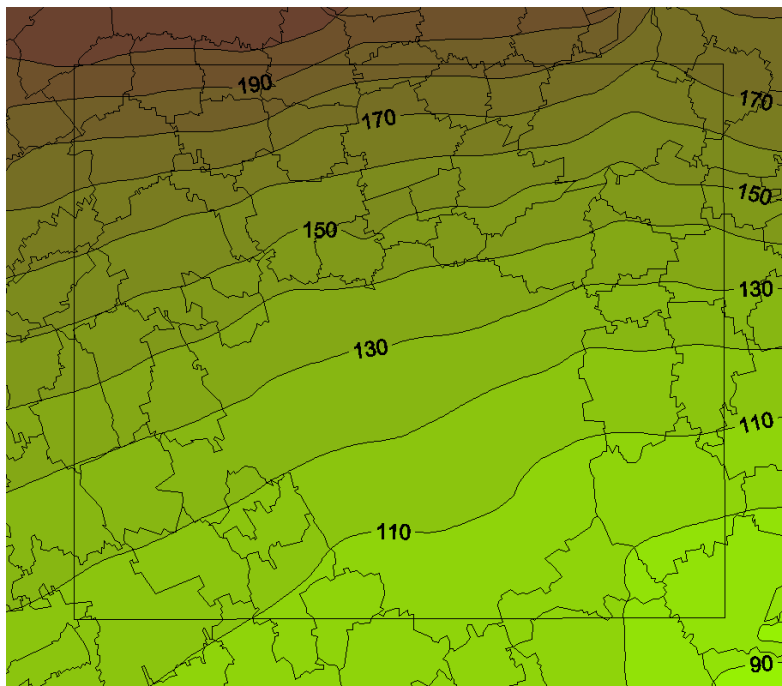


Fig. 8 – Morfologia della zona in esame (il riquadro nero indica l'area del Foglio 118-Milano). Le quote sono espresse in m s.l.m.

Per effetto della conformazione fisica appena descritta, la rete idrografica naturale di superficie presenta un andamento diretto secondo l'asse approssimativamente N-S (Figg. 7 e 9). Il reticolo idrografico è principalmente costituito dai corsi d'acqua Lambro, ad E, ed Olona, a O, con origine a N di Milano, tra i quali si sviluppano, in direzione N-S, il torrente Seveso, i torrenti delle Groane (Garbogera, Pudiga, Guisa e Nirone), e i torrenti Bozzente e Lura, che attraversano il territorio fortemente urbanizzato situato a N della città. Bozzente e Lura confluiscono nell'Olona prima del suo ingresso in Milano; il Guisa (ricevuto il Nirone) e il Pudiga entrano tombinati in Milano e, in città, confluiscono nell'Olona, anch'esso tombinato; Garbogera e Seveso entrano tombinati in Milano e, sempre in città, un po' più a E dei precedenti, recapitano le loro acque nel Naviglio della Martesana.

Prima dell'ingresso in Milano, tutti i corsi d'acqua dal Seveso all'Olona, sono intercettati dal Canale Scolmatore di Nord Ovest (CSNO) che, si

sviluppa, a N di Milano, dalla presa del Seveso (a Palazzolo di Paderno Dugnano) fino al Ticino, in direzione SO, costituendo il canale di gronda della città di Milano. In realtà a questo ramo principale del CSNO, detto Ramo Seveso, se ne connette un secondo, detto Ramo Olona, che scolma l'Olona qualche chilometro a monte della sua intersezione con il Ramo Seveso, e si congiunge con il Ramo Seveso al nodo di Vighignolo, ove il CSNO continua, con un unico ramo, verso il Ticino. Nello stesso nodo di Vighignolo si origina anche il Deviatore Olona, che scolma il CSNO portandone, a cielo aperto, parte della portata di piena, verso la zona S della città di Milano, ove, al nodo di Conca Fallata, si congiunge con l'Olona, appena uscito dalla tombinatura, dando origine al Lambro Meridionale, che, dopo vari chilometri di pianura, attraversati diversi Comuni a S di Milano, deviando verso E confluisce nel Lambro Settentrionale (o Lambro), procedente in direzione S verso il Po.

Il Naviglio della Martesana, infine, ricevuti prima il Seveso e poi il Garbogera, tombinati, ne recapita le acque nel Cavo Redefossi, antico canale di gronda del centro della città, e quest'ultimo si dirige verso SE confluendo nel Lambro a Melegnano, dopo aver ricevuto in destra idraulica la roggia Vettabbia. In Comune di San Donato Milanese il Deviatore Redefossi preleva parte delle portate di piena del Cavo omonimo e le recapita in Lambro a San Giuliano Milanese. Solo il fiume Lambro non è connesso al CSNO, ma scende in direzione N-S, attraversando Monza, la zona E di Milano e i Comuni adiacenti, fortemente urbanizzati. Esso ha origine come emissario del Lago di Pusiano e termine alla confluenza in Po, ricevendo diversi affluenti nel suo sottobacino montano. L'asta del Lambro, a valle di Milano, riceve poi in destra idraulica il Deviatore Redefossi a San Giuliano e il Cavo Redefossi a Melegnano, mentre in sinistra, sempre a Melegnano, riceve dal Colatore Addetta le acque che, attraverso la Muzza, provengono dal Molgora e dalle Trobbie; infine, presso Sant'Angelo Lodigiano, riceve la confluenza del Lambro Meridionale e prosegue in direzione S fino a confluire nel Po.. In aggiunta alla rete sopradescritta si aggiungono altri corsi d'acqua artificiali, realizzati per mettere in comunicazione i fiumi maggiori (Ticino e Adda): il Naviglio Grande, il Naviglio Pavese, il Naviglio Martesana e il Canale Villoresi. Si ricorda, inoltre, la diffusa presenza nell'area di studio di affioramenti della falda acquifera, sotto forma sia di laghi di cava, sia di fontanili (Fig. 9).

Dal punto di vista più strettamente geologico, il territorio del Foglio 118-Milano è caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali legati all'attività dei corsi d'acqua del bacino Lambro, Seveso, Olona. Una prima e fondamentale distinzione di tali depositi può essere effettuata su base morfologica: in questo ambito territoriale è infatti possibile identificare

differenti livelli topografici, ognuno corrispondente a una o più unità geologiche. Questi sistemi morfologici sono, dal più al meno elevato: 1) sistema dei terrazzi dell'Alta Pianura; 2) livello modale della pianura; 3) sistema delle valli fluviali.

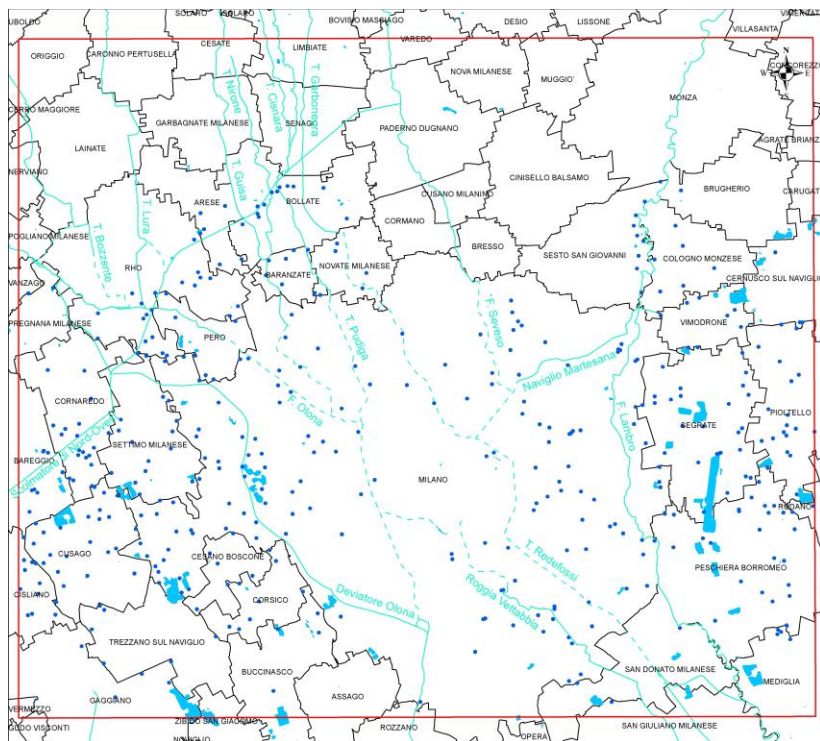


Fig. 9 – Sistema idrografico dell'area milanese. In azzurro è indicata l'idrografia. In blu i fontanili riportati in carta.

L'ambito di maggior estensione è il livello modale della pianura, che racchiude all'incirca il 75% del territorio.

Gli studi dell'area, come descritto nel capitolo precedente, si sono sempre concentrati sul sistema morfologico dei terrazzi, caratterizzati da importanti coperture limose e da una forte pedogenesi. I più elevati di questi terrazzi sono indicati in letteratura come pianalti a 'ferretto' (termine mutuato dalla tradizione popolare lombarda con cui si intendeva rimarcare l'evidente arrossamento della superficie, legato alla presenza, in posizione sommitale, di un complesso di suoli rubefatti). Nel Foglio 118-Milano ricadono solo le propaggini meridionali del più basso dei terrazzi a

ferretto (Groane) e di un complesso di terrazzi sottostante (Cesate-Garbagnate-Arese, a cui si aggiunge quello di Vedano al Lambro-Monza all'estremo NE del foglio).

Dal punto di vista morfologico, il terrazzo a ferretto e quelli sottostanti sono sempre separati da una evidente scarpata, anche se di dislivello modesto (da 1 a 3-4 m).

Al contrario, la discontinuità morfologica tra il complesso terrazzato inferiore e il livello modale della pianura è rappresentata, tipicamente, da un piano inclinato a bassa pendenza, di individuazione spesso problematica.

Con il termine “livello modale della pianura” si intende la superficie pianeggiante di maggior estensione, apparentemente omogenea e priva di significative discontinuità morfologiche (ad eccezione di quelle delle valli fluviali) che si estende tra quota 200 e 100 m circa, con pendenza regionale verso SSE, insinuandosi ed isolando, nella sua parte settentrionale, i sistemi terrazzati. I depositi sono prevalentemente grossolani (ghiaie e sabbie prevalenti), testimoni di un ambiente fluviale di tipo *braided*; nel settore meridionale del foglio sono localmente presenti depositi fini (limi e argille), legati ad isolate aree a sedimentazione palustre.

La piana è solcata dalle incisioni (“valli fluviali”) dei principali corsi d'acqua, che tagliano il foglio in direzione NO-SE (fiume Olona e Torrente Bozzente) o N-S (torrenti Lura, Seveso, Lambro Meridionale, Vettabbia e fiume Lambro). Esse rappresentano le fasi più recenti dell'evoluzione della pianura, riconducibili al tardo Pleistocene superiore e all'Olocene. All'interno degli alvei sono confinati sedimenti prevalentemente ghiaioso-sabbiosi nel settore settentrionale del foglio, passanti a sabbioso-limosi in quello meridionale.

2.1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO

La Pianura Padana nel suo insieme rappresenta l'espressione morfologica di superficie del Bacino Padano, un bacino sedimentario di età terziaria compreso tra le strutture alpine (a vergenza meridionale) e le strutture appenniniche (a vergenza settentrionale) (Fig. 10). La storia tettonica che lo ha interessato ha determinato, assieme alle variazioni climatiche succedutesi nel tempo, l'architettura dei suoi depositi.

La successione sedimentaria plio-pleistocenica del Bacino Padano ha un carattere complessivamente regressivo (REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002; MUTTONI *et alii*, 2003): alla base sono presenti depositi torbiditici di mare profondo, ricoperti da un prisma sedimentario progradante sia assialmente, in quanto legato all'azione del paleo Po, che trasversalmente, originato dai depositi dei sistemi alpini ed appenninici.

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale è il risultato di eventi tettonico-sedimentari parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e ridotta attività delle strutture compressive. Le successioni di sedimenti di età plio-quadernaria che costituiscono la pianura lombarda, ricoprono in discordanza il substrato più antico, interessato dalla tettonica compressiva protrattasi fino al Miocene superiore lungo il bordo pedemontano e collinare delle Alpi Meridionali lombarde, prospiciente la pianura padana. A partire dal Messiniano cessano quasi completamente i movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo, si registra un sensibile spostamento verso NE del fronte dell'Appennino settentrionale. Da questo momento le geometrie deposizionali del bacino Padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde nord appenniniche e ai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini.

Possibili riattivazioni tardo-quadernarie del fronte sudalpino ed evidenze di tettonica quadernaria in alcune zone di pianura sono attualmente oggetto di indagine a scala di bacino (SILEO *et alii*, 2007).

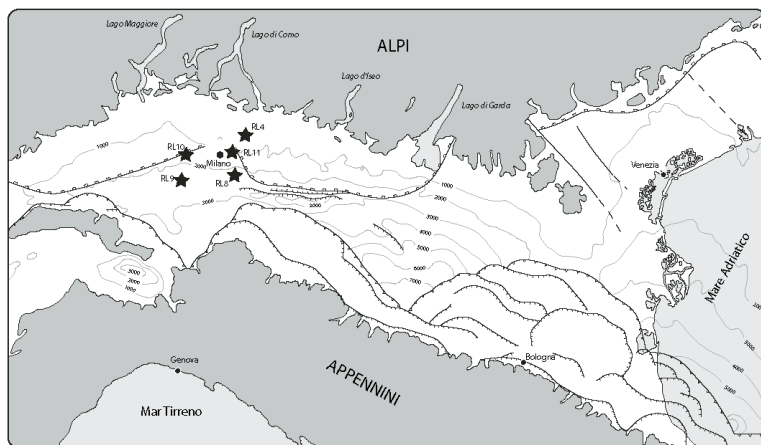


Fig. 10 – Schema strutturale semplificato della Pianura padana con indicazione dei sondaggi CARG e Regione Lombardia (REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002) utilizzati per la realizzazione del foglio (ridisegnato da: PIERI & GROPPI, 1981; BIGI *et alii*, 1990).

IV. DATI E METODI DI STUDIO

Il rilevamento del territorio investigato, caratterizzato da depositi alluvionali in un'area di pianura intensamente urbanizzata come quella milanese, ha dovuto affrontare una serie di problematiche specifiche, tipiche delle grandi aree urbane. In primo luogo, la difficoltà di effettuare osservazioni dirette di carattere geologico e stratigrafico su gran parte del territorio; secondariamente, la necessità di doversi confrontare con condizioni morfologiche intensamente modificate dagli interventi umani.

Le “condizioni naturali” dell'area, infatti, risultano ormai quasi completamente obliterate o relegate in ambiti molto ridotti. Un chiaro esempio delle modificazioni avvenute nell'area Milanese tra l'anno 1888 (Carta topografica IGM, prima levata) e l'anno 1999 (Ortofoto aeree IT2000 - BLOM CGR, 1999) è illustrato nelle figure 11 e 12: dal confronto tra le due immagini è facile notare come in poco più di un secolo le aree urbanizzate, o trasformate dall'intervento umano, si siano espanse fino a interessare più del 70% del territorio del foglio.

D'altro canto va osservato come la continua presenza di attività umane renda disponibile una quantità notevole di documenti, sia storici che attuali, che sono estremamente utili per la ricostruzione geologica. Basti pensare alla possibilità di verificare l'evoluzione morfologica del territorio attraverso l'analisi comparata di cartografie e di fotografie aeree storiche, oppure alla possibilità di disporre di una notevole mole di informazioni stratigrafiche del sottosuolo connesse, ad esempio, alla realizzazione di

pozzi per lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee o allo scavo delle gallerie del sistema di linee metropolitane.

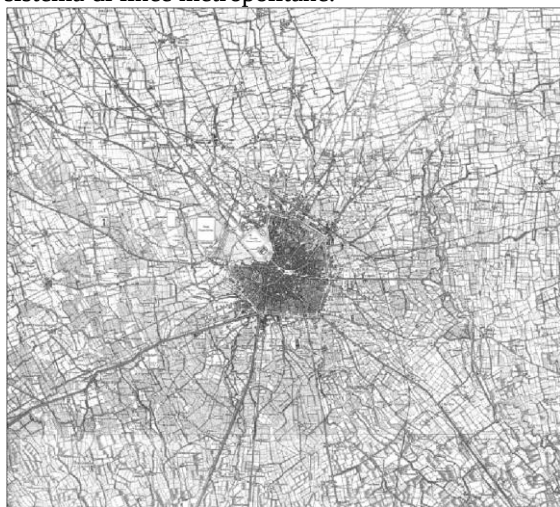


Fig. 11 – Area del Foglio 118-Milano al 1888 (IGM, 1888).



Fig. 12 - Ortoimmagine digitale dell'area del Foglio 118-Milano – TerraItaly IT2000 BLOM CGR, 1999).

L'approccio metodologico adottato per la realizzazione del Foglio 118-Milano ha privilegiato quindi, in primo luogo, la ricerca sistematica presso archivi pubblici o privati di tutte le informazioni che potessero risultare

utili per la ricostruzione geologica, geomorfologica ed idrogeologica del suolo e sottosuolo. I risultati di tale ricerca hanno consentito di reperire un'ingente quantità di informazioni che sono state successivamente organizzate in una Banca Dati Geologica di Sottosuolo, la cui struttura e caratteristiche sono descritte in Appendice 1.

Nella realizzazione delle cartografie di superficie e di sottosuolo sono stati utilizzati sia dati pregressi che informazioni ricavate dall'esecuzione di nuove indagini appositamente predisposte (sondaggi a carotaggio continuo, *log* geofisici in pozzo, acquisizione di una linea sismica ad alta definizione).

I rilievi delle zone di pianura per la realizzazione della carta geologica in scala 1:50.000 del Foglio 118-Milano sono stati eseguiti seguendo la Guida al Rilevamento della Carta Geologica d'Italia (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1992) e successive circolari integrative.

Di seguito si descrivono le tipologie di dati utilizzate e le metodologie di indagine impiegate per la realizzazione degli elementi presenti nella cartografia di superficie e di sottosuolo.

1. - CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE E BANCA DATI UTILIZZATA

Per la realizzazione della carta di superficie sono state preliminarmente acquisite le informazioni presenti presso le banche dati disponibili sul territorio, di contenuto sia stratigrafico che pedologico.

La Banca Dati Geologica di Sottosuolo, appositamente allestita da Regione Lombardia per il progetto CARG, raccoglie informazioni provenienti da numerose fonti pubbliche (Amministrazioni Locali, Ferrovie dello Stato, ANAS, ENEL, Aziende Municipalizzate) e private (ENI, imprese di perforazione e liberi professionisti). Una gran parte delle informazioni riguarda i pozzi per acqua, reperiti presso il Servizio Informativo della Provincia di Milano. Sono state inoltre integrate le stratigrafie derivate da bibliografia (NORDIO, 1957; MARTINIS & MAZZARELLA, 1971; CASATI & VIGANÒ 1974).

La qualità ed il dettaglio delle informazioni raccolte risulta inevitabilmente poco omogeneo, pur permettendo una notevole copertura del territorio: si passa infatti da informazioni relative a stratigrafie ricavate da carotaggi a distruzione (nel caso dei pozzi per acqua), a stratigrafie di dettaglio a corredo di sondaggi a carotaggio continuo ed a diagrammi relativi a prove penetrometriche statiche a supporto di progettazioni ingegneristiche.

Si è poi proceduto ad un rilevamento geologico di dettaglio, utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale prodotta da Regione Lombardia alla scala 1:10.000, aggiornata al 1994. Il rilevamento di campagna è stato integrato con le informazioni pedologiche provenienti dall'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia (ERSAL, 1993, 1999a,b) e dalle successive integrazioni presenti nel Sistema Informativo dei Suoli dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale (I.I.T.) di Regione Lombardia.

L'estrema antropizzazione dell'area indagata ha alterato, e spesso completamente stravolto, le morfologie originarie in questo tratto di pianura la cui fisiografia, in quanto espressione morfologica degli eventi geologici succedutisi, è già di per sé poco variegata. Poiché l'individuazione delle forme, ed in particolar modo delle discontinuità morfologiche, è uno degli elementi chiave del rilevamento dei depositi quaternari di pianura, questa situazione ha reso estremamente problematico il rilevamento geologico in ampi settori del foglio. In questo contesto, si è quindi cercato di ottenere informazioni anche attraverso l'analisi di foto aeree, realizzate in periodi diversi. In particolare, sono stati analizzati i fotogrammi relativi al volo GAI (1954-1955) alla scala 1:33.000, che mostra una situazione di antropizzazione assai meno sviluppata rispetto a quella delle immagini aeree successive, cioè il volo TEM 1 Lombardia 1980-1982, alla scala 1:20.000, il volo Lombardia 1994 alla scala 1:25.000 e le ortofoto (BLOM CGR 1999) alla scala 1:40.000 circa. L'analisi comparata dei fotogrammi ha permesso di individuare la presenza di elementi geomorfologici oggi poco evidenti, quali scarpate e paleovalvei.

1.1 - STUDIO DELL'EVOLUZIONE ANTROPICA

Date le caratteristiche del foglio è stata data grande importanza all'evoluzione antropica del territorio, indagata attraverso l'analisi comparativa dei voli aerei sopra elencati e l'analisi di cartografia storica. Gli elementi antropici rappresentati nella carta di superficie sono descritti in dettaglio nel Capitolo VI. Di seguito si fornisce l'elenco dei dati utilizzati.

1.1.1. - Foto aeree

L'analisi fotogrammetrica comparativa ha utilizzato serie storiche di fotogrammi aerei custoditi presso gli archivi di Regione Lombardia e dell'Istituto Geografico Militare. La prima ripresa aerea dell'area Milanese, che costituisce sicuramente anche una delle prime riprese aeree eseguite sul territorio nazionale, risale al 1936. Le immagini, non

stereoscopiche, sono state acquisite ad una scala di circa 1:15.000 su pellicola pancromatica e costituiscono un documento di ineguagliabile valore per l'analisi della situazione morfologica pre-urbanizzazione.

A partire dal dopoguerra sono state realizzate per conto dell'Istituto Geografico Militare o di altri Enti Pubblici varie riprese aeree dell'area milanese. Tra le serie fotografiche disponibili sono state acquisite ed analizzate le riprese elencate nella tabella 3.

Tab. 3 – Riprese aeree utilizzate per il Foglio 118-Milano.

Anno	Nome Volo	Supporto	Proprietario	Scala fotogrammi
1998-99	Terraitaly	Colori	Regione Lombardia	1:40.000
1994	TEM2	B/N	Regione Lombardia	1:25.000
1980-82	TEM1	Colori	Regione Lombardia	1:20.000
1954-55	GAI	B/N	IGM	1:33.000
1936	IGM	B/N	IGM	1:15.000

L'analisi dei fotogrammi è stata effettuata tramite fotointerpretazione allo stereoscopio, combinata alla contemporanea digitalizzazione degli elementi identificati in un sistema informativo territoriale. Tale combinazione ha reso possibile confrontare immediatamente istanti temporali successivi di una medesima area, per determinare con maggior precisione le modifiche indotte dalle attività antropiche.

Il confronto con la situazione attuale è stato fatto utilizzando come riferimento le ortofoto digitali del volo TerraItaly, risalenti agli anni 1998-1999.

1.1.2. - Cartografia storica

Le carte più antiche esaminate (Tab. 4), relative al XV e XVI secolo, sono limitate alla porzione interna alle mura spagnole della Città di Milano; va osservato che la rappresentazione prospettica utilizzata nel disegno delle carte ne impedisce la corretta georeferenziazione.

La prima cartografia di dettaglio (scala 1:2.000) della città di Milano risale al Catasto Teresiano, così chiamato in onore di Maria Teresa d'Austria che ne ha commissionato l'esecuzione nella prima metà del settecento. La pianta della città compresa entro le mura spagnole è suddivisa in 6 tavole, relative ai cosiddetti "Corpi Santi", in ognuna delle quali vengono riprodotte con precisione le strade, i singoli edifici, i canali e le rogge. Tali carte sono risultate particolarmente utili per definire la posizione esatta della cinta muraria e della rete idrografica.

La prima visione d'insieme dell'intera superficie del Foglio 118-Milano viene data dalla cartografia compilata dall'Istituto Geografico Militare che,

negli anni 1880-1890 ha eseguito la prima levata topografica delle tavolette alla scala 1:25.000 del Foglio 45 Milano della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1965). Tali carte sono state disegnate con grande cura e consentono di identificare i principali elementi morfologici ed idrografici presenti sul territorio. Le tavolette sono state aggiornate periodicamente fino agli anni '50 e pubblicate in varie edizioni relative agli anni 1910, 1914, 1924 e 1937.

Per l'approfondimento relativo al centro storico di Milano (Carta Geoarcheologica nel foglio di superficie), oltre alla ricostruzione della Pianta Romana relativa al IV secolo, si sono utilizzate le quote riportate dalla Carta Tecnica del Comune di Milano, redatta alla scala 1:5.000 e aggiornata al 1990.

Tab. 4 – Carte topografiche.

Oggetto	Fornitore	Scala	Anno	Formato
Pianta Romana	Soprintendenza Archeologica	1:5.000	IV sec	Cartaceo
Carta di Milano del Clarici	Comune di Milano	1:2.000	XV sec	Cartaceo
Carta di Milano del Bonacina	Comune di Milano	1:2.000	XVI sec	Cartaceo
Catasto Teresiano	Comune di Milano	1:2.000	XVIII sec	Cartaceo
Carta di Milano degli Astronomi di Brera	Comune di Milano	1:2.000	XIX sec	Cartaceo
Carta topografica di Milano	Comune di Milano	1:5.000	XX sec	Cartaceo
Tavolette Carta d'Italia	IGM	1:25.000	1888	Cartaceo
Tavolette Carta d'Italia	IGM	1:25.000	1910	Cartaceo
Tavolette Carta d'Italia	IGM	1:25.000	1914	Cartaceo
Tavolette Carta d'Italia	IGM	1:25.000	1924	Cartaceo
Tavolette Carta d'Italia	IGM	1:25.000	1937	Cartaceo
Carta topografica di Milano	Comune di Milano	1:25.000	1960	Cartaceo
Carta topografica di Milano	Comune di Milano	1:5.000	1990	Raster
Carta Tecnica Regionale	Regione	1:10.000	1994	Vettoriale
Ortofoto volo IT2000	Regione	1:10.000	1999	Raster georef.

1.1.3. - Dati archeologici

Lo studio dell'evoluzione antropica del territorio ha tenuto conto anche delle informazioni relative ai ritrovamenti archeologici fornite dalla Soprintendenza ai Beni Archeologici della Lombardia. I documenti messi a disposizione riguardano la cartografia dei principali siti archeologici studiati in Milano e le sezioni stratigrafiche relative a 26 aree di scavo (es. Fig. 13) in cui è stata determinata la quota del terreno sterile.

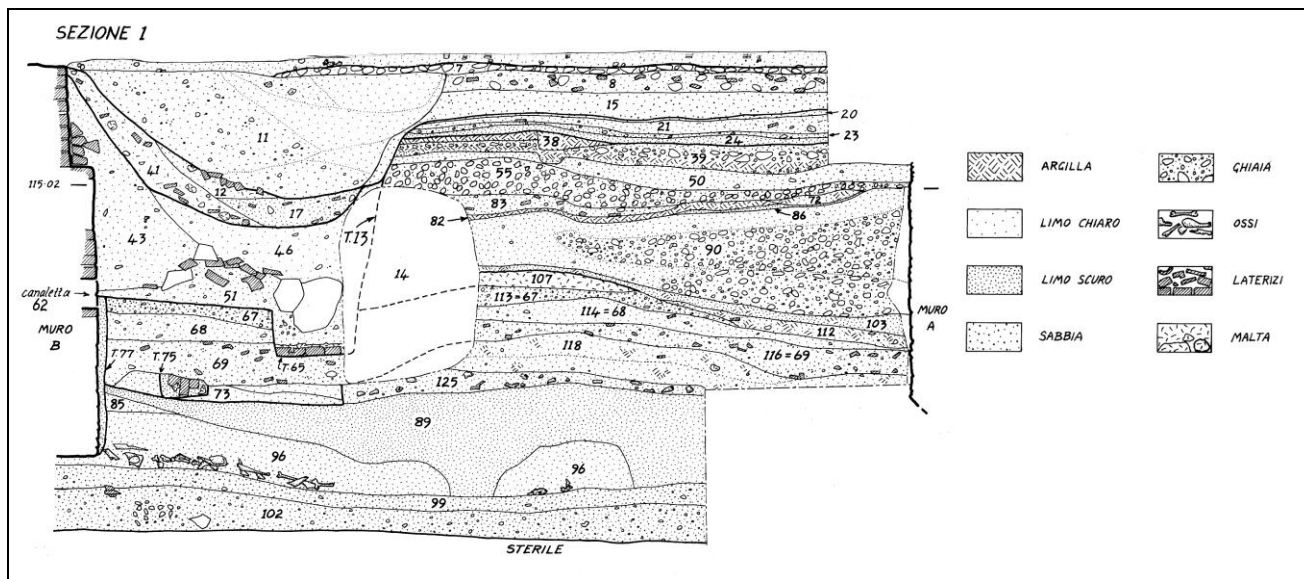


Fig. 13 - Esempio di descrizione stratigrafica di dettaglio di uno scavo archeologico in via Porticata (CAPORUSSO, 1990).

Questa informazione, unita ai dati ricavati dai sondaggi geognostici relativamente allo spessore dei riporti, ha permesso la ricostruzione di una paleotopografia precedente alle attività antropiche documentabili. La descrizione della procedura utilizzata e dei risultati ottenuti è descritta in dettaglio nel Capitolo VI.

Nella Carta Geoarcheologica del centro storico di Milano (Cerchia delle Mura Spagnole) sono stati riportati anche gli andamenti del reticolo idrografico in epoche diverse, ricavato dall'analisi della documentazione storica riportata nella tabella 5.

Tab. 5 – Documentazione utilizzata per la ricostruzione dell'idrografia.

Oggetto	Fornitore	Scala	Anno	Formato
Rete principale da tavolette IGM	Ersal	1:25.000	1880	Vettoriale
Rete principale da tavolette IGM	Ersal	1:25.000	1930	Vettoriale
Rete principale da tavolette IGM	Ersal	1:25.000	1950	Vettoriale
Rete principale e secondaria da CTR	Regione Lombardia	1:10.000	1994	Vettoriale
Rete milano centro	Comune di Milano	1:10.000	XX sec	Cartaceo
Fontanili	IGM	1:25.000	1888	Cartaceo
Catasto teresiano	Comune di Milano	1:2.000	XVIII sec	Cartaceo

2. - CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO

Lo studio del sottosuolo si è articolato sostanzialmente in tre fasi di lavoro successive:

- analisi dei dati pregressi;
- realizzazione di una banca dati geologici di sottosuolo;
- realizzazione di apposite indagini geognostiche e sismiche e ricostruzione della geologia di sottosuolo.

2.1 - ANALISI DEI DATI PREGRESSI

Lo studio della porzione più profonda del sottosuolo parte dalle ricostruzioni basate sui profili sismici elaborati per la ricerca petrolifera e tarati da *log* di pozzo. Tali profili sono un importante strumento analitico

che permette di osservare le geometrie della stratificazione e di comprendere conseguentemente le tappe evolutive di un bacino sedimentario, partendo dal riconoscimento della geometria d'insieme dei riflettori sismici (facies sismica). Essi consentono inoltre il riconoscimento dei vari sistemi deposizionali, soprattutto nelle situazioni tettonicamente indisturbate in cui le facies sismiche diagnostiche si presentano fisicamente contigue (ORI *et alii*, 1986; ORI, 1993).

Nell'area del foglio, il lavoro di riferimento in questo senso è rappresentato da "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" (REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002) (Fig. 14) che ha fornito una descrizione a scala regionale dei principali riflettori sismici e del loro andamento, interpretandoli in chiave idrostratigrafica. Le superfici di discontinuità sismica individuate regionalmente sono state correlate nel sottosuolo dell'area del Foglio 118-Milano, tramite l'utilizzo dei *log* stratigrafici a disposizione.

2.2 - BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO

Per la parte più superficiale, la ricostruzione geologica del sottosuolo è stata principalmente realizzata attraverso l'interpretazione e correlazione dei dati stratigrafici raccolti nella Banca Dati Geologica di Sottosuolo di Regione Lombardia. Questa banca dati è stata realizzata in via prototipale per il Foglio 118-Milano e successivamente implementata a scala regionale (Appendice 1).

La banca dati utilizzata raccoglie, nell'area del foglio, le seguenti indagini:

- Pozzi per acqua (2019);
- Sondaggi a carotaggio continuo (1948);
- Prove penetrometriche dinamiche (782);
- Prove penetrometriche statiche (7);
- Pozzi realizzati da ENI per la ricerca di idrocarburi (51);
- Trincee esplorative (74);
- Sondaggi elettrici verticali (29);
- Prove di carico su piastra (23).

Tramite un applicativo in ambito GIS, appositamente predisposto, sono state realizzate sezioni geologiche a scala verticale ampliata, tramite le quali sono state ipotizzate attribuzioni stratigrafiche preliminari e correlazioni in sezione.

2.3 - ACQUISIZIONE DI NUOVI DATI E RICOSTRUZIONE GEOLOGICA

Successivamente sono stati progettati e realizzati 4 sondaggi a carotaggio continuo, con profondità comprese tra i 99 ed i 180 metri. Nel corso del lavoro è stato utilizzato anche il sondaggio denominato "Agrate – RL4" situato a pochi chilometri di distanza dal margine del Foglio 118-Milano, nel settore nord-orientale (REGIONE LOMBARDIA-ENI, 2002).

I sondaggi a carotaggio continuo costituiscono un elemento fondamentale ed insostituibile per la realizzazione della cartografia di sottosuolo: essi permettono infatti l'osservazione diretta delle litologie, la ricostruzione degli ambienti deposizionali e l'analisi di facies. Assieme alla descrizione stratigrafica delle carote, sono state eseguite analisi petrografiche delle sabbie, palinologiche e magnetostratigrafiche, i cui risultati sono riportati in Appendice 2.

Nei fori di sondaggio di alcune delle perforazioni eseguite per il progetto CARG (RL10 e RL11) è stata effettuata, tramite sonda *Gamma*

Ray, una registrazione in continuo del valore “gamma naturale”, corrispondente alla radioattività naturale dei terreni, generalmente proporzionale al contenuto in minerali argillosi; tali registrazioni sono state restituite con gli appositi *log* rappresentati in Appendice 2. La realizzazione di log geofisici con sonda Gamma Ray è stata svolta all’interno dei sondaggi geognostici con l’intento di tarare la risposta della sonda alle condizioni geologiche locali. Dal confronto tra le litologie ricavate dalle carote di sondaggio e i *log* “gamma naturale” si desume una buona corrispondenza tra i livelli limoso argillosi, in particolare se caratterizzati da presenza di sostanza organica o da paleosuoli, e i picchi di radiazione gamma, mentre non è in genere possibile discriminare tra livelli ghiaiosi e sabbiosi, che presentano una risposta simile. L’andamento del log risulta inoltre utile per evidenziare le eventuali ciclicità “*fining upward*” o “*coarsening upward*”. Questo metodo di indagine è stato quindi successivamente applicato ad alcuni pozzi per acqua del Comune di Milano (ANDRONI & ANGERETTI, 2002), con l’intento di migliorare il dettaglio stratigrafico rispetto alle descrizioni riportate sulle stratigrafie compilate ad opera delle società perforatrici, a loro volta desunte dai *cutting* della perforazione a distruzione, rendendo quindi più affidabile l’interpretazione del modello di sottosuolo.

I carotaggi continui hanno fornito informazioni ad altissima risoluzione verticale e hanno permesso di documentare l’organizzazione ciclica dei depositi e le facies presenti. Anche se si tratta di pochi punti, queste informazioni sono state fondamentali per interpretare la grande mole di stratigrafie di pozzi per acqua e piezometri disponibili nell’area del Foglio 118-Milano, che presentano profondità variabili, ma generalmente superiori ai 50-60 metri. L’esame delle stratigrafie di pozzo si è infatti basata sull’analisi delle variazioni granulometriche verticali che, seppure semplificate, hanno permesso di riconoscere gli stessi *trend* deposizionali e organizzazione riscontrati nei sondaggi. Questo approccio si è mostrato particolarmente utile all’interno di aree con alte densità di stratigrafie (campi pozzi), dove è stato possibile correlare singoli cicli tra pozzi spesso perforati da imprese diverse in tempi diversi. È stata inoltre realizzata una sezione sismica ad alta risoluzione, localizzata nel settore occidentale del foglio (Bosco in città, appendice 4) che ha permesso il riconoscimento dei principali riflettori sismici presenti nel sottosuolo.

Tutti gli elementi raccolti hanno quindi permesso di realizzare una rete di sezioni geologiche con cui è stato ricostruito il modello geologico del sottosuolo.

3. - CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA

Parallelamente alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo sono state realizzate cartografie tematiche finalizzate alla ricostruzione dell'andamento delle principali superfici idrogeologiche, all'identificazione dei diversi corpi acquiferi e alla valutazione dei loro parametri idrogeologici.

In particolare le fasi di studio sono state le seguenti:

- raccolta ed ordinamento dei dati utili a ricavare i parametri idrogeologici, con integrazione e selezione dei dati per i quali si disponeva di serie complete significative;
- implementazione di un database contenente tutte le informazioni di natura idrogeologica;
- elaborazioni cartografiche (mappe e sezioni) per la caratterizzazione idrogeologica dell'area e la stesura della Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano.

3.1 - ACQUISIZIONE ED ORGANIZZAZIONE DEI DATI IDROGEOLOGICI

Le tipologie di dati acquisiti, oltre a quelli stratigrafici, sono:

- prove di portata (prove di collaudo dei pozzi e prove di pompaggio) reperite presso i principali gestori dei servizi acquedottistici, il Genio Civile ed alcuni archivi privati;
- piezometrie, sia storiche sia derivanti dalle campagne piezometriche condotte a scala provinciale;
- dati idrochimici, forniti dagli enti preposti al controllo qualitativo delle acque sotterranee.

3.2 - IMPLEMENTAZIONE DI UN DATABASE IDROGEOLOGICO

Attraverso la realizzazione di numerose sezioni idrogeologiche all'interno dell'area del foglio, sono stati individuati in corrispondenza di ciascun punto di indagine a disposizione (pozzo, sondaggio) i limiti che identificano la geometria degli acquiferi e degli *aquitard*. Ogni dato è stato inserito nella tabella del database idrogeologico denominata "GEOMETRIA ACQUIFERO" (Tab. 6), fornendo nel contempo una classificazione del dato in funzione della sua attendibilità (Tab. 7). Tale approccio ha risposto alla duplice esigenza di non perdere informazioni utili, mantenendo memoria della qualità del dato in vista del suo impiego nelle successive elaborazioni.

Inoltre sono stati inseriti nel database i valori di permeabilità, ricavati sia da prove dirette sia, indirettamente, dalle prove di collaudo dei pozzi, disponibili per un sottoinsieme di circa 100 punti.

Tab. 6 - Campi della tabella "GEOMETRIA ACQUIFERO".

Codice originale
Codice Provincia
Codice archivio
Profondità raggiunta
Acquifero captato (I, II o III)
Base I Acquifero
Attendibilità del dato "base del I Acquifero"
Spessore dell'aquitard di separazione tra I e II Acquifero
Attendibilità del dato "spessore dell'aquitard di separazione tra I e II Acquifero"
Base II Acquifero
Attendibilità del dato "base II Acquifero"
Base III Acquifero
Attendibilità del dato "base del III Acquifero"

Tab. 7 - Classificazione dell'attendibilità del dato idrogeologico.

ATTENDIBILITÀ	DESCRIZIONE
dato stratigrafico	si assegna al dato riferito al limite di un acquifero desunto direttamente dalla stratigrafia - sezione
dato interpretato	si assegna al dato riferito al limite di un acquifero non desunto direttamente dalla stratigrafia ma da dati di letteratura
dato anomalo	si assegna al dato riferito al limite di un acquifero desunto direttamente dalla stratigrafia - sezione che non concorda con i dati vicini

3.3 - ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI IDROGEOLOGICI

Una volta conclusa la fase di raccolta ed organizzazione dei dati, lo studio è proseguito con la fase di interpretazione ed elaborazione, così da passare da informazioni a carattere puntuale, distribuite in modo disomogeneo nell'area di studio, alla redazione di carte descrittive della struttura idrogeologica locale. In particolare, tale fase ha previsto le seguenti attività specifiche:

- analisi statistica dei dati, con individuazione della struttura spaziale della variabile in esame (per i dettagli si veda l'Appendice 3);
- interpolazione dei dati tramite tecniche di *kriging* e successiva validazione dei dati;
- realizzazione delle carte tematiche (con valutazione della relativa incertezza), proposte nell'Appendice 3 e nella Cartografia di sottosuolo del foglio.

V. STRATIGRAFIA

1. - SUCCESSIONE NEOGENICO - QUATERNARIA

1.1 - UNITÀ DI SOTTOSUOLO

L'analisi stratigrafica è stata condotta utilizzando i criteri della stratigrafia fisica come definito dalle linee guida per il rilevamento della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992 e successive integrazioni). Per il Foglio 118-Milano sono state pertanto utilizzate le UBSU, cioè unità delimitate alla base ed al tetto da superfici di discontinuità (*angular unconformities, disconformities* ecc.), intese nell'accezione indicata dal Servizio Geologico Nazionale, che permette una certa flessibilità rispetto a quanto indicato dal Codice Internazionale di Stratigrafia. Nei depositi di sottosuolo della Pianura Padana l'individuazione di limiti inconformi è infatti frequentemente ostacolata dalla difficoltà di poter utilizzare linee sismiche ad alta risoluzione, che permettano di tracciare le geometrie della stratificazione dei depositi, soprattutto in presenza di deboli contrasti di facies. A livello bacinale questa operazione è stata svolta con l'analisi di dati sismici e dati di pozzo da REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002).

L'identificazione di due superfici principali di discontinuità di scala regionale, riconosciute e mappate su gran parte del bacino padano

(REGIONE EMILIA ROMAGNA & ENI AGIP, 1998, REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002, MUTTONI *et alii*, 2003, SCARDIA *et alii*, 2012) ha portato dunque a definire le seguenti unità di sottosuolo: supersintema Padano (**PD**), supersintema Lombardo Inferiore (**LI**) e supersintema Lombardo Superiore (**LS**). La scelta del rango di supersintema di queste unità è legata al fatto che esse sono definite da superfici di inconformità di rango regionale.

In sottosuolo, il riconoscimento delle superfici di separazione tra i tre supersintemi è avvenuto partendo dal quadro di riferimento delineato nello studio REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002) ed effettuando l'analisi dei cicli deposizionali di diverso ordine gerarchico riconoscibili nelle stratigrafie di pozzi e sondaggi. Fondamentali sono state le osservazioni effettuate sulle carote dei sondaggi appositamente realizzati per il progetto CARG che, assieme alle carote di altri sondaggi a cui si è avuto accesso, realizzati da diversi Enti per interventi urbanistici ed infrastrutturali nel territorio milanese, hanno permesso un'analisi stratigrafica e sedimentologica di dettaglio. Tale analisi, supportata da approfondimenti palinologici e magnetostratigrafici, ha permesso di localizzare e datare puntualmente le principali superfici di discontinuità stratigrafica. Tali discontinuità sono state quindi tracciate tramite una fitta griglia di sezioni geologiche, costruite con i dati presenti nella Banca Dati Geologica di Sottosuolo, con particolare attenzione per i livelli pedogenizzati presenti (paleosuoli, riconosciuti nei carotaggi o livelli ipoteticamente interpretabili come tali, nel caso delle descrizioni di pozzo).

Occorre sottolineare come le differenti metodologie utilizzate nel rilevamento delle unità di superficie rispetto a quelle di sottosuolo nell'area del Foglio 118-Milano, abbiano condotto da un lato ad un'articolata definizione delle unità di superficie, il cui rango gerarchico deriva dalla revisione complessiva dei depositi quaternari alpini effettuata nell'ambito del Progetto CARG di Regione Lombardia, e, dall'altro lato, alla definizione preliminare di unità di sottosuolo correlabili a scala di bacino. L'attuale stato delle conoscenze non permette quindi una completa armonizzazione tra i due diversi approcci. Anche se si è cercato di evidenziare gli elementi di possibile corrispondenza, rimangono da risolvere alcune discrepanze sull'ordine gerarchico delle unità (cfr. Schema dei rapporti stratigrafici della Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano).

La suddivisione utilizzata per il sottosuolo del Foglio 118-Milano è stata anche confrontata con quella definita per altri settori della Pianura Padana: dal punto di vista stratigrafico, le tre unità introdotte (supersintema Padano - **PD**, supersintema Lombardo Inferiore - **LI** e supersintema Lombardo

Superiore – **LS**) mostrano una sostanziale equivalenza con le unità istituite dal Progetto CARG – Regione Emilia-Romagna, e rispettivamente con il supersintema Quaternario Marino – **QM**, il sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (**AEI**) e il sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (**AES**), che insieme costituiscono il supersintema Emiliano-Romagnolo. Anche in questo caso, il diverso rango gerarchico delle unità di sottosuolo definite nel Foglio 118-Milano e nei fogli della Regione Emilia Romagna impedisce l'utilizzo degli stessi nomi. Si ritiene tuttavia che con il completamento del rilevamento geologico nella Pianura Padana sarà possibile risolvere questa problematica stratigrafica, mirando ad uniformare sia le nomenclature che il rango gerarchico delle unità.

1.1.1. - Cenni sulle unità precedenti al supersintema Padano

Si descrivono brevemente le unità geologiche sottostanti al supersintema Padano presenti nel sottosuolo dell'area del foglio, per le quali non è stato possibile realizzare una ricostruzione completa a causa dell'indisponibilità di dati sufficientemente profondi e ben distribuiti. Tuttavia, la mappa della “base del Pliocene” gentilmente fornita da ENI e l'interpretazione di alcuni pozzi per la ricerca di idrocarburi, perforati nella seconda metà del secolo scorso e recentemente pubblicati dal Progetto VIDEPI del Ministero dello Sviluppo Economico, hanno permesso di ricostruire localmente questa successione, illustrata in figura 15.

Nella descrizione di queste unità si è fatto riferimento alla nomenclatura recentemente adottata nell'ambito del Progetto GeoMol (ISPRA, 2015), che individua successioni delimitate da superfici di inconformità tracciate a scala regionale, pur senza formalizzarle dal punto di vista stratigrafico. Tale scelta è motivata dal fatto che, seppure in un diverso settore della Pianura Padana (Lombardia orientale ed Emilia), esso costituisce il più recente tentativo di sintesi e di armonizzazione delle unità di sottosuolo. Ove possibile, si sono indicate le corrispondenze con unità tradizionali, sia formali che informali, anche riferite alla nomenclatura classica di sottosuolo di ENI-Agip.

La successione ricostruita presenta un carattere complessivamente regressivo, passando da depositi francamente marini, a depositi marino marginali e transizionali, che preludono all'instaurarsi di condizioni prettamente continentali nel Calabriano, e registra il progressivo colmamento del mare pliocenico padano.

In figura 15 è stato riportato il profilo stratigrafico del pozzo Eni-Agip Trenno1, perforato nel 1979 fino alla profondità di 4.500 m (-4.354 m s.l.m.). Da fondo pozzo fino alla quota di -1.680 m s.l.m. il pozzo

attraversa unità arenaceo-pelitiche di età oligo-miocenica, riferibili al Gruppo della Gonfolite Lombarda (Chattiano – Aquitaniano) e alla formazione delle Marne di Gallare (Burdigaliano-Tortoniano), corrispondenti alle unità MIO e MESa di ISPRA 2015, il cui tetto è troncato dalla superficie di inconformità tortoniana. Tra –1.680 e –1.637 m s.l.m. si rinviene il caratteristico corpo grossolano (ghiaie e sabbie) della formazione di Sergnano (Messiniano, MESb di ISPRA, 2015), sua volta troncato dalla superficie di inconformità intra-zancleana. Su questa superficie si depositano le peliti del Pliocene Inferiore e medio (Argille del Santerno, nella nomenclatura classica ENI-Agip), corrispondenti all'unità PL di ISPRA (2015). Questi depositi pelitici sigillano un'articolata paleo-morfologia, ben evidenziata nella mappa della “base del Pliocene” nella Cartografia di sottosuolo del foglio. L'andamento della superficie di inconformità intra-zancleana, che presenta carattere fortemente erosivo in questa parte del bacino, appare particolarmente articolato nel settore settentrionale del foglio, ed in particolare quello nord-orientale, con evidenti “alti strutturali” (Paderno Dugnano, Cinisello Balsamo, Monza, Brugherio, Segrate-Lambrate), separati da incisioni anche molto marcate (Bollate, Cusano Milanino, Sesto San Giovanni, Pioltello-Milano2). Questi “alti strutturali” sono generalmente caratterizzati da situazioni stratigrafiche “relitte”, con lembi di Formazione di Sergnano preservati dall'erosione pliocenica che hanno costituito un obiettivo di ricerca petrolifera nel secolo scorso; per maggiori approfondimenti sulla genesi e il significato di queste strutture si rimanda a GHIELMI *et alii* (2012). Nel settore meridionale del foglio, la superficie di inconformità presenta invece un andamento sostanzialmente regolare, immergente verso S con profondità variabili da circa 1.200 m (–1.100 m s.l.m.) nel settore centrale, fino a profondità di circa 2.000 m dal piano campagna (–1.900 m s.l.m.) al limite meridionale del foglio.

L'unità PL si sviluppa fino alla quota –1084 m s.l.m., dove verosimilmente si può collocare la superficie di inconformità gelasiana, corrispondente alla superficie GEL di ISPRA (2015) e che rappresenta la base del Pleistocene nella nuova scala cronostratigrafica (COHEN *et alii*, 2013). Questa unità è costituita da argille marnose prevalenti, in cui sono localmente intercalati livelli sabbioso-ghiaiosi di limitato spessore e saturati da acqua salata, i quali rappresentano verosimilmente la chiusura meridionale di conoidi sottomarini provenienti dal margine sudalpino.

L'unità successiva, riferibile al Gelasiano e alla parte bassa del Calabrian, corrisponde all'unità PLMa di ISPRA (2015) ed è costituita da depositi prevalentemente sabbiosi, di piattaforma e transizionali, con qualche intercalazione argillosa e sottili livelli di ghiaie, localmente cementate, saturati da acqua salmastra, fino alla quota di –379 m s.l.m..

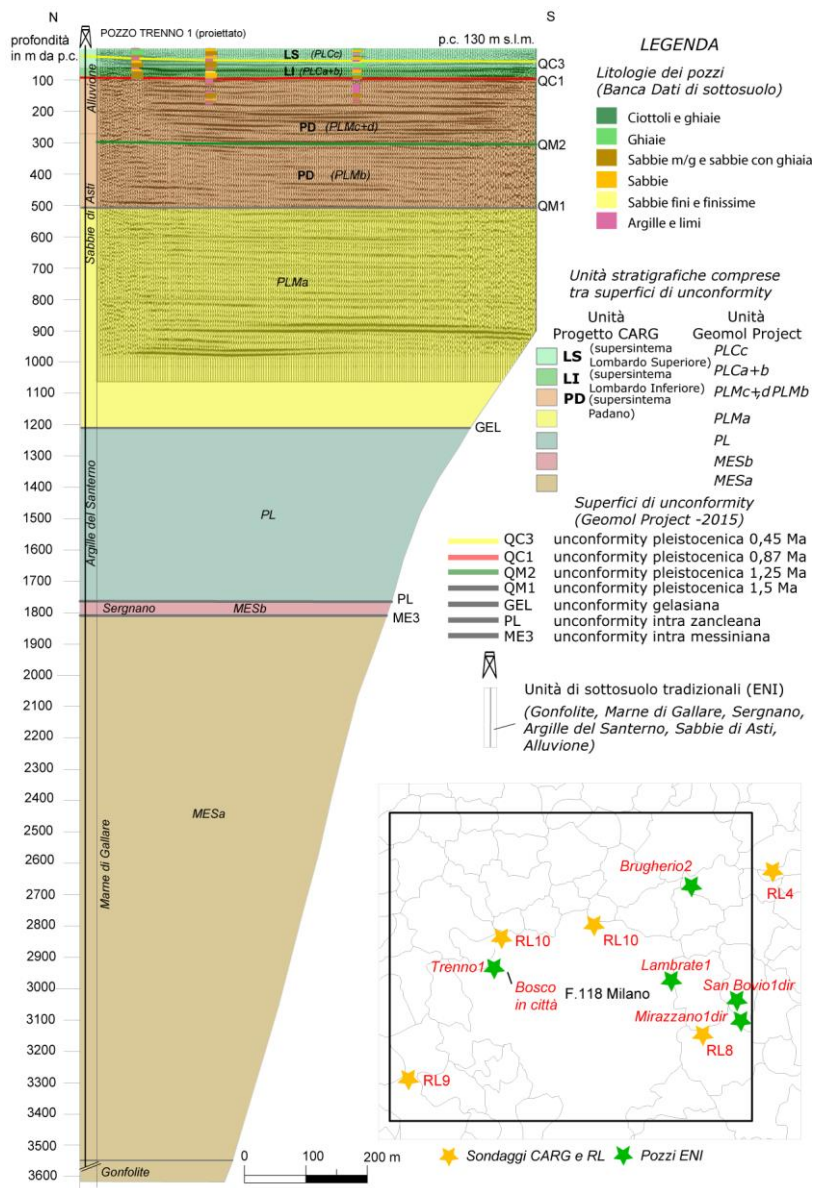


Fig. 15 - Sezione profonda Bosco in città. Sono riportate le superfici di unconformity, le unità di sottosuolo ricostruite utilizzando i dati di pozzo (ENI Trenno 1) e la sezione sismica Bosco in città (cfr. Appendice 4).

Questa unità, riferita nella stratigrafia del pozzo Trenno 1 alle Sabbie di Asti *Auct.*, contiene fossili marini bentonici e più rari planctonici (*Ammonia*, *Elphidium*, *Cassidulina*, *Bolivina*), oltre a resti di echinidi e briozoi. Il tetto dell'unità PLMa è rappresentato dalla superficie di inconformità QM1 di ISPRA (2015), datata a circa 1,5 Ma (Calabriano).

A completamento del quadro stratigrafico sopra delineato, considerando il settore orientale del foglio ed alcuni pozzi ENI-Agip rappresentativi e pubblicati, (da S verso N, Mirazzano1dir, San Bovio1dir, Lambrate1dir e Brugherio2, cfr. Fig. 15), si nota in generale un locale ispessimento dei corpi ghiaioso-sabbiosi riferibili alla formazione di Sergnano (Messiniano) che nel pozzo San Bovio1dir raggiungono lo spessore di almeno 350 m e nel pozzo Brugherio 2 di oltre 200 m. La successione pelitica Pliocenica (PL) è inoltre caratterizzata, almeno nel settore sud-orientale del foglio, dall'intercalazione di potenti livelli sabbiosi, riferibili alle unità Porto Garibaldi/Pandino della nomenclatura classica ENI-Agip (Pozzi San Bovio1dir e Mirazzano1). L'interfaccia acqua dolce/acqua salata, generalmente localizzata all'interno della Sabbie di Asti *Auct.*, è generalmente profonda, raggiungendo la quota -843 m s.l.m. nel pozzo San Bovio1dir, ma risalendo bruscamente a -506 m s.l.m. nel pozzo Mirazzano1dir, verosimilmente a causa della diminuzione repentina della porosità di queste unità verso S (REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002).

1.1.2. - Supersintema Padano (PD)

Questa unità, di nuova introduzione, è delimitata al tetto dalla superficie di inconformità "R" di MUTTONI *et alii* (2003) (0,87 Ma, Calabriano), corrispondente alla superficie QC1 di ISPRA (2015) e alla base della sequenza PS2 di GHIELMI *et alii* (2012) nonché alla base del Gruppo Acquifero B di REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002). Alla base è invece delimitata dalla superficie di inconformità datata a circa 1,5 Ma (Calabriano), denominata QM1 in ISPRA (2015) e corrispondente alla base della sequenza PS1 di GHIELMI *et alii* (2012) e alla base del Gruppo Acquifero D di REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002) (cfr. Schema dei rapporti stratigrafici della Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano). La superficie basale non è stata tuttavia mappata in dettaglio nel Foglio 118-Milano, a causa della scarsità di punti di controllo (pozzi e sondaggi profondi) utili per guidare il suo riconoscimento in sottosuolo.

La porzione sommitale del supersintema **PD**, raggiunta dai sondaggi CARG – Foglio 118-Milano RL8, RL9, RL 10 e, anche se solo parzialmente, RL 11 (cfr. Appendice 2), è costituita da cicli di spessore plurimetrico, costituiti prevalentemente da sabbie, da fini-molto fini a medie, sabbie limose, limi ed argille, talora contenenti livelli ricchi di materiale organico, con locali intercalazioni di corpi più grossolani,

ghiaiosi e sabbiosi, localmente cementati (settore settentrionale), che, almeno in parte, possono corrispondere ad alcuni dei corpi conglomeratici (“Ceppo” *Auct.*) presenti nel sottosuolo dei Fogli 096-Seregno e 097-Vimercate. Questi depositi sono complessivamente riferibili ad un ambiente di piana alluvionale e, in particolare, ad una piana a meandri. Più in dettaglio, nella porzione nord-occidentale del foglio, indagata in dettaglio dal sondaggio RL10, si notano cicli *fining-upward* costituiti da sabbie medie e fini, sia massive che laminate, limi e limi-argillosi, interpretati come depositi di canale fluviale, talvolta passanti a depositi di abbandono di canale, e come depositi di canale-argine. Nella parte sud-occidentale del foglio (cfr. sondaggio RL9), i depositi sono costituiti prevalentemente da corpi di spessore metrico, costituiti da sabbie medie e fini, localmente grossolane, spesso amalgamati tra loro ed interpretati come depositi di canale fluviale e, localmente, da depositi fini (limi sabbiosi, sabbie fini limose e limi) di canale/argine e limi argillosi di piana alluvionale. Una deposizione nel complesso più fine caratterizza invece il settore sud-orientale del foglio (sondaggio RL8), dove prevalgono limi ed argille con livelli pluricentimetrici di materiale organico, attribuiti ad un ambiente di piana alluvionale, con intercalati corpi sabbiosi a granulometria fine e media e base netta, passanti a limi ed argille, interpretabili come depositi di rotta fluviale.

Nella settore settentrionale, l'analisi di dettaglio delle facies è guidata dal sondaggio RL 4 Agrate, esterno al foglio ma localizzato in prossimità del suo limite nord-orientale, in quanto il sondaggio RL11 ha intercettato solo i primi metri dell'unità. Al di sotto delle già citate facies di piana alluvionale e di piana a meandri, sono state riconosciute sequenze cicliche di ghiaie ben classate di ambiente transizionale (depositi di delta e deltaconoide), talora fossilifere, alternate a limi fossiliferi marini (REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002). Questo dato, unito alle interpretazioni condotte da diversi autori a livello regionale (SCARDIA *et alii*, 2006, GIANOLLA *et alii*, 2010, GARZANTI *et alii*, 2011, SCARDIA *et alii*, 2012) permette di affermare come la linea di costa, al tempo della parte superiore del supersistema Padano, fosse localizzata poco ad oriente dell'area del Foglio 118-Milano.

Dal punto di vista climatico, infine, le analisi palinologiche condotte sulle carote dei sondaggi CARG riconoscono in questo intervallo la presenza di Tsuga, che nell'areale europeo scompare nel tardo Pleistocene inferiore (Calabrian) e di uno spettro pollinico testimoniante un clima complessivamente da temperato-caldo a caldo-umido, con una successione di cicli di raffreddamento relativo che culminano in un evento di

raffreddamento ben più marcato, ascrivibile al MIS22, che prelude all'instaurarsi delle condizioni temperato-freddo-secche che domineranno il periodo successivo, rappresentato dai supersintemi Lombardo Inferiore e Superiore *p.p.*, connesse con l'instaurarsi delle glaciazioni pleistoceniche (cfr. Appendice 2.3).

Per quanto attiene invece alla porzione inferiore del supersistema **PD**, non raggiunta dai sondaggi CARG, questa è sommariamente descrivibile considerando i profili dei pozzi ENI-Agip pubblicati, tra cui il già citato Trenno1 (Fig. 15) nel quale, tra quota -400 m s.l.m. e quota -135 m s.l.m. (tra 525 m e 281 m di profondità in pozzo) si incontrano depositi prevalentemente sabbiosi con qualche intercalazione argillosa e alcuni livelli di spessore metrico di ghiaie, attribuiti nel profilo del pozzo alle Sabbie di Asti, unità di ambiente marino o marino-marginale testimoniato dal loro contenuto in fossili prevalentemente bentonici, tra cui Foraminiferi (*Ammonia*, *Elphidium*, *Cassidulina* e *Bolivina*) nonché resti di echinidi e briozoi. Il passaggio da depositi transizionali a continentali, nel pozzo Trenno1, sembra avvenire a partire da quota -135 m s.l.m. (profondità 281 m in pozzo), dove il profilo registra depositi progressivamente più grossolani, caratterizzati da alternanze di ghiaie e sabbie, con intercalazioni di argille o limi e livelli di torba, senza tracce evidenti di fossili.

Il passaggio da ambiente marino-transizionale a continentale, nell'area del Foglio 118-Milano avviene a cavallo di una superficie di inconformità tracciata a scala di bacino e coincidente con la base del Gruppo Acquifero C (REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002), recentemente ridefinita come QM2 di ISPRA (2015), datata a 1,25 Ma e indicativamente correlata con il MIS 37 (cfr. Schema dei rapporti stratigrafici della Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano). Nel settore occidentale (Pozzo ENI-Agip Trenno1) il passaggio di ambiente segue di poco tale superficie e la stessa situazione, anche se più scarsamente documentata, sembra sussistere anche nel settore centro orientale del foglio (Pozzi ENI-Agip Mirazzano1, San Bovio1dir, Lambrate1 e Brugherio2). Anche nel sondaggio RL4 Agrate, poco a NE del foglio, la superficie QM2 si trova ancora all'interno di depositi di ambiente transizionale. Questa superficie, non è stata mappata in dettaglio nel Foglio 118-Milano, per le stesse ragioni esposte relativamente alla superficie di base del supersistema Padano, così come la soprastante superficie QM3 di ISPRA (2015), datata circa a 1,07 Ma e indicativamente correlata con il MIS 31; tuttavia, in prospettiva e considerando altre aree della Pianura Lombarda, queste superfici potranno essere utilizzate per suddividere il supersistema Padano.

In conclusione il supersistema Padano è caratterizzato alla base da depositi marino-marginali (piattaforma interna e costieri) che, verso l'alto,

evolvono a depositi transizionali (delta, delta-conoide e lagunari) fino a francamente continentali (piana alluvionale); esso corrisponde sostanzialmente al supersistema Quaternario Marino (QM) di REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) e Foglio 181-Parma Nord della Nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2009) nonché all'insieme delle unità PLMb, PLMc e PLMd di ISPRA (2015) (cfr. Schema dei rapporti stratigrafici della Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano).

Spessore: 430 m circa (Pozzo Trenno 1)

Età: Calabriano.

1.1.3. - Supersistema Lombardo Inferiore (**LI**)

Questa unità, di nuova introduzione, è delimitata al tetto dalla superficie di inconformità “Y” di SCARDIA *et alii* (2012) (0,45 Ma, Pleistocene medio), corrispondente alla superficie QC3 di ISPRA (2015) nonché alla base del Gruppo Acquifero A di REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002). Il limite inferiore è invece costituito dalla superficie di inconformità “R” di MUTTONI *et alii* (2003) (0,87 Ma, Calabriano), corrispondente alla superficie QC1 di ISPRA (2015) e alla base della sequenza PS2 di GHIELMI *et alii* (2012), nonché alla base del Gruppo Acquifero B di REGIONE LOMBARDIA & ENI, (2002) (cfr. Schema dei rapporti stratigrafici della Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano). La base di questo supersistema è marcata da un significativo cambio sedimentologico rispetto alla sottostante unità (**PD**) ed è stata correlata con l'instaurarsi delle maggiori glaciazioni pleistoceniche (MUTTONI *et alii*, 2003).

I depositi del supersistema Lombardo Inferiore **LI** sono costituiti da corpi spessi di sabbie medie e grossolane, subordinatamente fini, e ghiaie medie e grossolane, talora ciottoli, localmente cementati (“Ceppo” *Auct. p.p.*). I livelli sabbiosi sono generalmente massivi, talora laminati, con frequente presenza di ciottoli. Si riconoscono a luoghi delle grossolane ciclicità *fining-upward* (sondaggio RL10), talora amalgamate (sondaggio RL 9). I livelli pelitici (limi, limi argillosi ed argille limose), per quanto di ridotto spessore, mostrano comunque una certa continuità laterale. Localmente sono segnalati nelle stratigrafie di pozzi per acqua livelli di argille di colore rossastro, attribuibili a paleosuoli. L'ambiente deposizionale è stato interpretato come piana alluvionale; data la presenza significativa di granulometrie sabbiose, tenuto anche conto del contesto sedimentario di questo settore di bacino, con un'elevata disponibilità di materiali grossolani provenienti, tra l'altro, dagli anfiteatri glaciali presenti al margine sudalpino (cfr. cap. V.1.2), nonché la relativa organizzazione

latero-verticale dei sedimenti, si ritiene che l'ambiente deposizionale sia più in particolare riferibile ad una piana a *braided*, relativamente distale. I corpi sabbiosi ghiaiosi sono riferibili a depositi di canale fluviale di energia medio alta, in una piana alluvionale caratterizzata dalla brusca divagazione dei canali stessi; le porzioni più fini sono riferibili invece a depositi di piana inondabile o a cicli di abbandono del canale fluviale. Dal punto di vista climatico, le associazioni polliniche rinvenute nei sondaggi CARG in questo intervallo, in particolare nel sondaggio RL8 Peschiera Borromeo, suggeriscono un clima complessivamente temperato-freddo-secco, con condizioni di vegetazione aperta (tipo steppa) con pini e betulle (cfr. Appendice 2.3).

Le analisi magnetostratigrafiche effettuate sulle carote dei sondaggi CARG (cfr. Appendice 2.2) permettono di confermare, per la superficie di base del **LI**, la datazione per interpolazione a circa 870.000 anni BP, già attribuita sulla base di analoghe indagini in altri settori della Pianura lombarda (MUTTONI *et alii*, 2003) e di correlarla verosimilmente allo stadio isotopico marino 22 (MIS22), che rappresenta il primo marcato raffreddamento climatico del Pleistocene a scala globale. Anche le analisi palinologiche, condotte sempre sui sondaggi CARG (cfr. Appendice 2.3) confermano questo quadro, registrando anche qui la scomparsa di Tsuga già riscontrata in questi livelli stratigrafici a scala regionale.

Per quanto riguarda la superficie di tetto, tenuto conto che la stessa marca a livello regionale un evento caratterizzato da basculamento verso S delle superfici sedimentarie, di probabile origine tettonica (avanzamento delle falde appenniniche sulla monoclinale pedealpina) o mista climatico/tettonica (sollevamento isostatico del margine sudalpino, accelerato dall'erosione operata dalle prime fasi glaciali, SCARDIA *et alii*, 2012), pur in mancanza di elementi certi di datazione, si ritiene ragionevole correlarla con l'evidenza di superfici basculate e pedogenizzate quali, nell'area del foglio, il Pianalto delle Groane. Tale correlazione è compatibile con l'età del tetto del supersistema del Bozzente (cfr. cap. V.1.2.1 e Foglio 096-Seregno), attribuita al Pleistocene medio. Come già evidenziato nell'introduzione alle unità di sottosuolo, allo stato attuale delle conoscenze non è possibile correlare direttamente le due unità, in particolare per quanto riguarda il limite di base del supersistema del Bozzente non definita, oltre alla possibilità che il supersistema Lombardo Inferiore possa comprendere altre unità di superficie presenti in aree limitrofe.

Spessore: 80 m.

Età: Calabriano – Pleistocene medio.

1.1.4. - Supersintema Lombardo Superiore (LS)

Questa unità, di nuova introduzione, è delimitata alla base dalla superficie di inconformità “Y” di SCARDIA *et alii* (2012) (0,45 Ma, Pleistocene medio), corrispondente alla superficie QC3 di ISPRA (2015) nonché alla base del Gruppo Acquifero A di REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002).

Questa unità è caratterizzata dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequenti ciottoli, spesso mal selezionate, localmente cementate, in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane e sabbie ghiaiose. Le ghiaie sono prevalentemente *clast supported*, mal stratificate, passanti localmente a sabbie ghiaioso ciottolose interpretabili come sequenze amalgamate o incomplete di cicli *fining upward*. Litologie fini (limi e limi argillosi) sono talora presenti, ma con ridotta continuità laterale. La scarsità di livelli sabbiosi e di successioni *fining upward* ben definite sembra testimoniare la presenza di frequenti fenomeni di erosione in un ambiente fluviale di alta energia. L'ambiente deposizionale è riferibile ad una piana alluvionale fluvioglaciale, di tipo *braided* prossimale, data la grossolanità dei sedimenti e la loro scarsa organizzazione. Dal punto di vista climatico, permangono le condizioni complessivamente temperato-freddo-secche già instauratesi con il supersintema Lombardo Inferiore, con vegetazione aperta (tipo steppa) a pini e betulle e locali paludi a *Cyperaceae* (cfr. Appendice 2.3).

Il riconoscimento di dettaglio della superficie basale di questa unità presenta alcuni elementi di incertezza: partendo dalle ricostruzioni regionali ed analizzando le caratteristiche dei sedimenti, essa è stata collocata, dove presenti, in corrispondenza di depositi fini arrossati interpretabili come paleosuoli (Sondaggio RL10), unitamente a depositi colluviali riconosciuti in sondaggio o dedotti dalle descrizioni stratigrafiche presenti nella Banca Dati Geologica di Sottosuolo.

Questa unità di sottosuolo comprende verosimilmente tutte le seguenti unità geologiche di superficie, mappate nel foglio: sintema di Binago (**BIN**); supersintema di Venegono (**VE**), supersintema di Besnate (**BE**), a sua volta comprendente le unità di Sumirago (**SUM**), Guanzate (**BEZ**), Cadorago (**BEE**), Minoprio (**BMI**) e Bulgarograsso (**BXE**); sintema di Cantù (**LCN**) e subsintema Ronchetto delle Rane (**LCN₄**); sintema del Po (**POI**) (cfr. Schema dei rapporti stratigrafici della Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano).

Spessore: 60 m.

Età: Pleistocene medio – Olocene.

1.2 - UNITÀ DI SUPERFICIE

1.2.1. - *Supersintema del Bozzente (BO)*

Definizione. Ghiaie massive pedogenizzate (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli evoluti; colore della matrice da 10YR a 7.5YR. Copertura loessico-colluviale a stratigrafia complessa, con glosse e orizzonti a *fragipan*.

Sinonimia. Unità istituita da BINI (BINI, 1987), corrispondente a: *Diluvium Antico* (Fluvioglaciale Mindeliano) (COMIZZOLI *et alii*, 1969); Fluviglaciale Mindel (MONTRASIO *et alii*, 1990).

Area di affioramento. L'unità coincide con il pianalto delle Groane: affiora al limite settentrionale del Foglio 118-Milano, tra Cesate-Limbiato e Ospiate; un lembo isolato affiora in corrispondenza dell'abitato di Arese.

Litologia. L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali: ghiaie massive pedogenizzate. Supporto clastico o al limite tra supporto clastico e di matrice. Matrice: sabbie limoso argillose; sabbie argillose; limi sabbiosi debolmente argillosi. Clasti arrotondati/subarrotondati, centimetrici (dimensioni prevalenti 1-5 cm, dimensione massima osservata 15 cm).

La composizione petrografica è dominata da rocce endogeno-metamorfiche, tra cui prevalgono metamorfiti e intrusive basiche, quarzo filoniano, vulcaniti e rocce terrigene.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. La superficie limite superiore è caratterizzata da:

- suoli evoluti di spessore non valutabile, perché sempre superiore alle profondità raggiunte negli scavi (massimo spessore osservato 2 m). Colore della matrice prevalente 9-10YR, con punte di 7.5YR. Patine argillose; patine e concrezioni Fe-Mn;

- alterazione: gabbri e metagabbri da fragili ad alterati, con *cortex* millimetrici (massimo 4 mm); metamorfiti sfaldabili in funzione del grado di scistosità; vulcaniti fragili; terrigene completamente alterate;

- sequenze sommitali costituite da una copertura loessico/colluviale complessa, articolata in *coltre loessica inferiore* e *coltre loessica superiore*.

Coltre loessica inferiore. Costituita da limi argillosi, con scarsa componente sabbiosa. Nella matrice prevale un colore di 10YR e subordinatamente 7.5YR, con diffuse screziature da ossidazione e riduzione (*pseudogley*). I *loess* sono caratterizzati dalla presenza di orizzonti eluviali, glosse (lingue di materiale decolorato) ad andamento prevalentemente subverticale e *fragipan* (orizzonti induriti di origine pedogenetica). L'aggregazione è fortemente espressa, con forme prismatiche e, più raramente, poliedriche angolari e lamellari. Patine e

noduli di Fe-Mn da comuni ad abbondanti; forme comuni sono rappresentate da cavità centimetriche, riempite da accumuli di argilla scura con spessori superiori al centimetro.

La sequenza di orizzonti più ricorrente è così definibile (dall'alto):

- orizzonte eluviale (E), completamente sbiancato e impoverito della frazione argillosa, di spessore pluridecimetrico;
- orizzonte composito (E/Btx), in cui glosse dell'orizzonte E penetrano in profondità nel *fragipan*; nelle forme più degradate, le glosse possono costituire un reticolo, che isola porzioni di *fragipan*. Spessore metrico.
- un orizzonte compatto, che costituisce la parte di *fragipan* non raggiunta dalla degradazione pedologica. In una sezione esso passa, con limite netto, a un altro orizzonte a *fragipan*, più arrossato (7.5YR) e strutturato del soprastante.

Coltre loessica superiore. Costituita da sedimenti limosi (limi debolmente argillosi; limi sabbiosi debolmente argillosi) massivi, con diffusi clasti millimetrici residuali spigolosi o, meno comunemente, centimetrici, alterati. Prevalgono colori 7.5YR, in genere con *value* e *chroma* intermedi, ma sono diffusi anche colori 10YR. Aggregazione pedogenetica ben espressa; comuni patine argillose sulle facce dei *peds*; molto raramente si osservano sottili glosse ad andamento verticale e patine e noduli di Fe-Mn. La diffusa presenza di clasti indica fenomeni di rideposizione (depositi loessico-colluviali)

Il limite superiore è una superficie erosionale su cui poggia in discordanza l'unità di Cadorago, sia a E che a O delle Groane.

Il limite inferiore è una superficie erosionale che taglia unità più antiche non note. Oltre che dedotto su base morfologica, il limite è stato osservato a Ospiate, dove il supersintema del Bozzente copre in discordanza, a profondità variabile tra 2,2 e 3,9 m, sabbie limose massive screziate e ghiaie fortemente alterate, di attribuzione incerta.

Morfologia e paleogeografia. L'unità è associata alla superficie terrazzata più elevata dell'intero foglio, riconducibile ad una piana fluvio-glaciale alimentata dai lobi lariani del ghiacciaio dell'Adda durante l'evento glaciale Bozzente (Foglio 096-Seregno).

Nel Foglio 118-Milano ricade solo il settore terminale di questo pianalto, che si estingue all'altezza di Ospiate. A E il supersintema è delimitato da una scarpata netta, con dislivelli massimi dei 10 m circa, che può essere agevolmente seguita fino all'incrocio con il canale Villorresi; a S del canale l'evidenza morfologica diminuisce bruscamente, fino ad annullarsi. Il limite occidentale è marcato da una discontinuità morfologica meno netta, con dislivelli medi di 2-3 m che tendono a diminuire verso S; a

S del Castellazzo di Bollate scompare ogni evidenza morfologica e il limite è tracciato per interpolazione tra le rare sezioni osservate.

In corrispondenza di Arese è presente un lembo isolato dell'unità, circondato su tutti i lati da depositi del supersistema di Besnate. Solo nella sua parte centro-settentrionale sono riconoscibili scarpate a basso angolo (Siolo), localmente accentuate da scavi di vecchie cave (C.na Scessa); per il resto il limite è stato definito in base a debolissimi cambi di pendenza al piede della scarpata, spesso al limite della percezione.

Per questi motivi, le geometrie proposte per il settore di chiusura (area Arese-Ospiate) dell'unità risentono di un certo grado di soggettività.

Dal punto di vista morfologico, la superficie del pianalto è, attualmente, assai articolata. Questa articolazione deriva da:

- una fitta rete drenante, sia attiva che fossile. I corsi d'acqua principali (Torrenti Guisa, Nirone, Cissara, Pudica, Lombra, da O a E) hanno scavato valli profonde fino a 10 m, sviluppate prevalentemente in direzione NNO-SSE, con sistemi di terrazzi fluviali interni, le cui principali superfici sembrano raccordarsi morfologicamente con quelle dell'unità di Cadorago, sul lato orientale delle Groane.

- diffusione di cave per lo sfruttamento di argilla. Le coperture loessiche pedogenizzate presenti alla sommità delle ghiaie, a prevalente litologia limoso argillosa, sono state a lungo sfruttate per la produzione di laterizi. A causa del ridotto spessore della copertura (in genere nell'ordine di 2-3 m, con massimi segnalati di 5 m) le cave si sono enormemente sviluppate in ampiezza, soprattutto tra gli anni '50 e '70, giungendo a interessare, in questo settore terminale, la quasi totalità del pianalto. Questo radicale rimodellamento delle superfici (unitamente alla scarsità di sezioni significative) ha reso impossibile il riconoscimento di eventuali altre unità che hanno concorso alla costruzione dell'altopiano.

Età. Per posizione stratigrafica e caratteri dell'alterazione il supersistema del Bozzente viene attribuito al Pleistocene medio (BINI, 1997; ZUCCOLI, 1997).

1.2.2. - Sintema di Binago (BIN)

Definizione. Ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli evoluti con spessore sempre superiore a 2 m; colore della matrice 7.5YR e 10YR. Copertura loessico-colluviale semplice sistematicamente presente.

Sinonimia. Unità istituita da ZUCCOLI (1997), corrispondente a: Diluvium Medio (Fluvioglaciale rissiano I) (COMIZZOLI *et alii*, 1969); Fluvioglaciale Riss (MONTRASIO *et alii*, 1990).

Area di affioramento. L'unità affiora in tre distinte e limitatissime aree, prossime al limite settentrionale del foglio: Origgio; Cesate e Monza. Si

tratta, con l'eccezione dell'area monzese, di affioramenti con estensione di pochi ettari.

Litologia. L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali: ghiaie a prevalente supporto clastico; matrice sabbiosa e sabbioso limosa. Clasti arrotondati/subarrotondati, centimetrici (in prevalenza) e decimetrici. Da massive a grossolanamente stratificate.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. La superficie limite superiore è caratterizzata da:

- suoli evoluti (Alfisuoli e Ultisuoli) con spessore massimo superiore a 3 m; colore della matrice 7.5YR. Si caratterizzano per la spinta decarbonatazione del profilo ed una marcata traslocazione d'argilla, che ha dato origine a orizzonti Bt spessi e ben espressi (abbondanti e spesse patine argillose sulle cavità dei clasti e sulle facce degli aggregati). L'alterazione interessa marne e vulcaniti (completamente alterate), calcari (in parte argillificati/decarbonatati) e, in misura minore, metamorfiti scistose (facilmente sfaldabili a mano). Questi caratteri pedologici devono essere ritenuti l'espressione minima del grado di evoluzione del suolo, perchè le osservazioni sono riferite a sezioni aperte in prossimità delle terminazioni dei terrazzi, dove agiscono più intensamente i processi erosivi;

- sistematica presenza di copertura eolica di spessore metrico, in discontinuità sulle ghiaie, costituita da limi, da sabbiosi a debolmente argillosi, massivi, con diffusi clasti millimetrici residuali spigolosi, alterati; colore prevalente 7.5YR. Aggregazione pedogenetica ben espressa; comuni patine argillose e patine e noduli di Fe-Mn sulle facce dei peds.

Il limite superiore è una superficie erosionale su cui poggiano le coltri loessiche, le unità di Guanzate, Cadorago, Minoprio e, solo in area Origgio, di Sumirago. Il limite inferiore coincide con una superficie d'erosione che taglia unità più antiche non affioranti nel foglio.

Morfologia e paleogeografia. Il sintema è morfologicamente associato a piane fluvioglaciali edificate durante l'evento Binago, da scaricatori provenienti dai lobi glaciali di Como e Lecco (Foglio 096-Seregno). Nel foglio sono unicamente presenti le estreme propaggini di tali piane, profondamente erose e isolate dai successivi eventi glaciali Besnate.

In tutte le aree di affioramento, l'unità è delimitata da scarpate morfologicamente evidenti, con l'eccezione del limite occidentale del terrazzo di Monza, rappresentato da un piano inclinato di difficile individuazione.

Età. Per caratteri pedologici e posizione stratigrafica il sintema di Binago è attribuito al Pleistocene medio (ZUCCOLI, 1997).

1.2.3. - Supersintema di Besnate

Il supersintema di Besnate è costituito esclusivamente da depositi fluvioglaciali, caratterizzati da profili d'alterazione moderatamente evoluti, che strutturano gran parte della pianura nel Foglio 118-Milano.

Il supersintema è stato istituito (DA ROLD, 1990) nell'anfiteatro del Verbano e progressivamente esteso all'intera lombardia.

Nel Foglio 118-Milano, comprende depositi che dagli autori precedenti sono stati in parte attribuiti al Riss ed in parte al Würm: "Diluvium medio (fluvioglaciale rissiano I); Diluvium recente (fluvioglaciale rissiano II-würmiano)" (COMIZZOLI *et alii*, 1969); "fluvioglaciale e fluviale Riss; fluvioglaciale e fluviale Würm" (MONTRASIO *et alii*, 1990).

In base alle relazioni morfologiche, esso è stato suddiviso in numerose unità, leggermente differenti per sequenze sommitali, suoli supportati e composizione petrografica, sintetizzate nella tabella 8.

Tab. 8 – Schema unità del supersintema di Besnate.

unità	litologia	copertura	spessore suolo ¹	colore matrice	petrografia
Sumirago	ghiaie	loessico-colluviale	2 m	7.5YR-10YR	REM* e porfidi prevalenti
Guanzate	ghiaie prevalenti	non riconoscibile-assente	1,5 - 1,8 m	7.5YR (5YR)	REM, marne e terrigene REM e calcari prevalenti
Cadorago	ghiaie; sabbie limose	presente ad O delle Groane	1,5-2 m	7.5YR	REM, rocce terrigene, calcari marnosi/marne REM e rocce carbonatiche prevalenti
Minoprio	ghiaie prevalenti	non riconoscibile-assente	1,5 m	7.5YR-10YR	REM e porfidi prevalenti REM, marne e terrigene
Bulgarograsso	ghiaie	non riconoscibile-assente	~1 m (su LFP**)	7.5YR-10YR	REM*, marne e terrigene

*REM = rocce endogene metamorfiche

**LFP = livello fondamentale della pianura

¹ Per spessore del suolo si intende il dislivello tra la sommità dell'orizzonte superiore conservato e la profondità dell'orizzonte C; non coincide con il profilo di alterazione, che indica la massima profondità raggiunta dall'alterazione all'interno dell'orizzonte C.

Nonostante l'elevato numero di unità riconosciute, la litologia è alquanto omogenea, differendo, in parte, per le unità di Minoprio e Guanzate, che, occupando aree molto estese e spingendosi fino al limite meridionale del foglio, presentano una certa variabilità nelle sequenze sommitali.

Il supersintema di Besnate, con le eccezioni sopracitate, è costituito da depositi fluvioglaciali: ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa o sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate; ghiaie a supporto di matrice; sabbie medie e grossolane. Clasti poligenici da arrotondati a subarrotondati, in prevalenza centimetrici.

Il supersintema di Besnate è un'unità polifasica pre-LGM. Per quanto riguarda l'area in oggetto, le relazioni sono state stabilite in base alle relazioni geometriche e morfologiche con le fronti glaciali immediatamente esterne a quelle più recenti dell'anfiteatro canturino. Nell'area del Verbano, la radiodatazione di suoli sepolti attribuiti a questo supersintema ha fornito età comprese tra 26.500 e 32.200 anni C^{14} (DA ROLD, 1990).

Pertanto, il supersintema di Besnate viene attribuito all'intervallo tardo Pleistocene medio – Pleistocene superiore.

1.2.3.1. - Unità di Sumirago (SUM)

Definizione. Ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa o sabbioso limosa (depositi fluvioglaciali).

Superficie limite superiore caratterizzata da suoli evoluti con spessore compreso tra 1,5-2 m e colore 7.5YR. Copertura colluviale e discontinua copertura loessica.

Sinonimia. Unità istituita da DA ROLD (1990).

Area di affioramento. L'unità affiora in un piccolo areale al limite NO del foglio.

Litologia. È costituita da depositi fluvioglaciali: ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate; clasti centimetrici e decimetrici da subarrotondati ad arrotondati.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. La superficie limite superiore è caratterizzata da Inceptisuoli desaturati e Alfisuoli con spessori compresi tra 1,5 e 2 m, in genere piuttosto rubefatti (7.5YR).

Alla sommità è presente una copertura colluviale (o fluviale) di spessore ridotto, in genere non superiore a 0,5 m, alimentata dai sedimenti loessici del contiguo alto di Origgio, che giace direttamente sulle ghiaie o, in alcuni casi su limi sabbiosi o limi sabbioso argillosi, privi di clasti, con

spessore inferiore al metro, interpretati come *loess*. Se l'interpretazione è corretta, si tratta dell'unica unità del supersintema di Besnate presente sulla superficie fondamentale della pianura dotata di copertura loessica.

L'unità poggia su una superficie erosionale che incide il sintema di Binago (terrazzo di Origgio, immediatamente a N del limite del foglio); essa è a sua volta erosa e parzialmente ricoperta da depositi dell'unità di Minoprio.

Morfologia e paleogeografia. Nel foglio è presente la terminazione dell'unità, associata ad una piana fluvioglaciale edificata da scaricatori alimentati da lobi glaciali provenienti dal varesotto (NNO). La piana è delimitata da superfici a basso angolo, ben definite a O, di difficile identificazione a E, derivate dalla concomitante azione erosiva dei torrenti Bozzente e del Lura.

1.2.3.2. - Unità di Guanzate (**BEZ**)

Definizione. Ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa o sabbioso limosa e localmente sabbie limose con clasti residuali: depositi fluvioglaciali.

Superficie limite superiore caratterizzata da suoli da evoluti a moderatamente evoluti, con spessore inferiore a 2 m; colori da 10YR a 7.5YR. Privo di evidente copertura loessica.

Area di affioramento. L'unità è diffusa nella vasta area tra Seveso e Lambro. Essa parte dal limite settentrionale, tra Varedo e Monza e prosegue in direzione N-S fino all'altezza di Monluè (sul fiume Lambro).

Litologia. L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali di natura ghiaioso-sabbiosa: ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate.

Le ghiaie formano l'ossatura della pianura in tutta l'area di affioramento dell'unità, ma supportano differenti sequenze sommitali.

Le tipologie individuate sono le seguenti:

- tra il limite settentrionale del foglio ed il limite dell'urbanizzato della città di Milano e, più a E, fino all'altezza di Brugherio, le ghiaie arrivano alla superficie; possono essere discontinuamente presenti sedimenti sabbioso-ghiaiosi, completamente pedogenizzati, con spessore medio di circa 0,5 m che poggiano con limite netto su esse.

- in tutto il settore settentrionale sono presenti, molto discontinuamente, depositi limosi rubefatti, a contenuto variabile di sabbie e argilla, con clasti sparsi; presentano tipicamente geometrie nastriformi di lunghezza decametrica, a sezione concava, con spessori massimi osservati di circa 2m. Sono interpretati come sedimenti di suolo fluitati in un reticolo di drenaggio secondario inciso nelle ghiaie. Questi depositi sono stati

osservati solo puntualmente ed essendo privi di espressione morfologica, non è stato possibile tracciarne i limiti cartografici.

Dal punto di vista petrografico, nelle ghiaie si riconoscono due distinti raggruppamenti:

- il primo è esemplificato da un conteggio petrografico speditivo (50 clasti) in una sezione presso Senago, che ha fornito i risultati riportati in tabella 9.

Tab. 9 – Composizione percentuale della petrografia dei clasti dell'unità di Guanzate (presso Senago).

<i>litologia</i>	<i>%</i>
rocce endogeno-metamorfiche	42
calcari/dolomie marnose e marne	28
rocce terrigene	17
vulcaniti	11

Il tratto petrografico distintivo è l'assenza di rocce carbonatiche pure e la presenza, da comune a scarsa, di rocce terrigene. Questa composizione petrografica indica un'alimentazione da parte di un ramo del lobo glaciale comasco che passava per la valle del Seveso.

- nel secondo prevalgono ancora le rocce endogeno-metamorfiche, a metamorfiti (tra cui serpentiniti) dominanti, accompagnate da elevate percentuali di calcari e da quantità subordinate di quarzo, calcari marnosi/marne e porfiriti. La composizione petrografica si distingue dalla precedente per l'abbondanza di calcari e la sostanziale assenza di rocce terrigene e indica una differente area di alimentazione, legata al bacino del fiume Lambro.

Superficie limite superiore e rapporti stratigrafici. La superficie limite superiore è caratterizzata da Alfisuoli con spessori compresi tra 1 m e 1,7 m (in media 1,5 m), a prevalente matrice limosa sabbiosa debolmente argillosa, di colore variabile da 10YR a 7.5YR, con punte di 5YR. Il grado di rubefazione aumenta spostandosi verso E, cioè in direzione dell'aumento dei clasti carbonatici nelle ghiaie.

L'alterazione interessa circa il 40% dei clasti: i calcari marnosi e le marne sono decarbonatati, alterate le vulcaniti e parte delle terrigene.

Spostandosi verso S il grado evolutivo dei suoli sviluppati sulle ghiaie diminuisce, passando a orizzonti diagnostici di tipo cambico, mentre tende ad aumentare la frequenza di suoli sepolti (orizzonti A(AB)(AC)/C).

Il limite inferiore è una superficie erosionale che taglia il sintema di Binago (parco della Villa Reale di Monza).

Il limite superiore coincide in parte con la superficie topografica, in parte con una superficie erosionale su cui giacciono i depositi di piana alluvionale del sintema di Cantù di provenienza Seveso e del sintema del Po (unità postglaciale).

Inoltre, nel settore settentrionale del foglio, l'unità poggia a profondità di 5-6 m circa su orizzonti profondi (CB) di un suolo sepolto, di attribuzione incerta (Binago?).

1.2.3.3. - Unità di Cadorago (**BEE**)

Definizione. Ghiaia a supporto clastico o di matrice, con matrice sabbiosa; intercalazioni sabbiose; sabbie limoso argillose; limi con clasti sparsi (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con profondità di compresa tra 1,5 e oltre 2 m. Copertura loessico-colluviale localmente conservata (ad O delle Groane).

Area di affioramento, superfici limite e rapporti stratigrafici. L'unità affiora in due distinti settori del foglio:

1) Settore NO

Ad O delle Groane. L'unità è morfologicamente associata al terrazzo di Garbagnate-Cesate e costituita da ghiaie. La petrografia è caratterizzata, similmente a quella delle unità contigue, da rocce endogene metamorfiche, quarzo, rocce terrigene e calcari marnosi/marne.

La superficie limite superiore dell'unità è caratterizzata da:

- suoli evoluti (Alfisuoli) con spessore superiore a 2 m e colori della matrice da 10YR a 7.5YR; la parte sommitale del suolo può essere a supporto di matrice. L'alterazione è moderata: interessa rocce terrigene e marne e, in bassa percentuale, metamorfiti e intrusive.
- sistematica presenza di copertura loessica semplice, di spessore metrico, in discordanza sulle ghiaie.

Il limite superiore è una superficie erosionale su cui poggiano le unità di Minoprio e di Bulgarograsso. Il limite inferiore è una superficie erosionale che incide il sintema di Binago e il supersintema del Bozzente.

L'unità è associata a un terrazzo, internamente articolato, che termina all'altezza di Arese. Sul lato occidentale è limitata da una scarpata con dislivelli di circa 2 m, che decorre in direzione N-S all'interno dell'abitato di Caronno; all'altezza di Cesate Biscia la scarpata scompare e l'andamento del limite è solo ipotizzabile. Verso E è delimitata dapprima da un evidente paleoalveo (unità di Bulgarograsso), poi da un lembo del pianalto delle Groane, isolato dall'erosione.

La composizione petrografica delle ghiaie indica che l'unità rappresenta una piana fluvioglaciale alimentata da scaricatori provenienti dal ramo comasco del ghiacciaio lariano.

Ad E delle Groane. L'unità è associata a una stretta fascia, con larghezza di circa 1 Km, compresa tra Limbiate e Ospiate, addossata alla base della scarpata del pianalto. Sono, presenti coperture sabbioso limose, con contenuto variabile d'argilla, pedogenizzate per l'intero spessore (1 m circa). Il confronto con le tessiture delle coperture presenti sulle unità Besnate più antiche (ricavate da ERSAL, 1999a,b) ha fornito i risultati riportati in tabella 10.

Tab. 10 – Tessitura delle coperture nell'unità Cadorago.

	sabbia totale (%)	limo totale (%)	argilla (%)
copertura unità Cadorago (E Groane)	40-50%	34-39%	10-26%
copertura unità Cadorago (O Groane)	25%	50-65%	12-24%
	23-26%	47-70%	6-29%

Le nette differenze tessiturali portano ad interpretare i sedimenti di copertura dell'unità di Cadorago, che presentano percentuali di sabbia quasi doppie e percentuali di limo inferiori del 10-30% rispetto alle coperture delle unità più antiche, come depositi fluviali di esondazione. La tassonomia di questi suoli (*Ultisols*), suggerisce, inoltre, la presenza di una componente colluviale, proveniente dal contiguo alto delle Groane.

I depositi sommitali poggiano su ghiaie pedogenizzate, con profilo evoluto (Alfisuoli, con spessori di circa 1,5 m).

2) Settore NE

In questo settore l'unità è presente tra Villasanta e Brugherio, in sponda sinistra del fiume Lambro; un ridotto lembo è anche presente in riva destra, all'altezza del parco di Villa Reale di Monza.

Litologicamente essa è costituita da: ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa; ghiaie a supporto di matrice sabbiosa. Ciottoli da arrotondati a subarrotondati, centimetrici, con dimensioni massime di 40 cm; localmente embriciati. Alla sommità si osservano sottili orizzonti di limi massivi a clasti sparsi, talora alternati a livelli sabbiosi. La petrografia delle ghiaie è poligenica, con prevalenza di rocce endogene e metamorfiche e carbonati; seguono rocce terrigene, tra cui Verrucano e litotipi flyschoidi.

La superficie limite superiore mostra un profilo d'alterazione moderatamente evoluto, caratterizzato da Alfisuoli. Il colore prevalente della matrice è 10YR, con punte di 7.5YR; la profondità dell'orizzonte C è compresa tra 1,5 e 2 m; gli orizzonti profondi possono presentare spessori notevoli (fino a 50-60 cm).

L'alterazione interessa le rocce carbonatiche e flyschoidi (decarbonatate) e le rocce cristalline e metamorfiche, che negli orizzonti più superficiali possono essere alterate fino al 50%.

Il limite superiore è inciso e terrazzato dall'unità di Minoprio. Il limite inferiore è una superficie erosionale che taglia il sintema di Binago e l'unità di Guanzate.

L'unità forma una superficie omogenea, interessata da una forte urbanizzazione; in sponda destra del Lambro, la superficie è anche fortemente rimaneggiata da interventi antropici secolari (Parco della Villa di Monza). In questo settore i limiti morfologici dell'unità sono evidenti, perché essa è interrotta, fino all'altezza di C.na Cernuschi, dalla forra del Lambro. In sponda sinistra il limite morfologico è molto meno netto, in quanto, ad eccezione del tratto di Villasanta, dove si riconosce ancora una modesta scarpata, è costituito da un piano debolmente inclinato che raccorda le due superfici adiacenti. A S del limite comunale con Brugherio, l'identificazione è problematica e le due unità sembrano fondersi in un'unica superficie.

Morfologia e paleogeografia. L'unità rappresenta la terminazione sud-occidentale di una più vasta piana fluvioglaciale, smembrata dall'erosione in più lembi, che prende origine dalle morene di Pagnano-Merate-Paderno d'Adda (lobo glaciale dell'Adda) (STRINI, 2001).

1.2.3.4. - Unità di Minoprio (**BMI**)

Definizione. Ghiaie a supporto clastico e di matrice; matrice sabbiosa e sabbioso limosa; limi ghiaiosi; sabbie, sabbie limose e limi (depositi fluviglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con spessore medio di 1,5 m; colore della matrice 10YR e 7.5YR; presenza di suoli sepolti nel settore meridionale del foglio. Copertura loessica non osservata.

Litologia. L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali: ghiaie a supporto clastico; matrice sabbiosa e sabbioso limosa. Clasti arrotondati/subarrotondati, in prevalenza centimetrici (dimensioni più frequenti tra 1-5 cm; dimensione massima osservata 20 cm circa). Ghiaie da massive a grossolanamente stratificate.

Queste ghiaie costituiscono l'ossatura dei settori occidentale e orientale del foglio giungendo fino al suo limite meridionale. Nei due settori sono presenti successioni sommitali caratteristiche.

1.2.3.4.1. - Settore occidentale

Nel settore occidentale, il più esteso, le tipologie principali di sequenze sommitali sono:

- tra Lucernate, Triulza e Cornaredo si osservano, sempre discontinuamente, coperture che suturano sequenze ghiaiose-sabbiose contenenti resti vegetali (radici), con spessori prossimi a 2 m. Sequenze analoghe si rinvencono anche più a S (Trezzano sul Naviglio).

La datazione $^{14}\text{C}_2$ di alcuni resti vegetali in due sezioni e poste nella zona settentrionale (Triulza) e meridionale (Trezzano sul Naviglio) del foglio ha fornito i risultati riportati in tabella 11.

Tab. 11 – Datazioni ^{14}C su resti vegetali dell'unità di Minoprio (settore occidentale).

sezione	età ^{14}C	età calibrata ₃ (2σ)
Triulza (Rho)	4690 ± 45	5371 - 5486 BP (3367 - 3536 BC)
Trezzano sul Naviglio	3265 ± 45	3386 - 3588 BP (1436 - 1638 BC)

Se le età sono corrette (trattandosi di radici potrebbero essersi verificati fenomeni di contaminazione con carbonio più recente), la successione sommitale daterebbe alla parte intermedia dell'Olocene.

- in tutto il settore settentrionale sono discontinuamente presenti sedimenti fini rubefatti a clasti sparsi, che costituiscono il riempimento di canali incisi nelle ghiaie, fluitato dai suoli delle superfici circostanti.

- a S di Cornaredo-Pero e fino al limite meridionale del foglio, sono presenti sequenze sommitali di sedimenti fini attribuite al sintema di Cantù (subsintema di Ronchetto delle Rane).

Dal punto di vista petrografico si distinguono due aree differenti di alimentazione.

Nella parte settentrionale del foglio, fino all'altezza di Origio-Garbagnate Milanese, la petrografia è dominata da marne e calcari/dolomie marnose (44% in un conteggio petrografico speditivo su 50 clasti), seguite da rocce endogene metamorfiche (27%), vulcaniti (17%) e rocce terrigene a cemento carbonatico (5%). Tale composizione indica un'alimentazione legata allo scaricatore del lobo di Faloppio, il più occidentale tra quelli del ramo lariano del Ghiacciaio dell'Adda (Foglio 096-Seregno).

² Datazione effettuata presso "The Angstrom laboratory" (Department of Engineering Sciences-Division of Ion Physics, Università di Uppsala)

³ Calibrazione effettuata con il programma OxCal v4.1.5 (BRONK RAMSEY, 2009); curva di riferimento IntCal09 (REIMER *et alii*, 2009). Le date, calibrate a 2σ (σ = deviazione standard), sono espresse in anni dal presente (BP) e avanti/dopo Cristo (BC/AD). Per *presente* si intende, convenzionalmente, l'anno 1950.

A S del precedente areale fino al termine del foglio, la composizione petrografica è dominata da rocce endogeno-metamorfiche e da rocce ipoabissali/vulcaniche, con quantità subordinate di rocce terrigene, a cemento quasi esclusivamente carbonatico e quantità variabili di quarzo e selci; le rocce carbonatiche pure sono assenti. Le litologie *marker* (porfidi rosa e vulcaniti) indicano un'alimentazione da parte del bacino del fiume Olona.

Superficie limite superiore e rapporti stratigrafici. La superficie limite è di difficile caratterizzazione per la differenziazione delle sequenze sommitali che seppelliscono le ghiaie.

I caratteri distintivi dei suoli vanno ricercati nel settore settentrionale del foglio, dove le ghiaie affiorano direttamente o sono coperte da sottili livelli colluviali. Si osservano Alfisuoli con spessori medi attorno a 1,5 m (massimo osservato 2 m, per la presenza di un orizzonte di transizione al substrato particolarmente spesso), a matrice prevalentemente limoso sabbiosa, moderatamente rubefatta (colore da 10YR a 7.5YR). L'alterazione interessa le rocce terrigene carbonatiche (sempre decarbonatate), le vulcaniti (50% facilmente frantumabili a mano) e i porfidi; poco o non alterate le rocce cristalline.

Spostandosi verso S si passa a suoli morfologicamente simili ai precedenti, ma di grado evolutivo minore (Inceptisuoli e Entisuoli), che caratterizzano tutta la restante parte di pianura costruita su queste ghiaie.

Il limite superiore coincide in parte con la superficie topografica, in parte con una superficie erosionale su cui poggiano le ghiaie del sintema di Cantù, le sequenze sabbiose e limoso argillose del subsintema di Ronchetto delle Rane e depositi fluviali del sintema del Po (unità postglaciale).

Il limite inferiore è una superficie erosionale, che taglia le unità di Sumirago e Cadorago.

Morfologia e paleogeografia. L'unità è caratterizzata da un'estrema omogeneità morfologica, che rende molto difficile l'individuazione di limiti litologici e stratigrafici. L'unica discontinuità morfologica di rilievo si osserva tra Caronno Pertusella e Lainate, in corrispondenza del limite con il sintema di Cantù: è rappresentata da una scarpata metrica discontinua che, spostandosi verso S passa ad una piano inclinato a basso angolo, fin a perdere ogni evidenza.

La superficie modale, pur essendo percorsa da una fitta rete di drenaggio, oggi quasi completamente artificializzata, appare estremamente livellata. Le depressioni in cui scorrono fontanili e cavi, il cui frequente andamento sinuoso e non regolare rivela un'origine naturale, sono generalmente poco o non percettibili all'osservazione diretta. La carta di semidettaglio dei suoli ERSAL (scala 1:50.000), realizzata sulla base di fotointerpretazione e di un elevato numero di osservazioni pedologiche di

terreno (in media 4 per Km²) è lo strumento individuato per delimitare variazioni litologiche e morfologiche all'interno di questo tratto di pianura. La carta evidenzia una situazione di estrema variabilità, che vede la pianura ghiaiosa solcata da una fitta, quanto assai poco percettibile, rete di depressioni allungate in direzione NNO-SSE, parzialmente colmate da sedimenti sabbiosi e limosi o, più comunemente, ghiaiosi. Densità particolarmente elevate della rete di drenaggio si riconoscono a S di Rho, tra Vighignolo, Pero e Quinto Romano (nella presunta direzione del paleoalveo del fiume Olona prima della deviazione di età romana, avvenuta attorno al 130-140 D.C.) e tra Settimo Milanese e Cesano Boscone.

L'unità forma un esteso *sandur* alimentato da scaricatori glaciali provenienti dal varesotto e dal comasco. L'alimentazione del lobo comasco di Faloppio è assolutamente secondaria: essa è limitata alla porzione di piana fluvioglaciale confinata tra le unità del supersistema di Besnate più antiche che bordano l'attuale valle della Lura e termina già all'altezza di Garbagnate. La restante parte di pianura è aggradata da ghiaie la cui composizione petrografica indica chiaramente, per la sistematica e abbondante presenza di porfidi rosa e vulcaniti, attualmente di pertinenza Olona, una provenienza dal varesotto.

All'interno di questa superficie morfologicamente unitaria, nelle foto aeree del volo GAI 1954/55 sono distinguibili con grande chiarezza geometrie particolari nella parcellizzazione del terreno, che riflettono pendenze e andamento complessivo del drenaggio. Esse identificano grandi direttrici di flusso, in rapporto di troncatura, i cui limiti non hanno un evidente riscontro morfologico sul terreno.

Gli elementi più evidenti si situano all'estremo occidentale del foglio, dove un flusso con direzione NO-SE (parallelo all'attuale corso dell'Olona) viene nettamente troncato da un altro flusso con direzione all'incirca NNO-SSE e andamento debolmente sinuoso; il limite ricalca approssimativamente l'andamento del torrente Bozzente. All'interno di quest'ultima direttrice si nota un'ulteriore differenziazione: a NE della città di Rho i limiti dei campi descrivono una netta ansa (traiettoria arcuata) che tronca il flusso a direttrice NNO-SSE, per parallelizzarsi ad esso sia poco più a N, tra Rho e Passirana, sia a S.

1.2.3.4.2. - Settore orientale

Nel settore orientale, le sequenze sommitali appaiono più omogenee, presumibilmente per il maggior confinamento del Fiume Lambro e del reticolo idrico secondario rispetto ai corsi d'acqua del bacino Olona.

In base alle rare sezioni osservate e ai dati pedologici (ERSAL, 1993 e 1999 a, b), alla sommità della ghiaie sono presenti orizzonti costituiti da limi ghiaiosi pedogenizzati, di spessore in genere inferiore o molto inferiore al metro.

Solo a partire dall'altezza di Linate si osserva un cambio sistematico nelle coperture, che passano a prevalenti sabbie e sabbie ghiaiose.

I caratteri dei suoli supportati non differiscono da quelli già descritti per il settore occidentale. La petrografia delle ghiaie è dominata da metamorfiti e rocce intrusive, seguite da calcari (20 %), calcari marnosi e quarzo filoniano. Tale composizione è compatibile con un'alimentazione del Lobo glaciale della Brianza, la lingua glaciale proveniente dal ramo lecchese del Lario (cfr. Foglio 096-Seregno).

Superficie limite superiore e rapporti stratigrafici. Il limite superiore coincide in parte con la superficie topografica, in parte con una superficie erosionale che mette l'unità a contatto con il sintema di Cantù e con il sintema del Po.

Inferiormente l'unità poggia con limite erosivo sull'unità di Cadorago. In una cava presso Vimodrone, è stato possibile osservare direttamente il limite inferiore: le ghiaie dell'unità, infatti, ricoprono, ad una profondità di circa 6-7 m, un suolo sepolto profondamente troncato (sono conservati solo gli orizzonti di transizione al substrato pedogenetico BC e/o CB), tentativamente attribuito all'unità di Cadorago. L'andamento della superficie erosionale è marcatamente planare (Fig. 16).

Morfologia e paleogeografia. Dal punto di vista morfologico l'unità è alquanto omogenea, fatto che, unitamente all'estrema antropizzazione nell'area, rende il riconoscimento dei limiti alquanto problematico. Solo nel tratto settentrionale (tra Villasanta e Brugherio, all'uscita della forra del Lambro) e meridionale (a partire da Peschiera Borromeo) essi sono marcati da discontinuità morfologiche di relativamente facile individuazione. In tutti i restanti casi formano piani inclinati a debolissima pendenza, al limite della percecibilità.

A S della linea dei fontanili, la superficie dell'unità è incisa da canali con orientazione N-S, di evidenza morfologica estremamente scarsa, il cui andamento è dedotto principalmente dall'analisi delle basi topografiche di fine '800 (MARRAZZO, 2003), colmati da ridotti spessori di sedimenti sabbiosi o limosi.

Dal punto di vista paleogeografico, questo settore dell'unità rappresenta una piana fluvio-glaciale alimentata da scaricatori provenienti dagli apparati morenici di Veduggio-Renate-Cremella (Lobo glaciale della Brianza, Foglio 096-Seregno).

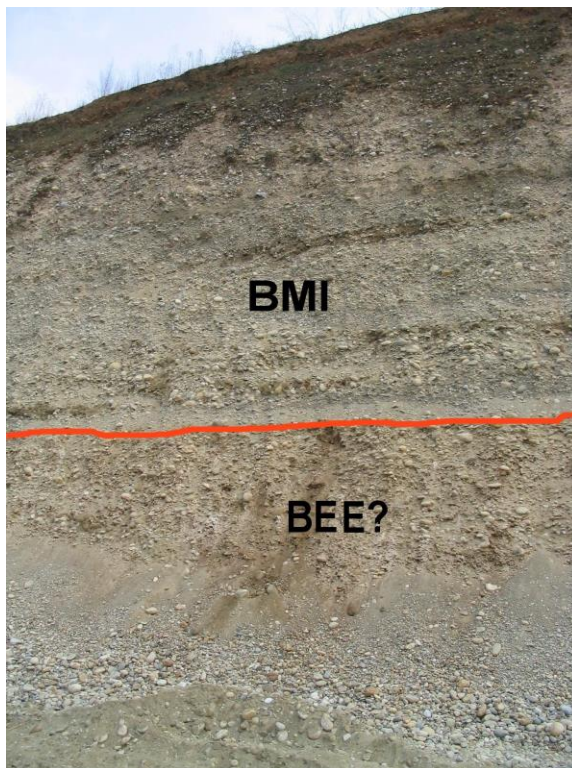


Fig. 16 - Suolo sepolto dall'unità di Minoprio (BMI), ad una profondità di circa 6-7 m (cava G & B, Vimodrone).

1.2.3.5. - Unità di Bulgarograsso (BXE)

Definizione. Ghiaie a prevalente supporto clastico; matrice sabbiosa o sabbioso limosa (depositi fluvio-glaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli da evoluti a moderatamente evoluti, di spessore variabile; colori prevalenti 7.5YR e 10YR. Copertura colluviale (o loessico-colluviale) in area Groane.

Area di affioramento. L'unità forma una ristretta fascia che taglia l'intero foglio, da Cesate a San Giuliano Milanese.

Litologia. Essa è costituita da depositi fluvio-glaciali ghiaioso-sabbioso: ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate; intercalazioni di sabbie e sabbie ghiaiose, che aumentano spostandosi verso S.

Le sequenze sommitali differiscono fortemente: nel settore settentrionale, l'unità è profondamente incassata nel terrazzo delle Groane; sono, pertanto, presenti coperture di sedimenti fini (limi, limi sabbiosi argillosi) rubefatti, derivati in parte dall'erosione di depositi loessici pedogenizzati del pianalto. Al di fuori delle Groane, i depositi di copertura scompaiono e si rinvergono ghiaie fin dalla superficie.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. I caratteri della superficie limite superiore variano in parallelo con la litologia:

1) in area Groane prevalgono suoli acidi e desaturati, di prevalente colore 7.5YR, sviluppati su sedimenti loessici e sedimenti di suolo colluviati. Non sono noti i caratteri di alterazione delle ghiaie, per la mancanza di osservazioni utili;

2) nelle aree a S di Milano, prevalgono suoli moderatamente evoluti (Inceptisuoli e subordianti Alfisuoli) di spessore in genere non superiore al metro, impostati su ghiaie.

Il limite superiore è una superficie erosionale su cui giacciono i depositi erosi dalle unità più antiche, mentre al di fuori delle Groane coincide con la superficie topografica. Il limite inferiore è una superficie erosionale che mette a contatto l'unità con il supersintema del Bozzente, l'unità di Cadorago (Groane) e il sintema di Cantù (livello fondamentale della pianura).

Morfologia e paleogeografia. L'unità di Bulgarograsso corrisponde al più recente degli eventi Besnate. Morfologicamente è associata ad un evidente paleoalveo, profondamente incassato sia rispetto al pianalto delle Groane che alle superfici terrazzate contigue (unità di Cadorago), scavato da uno scaricatore glaciale che prendeva origine dalle morene di Vertemate. Al di fuori delle Groane l'unità concorre alla formazione del livello fondamentale della pianura.

1.2.4. - *Supersintema di Venegono (VE)*

Definizione. Limi sabbiosi argillosi, limi argillosi con clasti alterati sparsi (*loess colluviati*); limi sabbiosi, sabbie limose, ghiaie poligeniche poco alterate (depositi fluviali). Superficie limite superiore con suoli acidi e desaturati derivati da sedimenti di suoli erosi dal pianalto delle groane. Privi di forme proprie (versanti) o con forme ben conservate (terrazzi fluviali). Unità polibasica con età massima posteriore a quella dell'evento glaciale Bozzente.

Sinonimia. Unità istituita da ZUCCOLI (1997) nel varesotto e successivamente estesa a livello regionale.

Area di affioramento. L'area di affioramento è strettamente limitata al pianalto delle Groane.

Litologia. Dal punto di vista litologico, il supersintema è costituito principalmente da:

- depositi di versante (colluvi) - limi sabbioso argillosi, limi argillosi con clasti sparsi; colori prevalenti compresi tra 10YR e 7.5YR. Clasti millimetrici e centimetrici, a carattere residuale o alterati.

- depositi fluviali - sabbie fini e limi con rari clasti sparsi; ghiaie poligeniche a supporto variabile; matrice da sabbiosa a limoso sabbiosa. Colore prevalente 10YR.

Superfici limite e rapporti stratigrafici. Il limite superiore coincide con la superficie topografica attuale quando i depositi dell'unità rappresentano gli ultimi eventi sedimentari.

Il limite inferiore è una superficie erosionale tagliata nelle ghiaie del supersintema del Bozzente o di eventuali altre unità non affioranti.

Morfologia e paleogeografia. I depositi dell'unità, i cui spessori massimi si aggirano attorno ai 3 m, si sono accumulati su questi substrati ghiaiosi o sabbioso-ghiaiosi come "sedimenti di suolo" erosi dal circostante pianalto e ridepositati in ambiente di versante (colluvi) o rielaborati dai corsi d'acqua che percorrevano le valli (depositi fluviali).

I suoli si impostano, quindi, su materiali già desaturati e acidi, ulteriormente pedogenizzati in situ. Quest'evoluzione è registrata nella tassonomia pedologica, che vede il prevalere di Ultisuoli e Alfisuoli ultici.

Date queste dinamiche, l'unità è evidentemente polifasica, in quanto comprende sedimenti appartenenti a più eventi deposizionali, non riconoscibili sul terreno, per l'uniformità litologica delle sorgenti e dei suoli.

Età. Dal punto di vista cronologico, pertanto, il supersintema di Venegono rappresenta un range di età variabili tra il Pleistocene medio e il Pleistocene superiore, la più antica delle quali è successiva a quella del supersintema del Bozzente (Pleistocene medio) sulla base del fatto che i depositi sono interni alle valli incise in quest'ultimo.

1.2.5. - Supersintema dei Laghi: sintema di Cantù (LCN)

Definizione. Ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa; sabbie ghiaiose; sabbie, sabbie limose, limi sabbioso argillosi massivi (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli moderatamente evoluti (Inceptisuoli e subordinati Alfisuoli), con spessori prossimi al metro; colore 10YR e 2.5Y; debole idromorfia nei settori meridionali del foglio. Copertura loessica assente.

Sinonimia. Il sintema corrisponde al Würm *Auct.*, ma in un'accezione molto più ristretta rispetto all'uso tradizionale. Negli studi regionali è stato

indicato come: *Diluvium* recente (Fluvioglaciale rissiano II - würmiano) (COMIZZOLI *et alii*, 1969); Fluvioglaciale e fluviale Würm (MONTRASIO *et alii*, 1990).

L'unità affiora nei seguenti distinti settori del foglio:

- lungo la Lura e l'Olona;
- nel settore NE della città di Milano;
- lungo il fiume Lambro Meridionale a S di Milano;
- lungo il fiume Lambro a E e SE di Milano.

Litologia. Poiché non è possibile caratterizzare in modo univoco da un punto di vista litologico e pedologico i depositi del sintema e poiché ampie aree, particolarmente nel settore occidentale, nel bacino del fiume Olona, sono prive di ogni evidenza morfologica, è possibile che l'unità sia più estesa e rappresentata di quanto indicato.

In tutte le aree l'unità è costituita da depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, che si differenziano per variazioni litologiche nelle sequenze sommitali; le più importanti si osservano lungo il fiume Lambro, a partire da Vimodrone e nelle parti meridionali di pertinenza Olona del foglio, con la comparsa sistematica di sedimenti fini di spessore metrico.

Le ghiaie sono sempre caratterizzate da supporto clastico, matrice sabbiosa o sabbioso limosa e clasti arrotondati/subarrotondati, in prevalenza centimetrici. La petrografia differisce in funzione dei bacini di alimentazione.

Il sintema di Cantù, sulla base di studi regionali è ritenuto espressione dell'ultima glaciazione (LGM): viene pertanto attribuito al tardo Pleistocene superiore. Dal punto di vista della cronologia assoluta, datazioni ^{14}C , effettuate nell'area prealpina e di alta pianura negli ultime decine di anni, hanno permesso di stabilire che esso inizia tra 25.000 e 20.000 anni e termina prima dei 12.000 anni BP (Würm superiore).

Per le differenze litologiche, morfologiche e petrografiche esistenti, le differenti aree di affioramento vengono trattate separatamente.

1.2.5.1. - Area Lura-Olona

La litologia è omogenea e costituita da ghiaie, in cui si possono riconoscere più episodi deposizionali. Nella composizione petrografica prevalgono rocce endogene metamorfiche, tra cui dominano le metamorfiti, seguite da quarzo, porfidi rosa e vulcaniti (litologie *marker* per il bacino del fiume Olona) e diaspri.

La superficie limite superiore è caratterizzata da Alfsuoli e Inceptisuoli, di spessore compreso tra 0,5-1,2 m e colore della matrice di 10YR. L'alterazione è debole.

Inferiormente le ghiaie poggiano su una superficie erosionale che verso N (Garbatola - Bettolino) incide i depositi dell'unità di Minoprio. Il limite è evidenziato presso Garbatola da una scarpata di 1-2 m che passa rapidamente a un piano inclinato a bassa pendenza, per scomparire sotto la zona industriale di Bettolino. A E di questa località il limite, di individuazione problematica, sembra raccordarsi con quello che delimita un paleoalveo del torrente Bozzente e prosegue verso N fino a raccordarsi ad una netta scarpata a N di Lainate. A S del Castellazzo di Rho scompare ogni evidenza morfologica: l'unità sembra proseguire in direzione SE in corrispondenza di uno o più paleoalvei "mimetici", indicativamente individuati sulla base della carta pedologica (ERSAL, 1993).

1.2.5.2. - Settore NE di Milano

In quest'area, il sintema di Cantù è presente in una fascia di ampiezza chilometrica, collocata sul livello fondamentale della pianura, che si estende tra i limiti N (Limbiate-Varedo) e S (San Giuliano Milanese) del foglio.

La litologia è marcatamente ghiaiosa nelle porzioni settentrionali e centrali, mentre verso S compaiono sequenze sommitali tendenzialmente più sabbioso-ghiaiose e sabbiose. Alla sommità si sviluppano Inceptisuoli e Alfisuoli, con spessori che si aggirano attorno al metro.

A causa dell'estrema urbanizzazione, che interessa la quasi totalità dell'area di affioramento dell'unità, i limiti sono stati tracciati con i seguenti criteri:

- verso E il limite è costituito dalla valle postglaciale del T. Seveso fino all'altezza di Cormano, dove scompaiono le evidenze morfologiche. A S di quest'abitato si è sfruttato l'aggancio morfologico fornito dalla prosecuzione della valle, osservabile nel DTM regionale, che si diparte dal corso d'acqua e sembra confluire nel F. Lambro all'altezza di Monluè.

- verso O il limite è tracciato su elementi estremamente labili, interpolando elementi morfologici anche molto distanti.

Pertanto, la delimitazione dell'unità è soggetta a un elevato grado di incertezza.

1.2.5.3. - Area del fiume Lambro Meridionale

Lungo questo corso d'acqua, sono stati assegnati al sintema di Cantù i depositi che costituiscono un terrazzo di modeste dimensioni, incastrato all'interno della valle fluviale, all'altezza di Gratosoglio. Superiormente e inferiormente il terrazzo è limitato da scarpate di altezza metrica, la cui evidenza è stata accentuata da interventi antropici.

In base ai dati della carta pedologica (ERSAL, 1993), i depositi sono costituiti da sedimenti sabbioso-limosi (da sabbie limose a limi sabbiosi) caratterizzati da Alfisuoli, che poggiano a profondità prossime al metro su ghiaie.

1.2.5.4. - Area del fiume Lambro

Sedimenti ghiaioso-sabbiosi strutturano questa fascia di pianura a ridosso del Lambro fino all'altezza di Linate. A S di tale località compaiono con continuità sequenze sommitali a litologia variabile (da limi argilloso sabbiosi a sabbie limose), di spessore metrico (in genere compreso tra 1 e 2 m), poggianti in discordanza sulle ghiaie. Suoli sepolti poco evoluti (sequenza A/C) sono comuni sia nelle ghiaie che nelle coperture fini, indicando ripetuti eventi di alluvionamento e stabilizzazione.

I suoli sviluppati sulla superficie limite superiore si differenziano poco da quelli delle unità adiacenti e sono caratterizzati da modesta evoluzione (orizzonti diagnostici di tipo cambico). Prevalgono colori 10YR, ma, soprattutto nei sedimenti fini sommitali, sono comuni anche colori 2.5Y.

Il limite superiore è una superficie erosionale debolmente incisa, su cui giacciono in discordanza i depositi del sintema del Po. Inferiormente l'unità poggia su una superficie d'erosione che taglia l'unità di Minoprio e di Guanzate.

1.2.5.5. - Subsintema di Ronchetto delle Rane (LCN₄)

Definizione. Sabbie, sabbie limose e limi, da massive a laminate; limi e limi argillosi massivi (depositi fluvioglaciali a bassa energia). Spessori da 2 a 4 m. Superficie limite superiore caratterizzata da suoli moderatamente evoluti (Alfisuoli); colori da 10YR a 2.5Y; idromorfia comune.

L'unità non è mai stata distinta in precedenza, ma inclusa, senza alcuna differenziazione litologica, nel *Diluvium* recente (COMIZZOLI *et alii*, 1969) o nel Riss II-Würm (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1965).

L'unità affiora discontinuamente nel settore occidentale del foglio, a S di Rho e, con maggior continuità, in quello meridionale (aree ad E di Corsico) e sud-orientale (Peschiera Borromeo).

L'unità è caratterizzata da una certa variabilità litologica nell'ambito delle tessiture fini. Si distinguono:

- successioni dominate da sabbie, limi e/o da termini intermedi; massive, o, raramente, a stratificazione molto sottile e laminate;
- successioni dominate da limi e limi argillosi, prevalentemente massivi. In rari casi, le sequenze possono essere chiuse da sottili orizzonti di sabbie ghiaiose o di ghiaie fini.

Per quanto osservato e per quanto ricavato dalle carte pedologiche, gli spessori possono essere ritenuti mediamente compresi tra 2 e 3 m, con massimi segnalati di 4 m circa.

La superficie limite superiore è caratterizzata da suoli a diverso grado di evoluzione. I più diffusi sono Alfisuoli, che si sviluppano sia sulle sequenze sabbiose che su quelle fini. Nei termini più argillosi può manifestarsi una forte aggregazione e formazione di spesse pellicole sulle facce dei *peds*.

Sono riconoscibili suoli sepolti, che indicano una polifasicità di questa unità, a cui è in parte legata la presenza di suoli a minore grado evolutivo, quali Inceptisuoli o Entisuoli. In molte situazioni, il minore sviluppo è, invece, imputabile a fattori stazionali inibenti, quali un substrato eccessivamente sabbioso e/o grossolano o, più comunemente, fenomeni di idromorfia, evidenziati da colori dominanti ridotti (2.5Y-5Y), screziature da ossido-riduzione e da (scarse) concrezioni e noduli di Fe-Mn.

La profondità del substrato pedogenetico può raggiungere 1,5 m negli Alfisuoli, mentre non supera, comunemente, il metro nelle altre tipologie.

Il limite superiore coincide con la superficie topografica o, subordinatamente, con superfici erosionali ricoperte da depositi fluviali del sistema del Po.

Inferiormente l'unità poggia con limite netto sulle ghiaie delle unità di Minoprio e Bulgarograsso.

La definizione stratigrafica dell'unità è molto incerta. Gli aspetti principali sono i seguenti: i depositi corrispondenti sono associati alla superficie modale della pianura e non a valli fluviali o altre vie di drenaggio riconoscibili; l'articolazione delle sequenze litologiche, lo spessore e l'estensione areale dei depositi implica flussi idrici di una certa importanza; il grado evolutivo e lo spessore dei suoli sono comparabili sia con quello delle unità del supersintema di Besnate stratigraficamente più prossime, che con il sintema di Cantù.

Morfologia e paleogeografia. L'unità non dà origine a morfologie proprie, in quanto sutura le ghiaie che strutturano la pianura, livellandone parzialmente la superficie.

Durante gli anni '50 e '60, le aree a sedimenti fini (limi argillosi), localizzate in prossimità del limite meridionale del foglio, sono state ampiamente sfruttate per l'estrazione di materiali destinati alla fabbricazione di laterizi, necessari all'espansione urbana di Milano. Analogamente a quanto avveniva in Groane, dove si sfruttavano depositi di diversa origine (*loess* pedogenizzati) ma di analoga geometria, le cave, per sopperire al modesto spessore dei sedimenti alluvionali, si sono espanse

fino ad occupare superfici di diversi km². Le aree maggiormente interessate dall'attività estrattiva sono localizzate: 1) a E di Corsico e N di Assago; 2) a E di Gratosoglio.

Di questa importante attività rimangono tracce negli evidenti terrazzi antropici di C.na Marcaccio, (area 1), che sul lato orientale raggiungono un'altezza di 2-3 m e di Cascinette-Selvanesco (area 2); in particolare, quello a E di Cascinette si prolunga, con un dislivello massimo di almeno 2 m, per oltre 1 Km. La distribuzione delle aree cavate coincide parzialmente con quella dei sedimenti fini dell'unità, anche se, in seguito alla loro asportazione, l'attuale litologia di superficie presenta una significativa componente clastica.

1.2.6. - Sintema del Po (POI)

Ghiaie a supporto clastico e di matrice; sabbie, limi e limi debolmente argillosi (depositi fluviali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli poco evoluti (Entisuoli e Inceptisuoli); colori prevalenti 10YR e 2.5Y.

Unità definita dai precedenti autori come: '*Alluvium* antico' e '*Alluvium* recente' p.p. (COMIZZOLI *et alii*, 1969; MONTRASIO *et alii*, 1990). Nei lavori recenti è anche nota come unità postglaciale.

Il sistema del Po affiora in diversi settori del foglio e in differenti situazioni morfologiche. Si rinviene lungo le valli del fiume Olona, del Lambro Meridionale, della Vettabbia e del Lambro. Inoltre affiora sul livello modale della pianura in ristretti ambiti sia a O che a E di Milano.

I sedimenti dell'unità postglaciale sono prevalentemente di natura ghiaiosa e sabbioso-ghiaiosa. Si distinguono:

- depositi fluviali: ghiaie a matrice sabbioso limosa e sabbie ghiaiose
- depositi di esondazione: sabbie e limi

Il limite superiore coincide sempre con la superficie topografica.

Il sistema del Po può coprire, con limite erosionale, qualunque deposito precedente.

L'unità comprende sedimenti deposti a partire dalla deglaciazione fino all'attuale.

1.2.6.1. - Area del Fiume Olona

I depositi postglaciali del fiume Olona sono distribuiti tra Garbatola e Lucernate. Sono costituiti da ghiaie a matrice limoso sabbiosa (debolmente argillosa) in superficie, passante rapidamente in profondità a sabbiosa e sabbioso limosa. La petrografia è dominata da rocce endogeno-metamorfiche, porfidi rosa e vulcaniti. Alla sommità sono presenti suoli debolmente evoluti (A/C) di spessore generalmente inferiore al metro, con colore della matrice di 10YR.

Inferiormente l'unità è limitata da una superficie erosionale, che incide il sintema di Cantù e l'unità di Minoprio. Verso NE il limite è definito da un piano inclinato a bassa pendenza, che può raggiungere larghezze ettometriche (es. strada Barbaiana-Vanzago), riconoscibile fino all'altezza del Castellazzo di Rho. Verso SO il limite è tracciabile con certezza solo per un brevissimo tratto, tra Molino Prepositurale e C.na Fabriziana. Verso S il limite non è più definibile, perché il fondovalle dell'Olonza si fonde con la superficie principale della pianura.

1.2.6.2. - Fiume Seveso

L'unità è rappresentata da sedimenti fini (sabbie limose, limi sabbiosi, limi debolmente argillosi, a volte organici e ghiaiosi; locale presenza di materiali antropici) debolmente idromorfi, di spessore attorno al metro, in appoggio a ghiaie con livelli sabbiosi. Sia i sedimenti fini che le ghiaie sono debolmente pedogenizzate (Inceptisuoli prevalenti). Questi depositi sono confinati in una "valle" di evidenza morfologica variabile, localmente, in particolar modo nel tratto più settentrionale, marcata da scarpate.

Il limite inferiore dell'unità è una superficie erosionale che incide il sintema di Cantù e l'unità di Guanzate, che affiorano in sponda destra e sinistra, rispettivamente, della valle.

1.2.6.3. - Fiume Lambro Meridionale e Cavo Vettabbia

In entrambe le valli fluviali i depositi postglaciali sono caratterizzati da sedimenti fini di esondazione che raggiungono spessori attorno ai 2 m. La loro tessitura è dominata da sabbie e limi, con quantità nettamente subordinate di argilla.

Alla sommità si sviluppano suoli debolmente evoluti (orizzonte diagnostico cambico), frequentemente interessati da fenomeni di idromorfia, evidenziati da screziature e colori della matrice moderatamente ridotti (2.5Y).

Nella valle del Lambro Meridionale, il sintema del Po coincide con il fondovalle, delimitato da scarpate metriche (1-1,5 m), morfologicamente ben espresse, incise nei depositi del sintema di Cantù.

Lungo il Cavo Vettabbia, i depositi postglaciali occupano il fondovalle di una valle piatta, ampia fino a 1 Km, delimitata da discontinuità di evidenza morfologica variabile. Sul lato orientale il limite della valle fluviale è rappresentato da un piano inclinato mal riconoscibile, che spostandosi verso S aumenta di dislivello e visibilità; a partire da C.na Bagnola esso è rimodellato in scarpata e inglobato nell'urbanizzato di San Giuliano Milanese. Sul lato opposto, il limite diventa evidente a partire dal

cimitero di Chiaravalle, dove forma una scarpata con altezza massima di 1-1,5 m, che, a partire da C.na Tecchione, si perde nella zona industriale di San Giuliano.

Il limite inferiore dell'unità è una superficie erosionale, incisa nell'unità di Bulgarograsso e nel subsistema di Ronchetto delle Rane (sintema di Cantù).

L'attribuzione di questi depositi all'unità postglaciale è dubbia e basata sul fatto che occupano una posizione di fondovalle; non è da escludere una loro appartenenza al sintema di Cantù.

1.2.6.4. - Fiume Lambro

Nel bacino del Fiume Lambro i depositi del sistema del Po sono costituiti prevalentemente da ghiaie, con sequenze sommitali leggermente diversificate, in relazione al contenuto clastico e alla tessitura della matrice. Si possono distinguere le seguenti situazioni:

- ghiaie con diminuzione del contenuto clastico negli orizzonti più superficiali, a tessitura sabbioso limosa con contenuti variabili di argilla.
- alternanze di ghiaie e sedimenti sabbioso limosi con quantità variabili di ghiaie.

Una significativa variazione litologica si osserva in sponda sinistra tra Peschiera Borromeo e Mediglia, dove prevalgono depositi sommitali fini (limi, limi debolmente argillosi, sabbie limose), di circa 1 m di spessore.

Petrograficamente, nelle ghiaie prevalgono rocce endogeno-metamorfiche e carbonatiche.

Alla sommità si sviluppano suoli debolmente evoluti, con orizzonti diagnostici di tipo cambico; sono, inoltre, molto diffusi i suoli sepolti, ad indicare il succedersi di eventi deposizionali. I caratteri idromorfi sono poco sviluppati e presenti nelle parti più meridionali del corso d'acqua. I colori della matrice sono estremamente variabili: prevalgono *hue* di 10YR, ma non sono infrequenti valori di 2.5Y e, più raramente, 7.5YR.

Il limite inferiore è una superficie erosionale che incide le unità di Guanzate e Minoprio e il sintema di Cantù.

Poiché il fiume Lambro ha creato una valle fluviale asimmetrica, le evidenze morfologiche dei limiti differiscono abbastanza nettamente tra le due sponde. In sponda destra il limite, per quanto fortemente rimodellato e localmente obliterato, è ancora tracciabile con un relativa certezza fino all'altezza di Parco Lambro, a causa del dislivello plurimetrico che separa il fondovalle dalla superficie adiacente. Tra il parco e San Donato Milanese il limite non è più riconoscibile perché completamente inglobato nella città di Milano. In questo tratto si è fatto riferimento ai rilievi originali in scala 1:25.000 serviti per la redazione della carta geologica nazionale in scala 1:100.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1965).

In sponda sinistra il limite, oltre a decorrere frequentemente in aree totalmente urbanizzate, si configura come un piano inclinato a bassa o bassissima pendenza, il cui piede è molto spesso di individuazione problematica; la sua riconoscibilità aumenta solo a S dell'aeroporto di Linate.

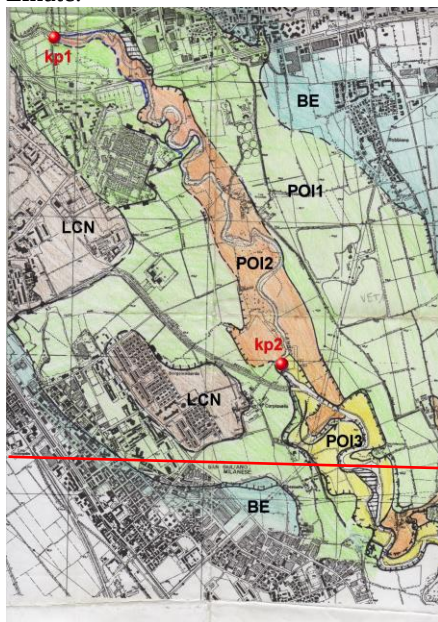


Fig. 17- Superfici postglaciali nella valle del Lambro a S di Milano (kp = knickpoint; BE = supersintema di Besnate indifferenziato; LCN = sintema di Cantù; POI = sintema del Po; linea rossa = limite meridionale del Foglio 118 - Milano).

Il profilo longitudinale del fiume Lambro presenta due principali discontinuità altimetriche (all'altezza di Bolgiano e Carpianello), in corrispondenza delle quali l'alveo si approfondisce e si creano nuove superfici di fondovalle. Data l'assenza di variazioni litologiche significative lungo il corso d'acqua, queste discontinuità vengono interpretate come *knickpoint*: un cambio brusco nella pendenza di un fiume in risposta a una caduta relativa del livello di base, che si propaga per erosione regressiva lungo l'asta fluviale. La posizione di un *knickpoint* segna, pertanto, il limite tra settori fluviali già in equilibrio con il nuovo livello di base e settori ancora in disequilibrio. I *knickpoint* individuati suddividono la porzione di valle postglaciale del Lambro in tre settori: a) tra il limite N del foglio e Bolgiano è presente un'unica superficie, coincidente con il fondovalle (identificato come POI1 in Fig. 17); b) tra

Bolgiano e Carpianello la precedente superficie viene incisa (kp1 in Fig. 17) e si forma un nuovo fondovalle locale⁴ (POI2); c) a S di Carpianello si ripete lo stesso fenomeno (kp2), con la creazione di un ulteriore fondovalle locale (POI3) e di uno o forse due nuovi ordini di terrazzi. Essendo tali elementi strettamente correlati con la dinamica del Fiume Lambro e, per ora, riconosciuti solo nel tratto appartenente al Foglio 118-Milano, non si è ritenuto opportuno formalizzare in legenda queste distinzioni all'interno del sintema del Po.

1.2.6.5. - Aree non associate a valli fluviali

All'unità postglaciale sono stati attribuiti anche depositi distribuiti sulla superficie modale della pianura, sia nel settore occidentale (area Olona) sia in quello orientale (area Lambro).

In area Olona i depositi sono costituiti prevalentemente da:

- alternanze di sedimenti sabbiosi (sabbie limose, sabbie limoso argillose, limi sabbiosi) e sabbioso-ghiaiosi
- sedimenti sabbiosi (sabbie, sabbie limose), con spessori di ordine metrico, che poggiano con limite erosionale su ghiaie.

Alla sommità supportano suoli debolmente evoluti (Entisuoli e Inceptisuoli). I caratteri idromorfi sono comuni e si manifestano con screziature e colori ridotti della matrice (2.5Y, 5Y).

In area Lambro è presente una situazione analoga, con prevalenza di sedimenti sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi.

In entrambi i settori questi depositi sono morfologicamente associati a vie di drenaggio che possono essere ricondotte a depressioni legate ai fontanili e, per l'area Olona, caratterizzata da un'assenza di confinamento morfologico del reticolo idrico, a veri e propri paleoalvei presenti sul livello modale della pianura, inclusi quelli dei maggiori corsi d'acqua (Olona, Bozzente e Lura).

⁴ Questo *knickpoint* era già segnalato, seppure implicitamente, nella precedente Carta Geologica d'Italia al 100.000, in cui le "alluvioni recenti" (A2) partivano da un punto esattamente corrispondente ad esso.

VI. ASPETTI DI MODIFICAZIONE ANTROPICA

1. - ATTIVITÀ ANTROPICA

L'area del Foglio 118-Milano è stata oggetto sin dall'antichità di importanti modifiche morfologiche prodotte dall'azione dell'uomo, il quale ha continuamente trasformato il territorio in funzione delle proprie esigenze. Basti pensare che, allo stato attuale, oltre il 60% del foglio ha subito cambiamenti di rilievo, connessi allo sviluppo urbanistico, alla realizzazione di infrastrutture o all'estrazione di inerti.

Durante le fasi di rilevamento è subito risultata evidente la necessità di identificare, delimitare e classificare le aree soggette in passato o recentemente ad interventi umani, che di fatto rendono problematica l'osservazione diretta del substrato e il riconoscimento dei fenomeni geologici.

Si è ritenuto utile quindi sviluppare una classificazione delle modifiche antropiche inserita nella legenda del foglio. Va notato che l'evoluzione antropica si manifesta con caratteristiche peculiari e del tutto differenti rispetto alle azioni geomorfologiche naturali. In primo luogo essa avviene generalmente per progressiva modifica di parcelle circoscritte (singole proprietà), distribuite sul territorio in modalità pressoché casuale; le modifiche inoltre avvengono in tempi molto rapidi (da qualche giorno a qualche anno) e, nel caso in cui non rimangano forme evidenti, tendono ad

essere progressivamente mascherate dalle azioni successive o dallo sviluppo di vegetazione.

Per tale motivo il riconoscimento delle attività è stato condotto attraverso un approccio multitemporale, utilizzando la fotointerpretazione di immagini aeree riprese in tempi successivi. Tuttavia, qualora le evidenze di tipo morfologico siano assenti o mascherate, può accadere che alcune tipologie di modificazioni non siano interpretabili o addirittura riconoscibili. Tra le situazioni possibili vanno ricordate: gli scavi e i riporti antichi, antecedenti alla prima base cartografica di dettaglio disponibile e parzialmente o totalmente obliterati da processi antropici o naturali successivi e i casi di riempimento totale di aree di scavo, in cui non siano disponibili informazioni relative alla estensione massima raggiunta dalle precedenti attività di asportazione di materiale.

2. - CLASSIFICAZIONE DELLE ATTIVITÀ ANTROPICHE

La classificazione delle attività antropiche utilizzata nel foglio riprende, modificandola, una proposta di classificazione sviluppata nell'ambito delle attività di cartografia geologica del *British Geological Survey* (ROSENBAUM *et alii*, 2003).

Il sistema classificativo utilizza la combinazione di valutazioni di tipo genetico e funzionale dei depositi e delle forme. Il criterio discriminativo principale prende in considerazione la tipologia di disturbo della superficie naturale indotto dall'uomo, che può avvenire secondo 4 modalità:

- 1) scavo della superficie naturale con asportazione del terreno;
- 2) riporto di materiale sulla superficie naturale;
- 3) riempimento parziale o totale di uno scavo;
- 4) riprofilatura morfologica della superficie topografica naturale, nei casi in cui non risulti possibile delineare le singole aree di scavo o di riporto.

La classificazione identifica quindi 4 tipi principali di modificazioni, cartografate alla scala 1:10.000. Per le aree di scavo e riporto sono state aggiunte una serie di sottoclassi, che consentono di definire con maggior dettaglio l'utilizzo specifico dell'area.

In particolare, per la compilazione del Foglio 118-Milano, sono state utilizzate le seguenti classi di forme e depositi connessi all'azione antropica:

A - Scavi: aree di dimensioni planimetriche superiori a 10.000-20.000 m², profondità superiore a 3-5 m e larghezza minima di 10-20 m, in cui si è avuta asportazione di terreno da parte di attività antropiche. Gli scavi

sono suddivisi, in base al tipo di attività, in 2 gruppi principali (Fig. 18) con le relative sottoclassi:

A1 - Cave e Miniere

A1.1 - Cave di sabbia e ghiaia

A1.2 - Cave di argilla

A2 - Opere civili

A2.1 - Infrastrutture (strade, canali, ferrovie)

A2.2 - Urbanizzazioni

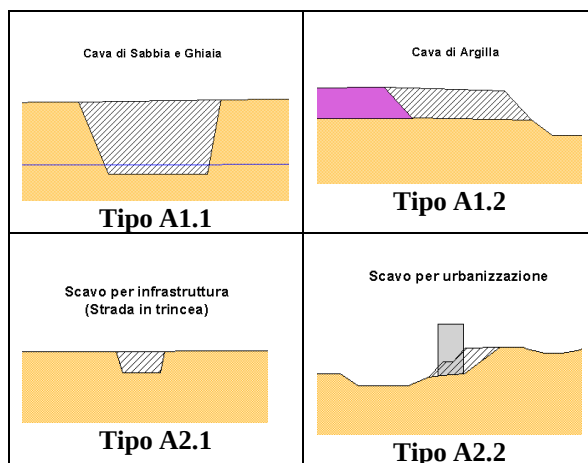


Fig. 18 - Classi di scavo.

B - Riporti: aree di dimensioni planimetriche superiori a 10.000-20.000 m², spessore superiore a 3-5 m e larghezza minima di 10-20 m, in cui sono presenti depositi di materiali naturali o antropici (scarti di lavorazione, inerti, rifiuti, etc.), presumibilmente depositi direttamente al di sopra della originaria superficie naturale. Si tratta di aree rilevate rispetto alla superficie circostante, oppure di aree in estensione a partire da un originario terrazzo morfologico, o ancora di aree di colmatare di depressioni naturali. I riporti possono essere suddivisi in 2 categorie principali (Fig. 19), in base alla finalità di utilizzo e alla tipologia di materiale utilizzato:

B1 – Riporti s.s.

B1.1 - Materiali naturali (sabbia, ghiaia, terreni di coltura)

B1.2 - Materiali antropici (rifiuti, macerie)

B2 - Rilevati per opere civili

B2.1 - Infrastrutture (strade, canali, ferrovie)

B2.2 - Urbanizzazioni

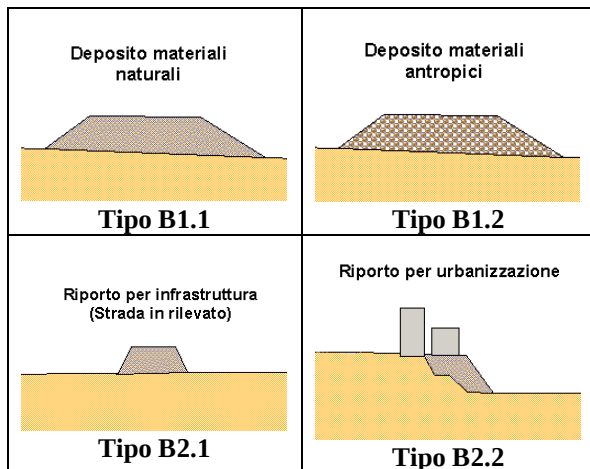


Fig. 19 - Classi di riporto.

C - Riempimenti: aree di dimensioni planimetriche superiori a 10.000-20.000 m², spessore superiore a 3-5 m e larghezza minima di 10-20 m, in cui si è avuto lo scarico di materiali naturali o antropici (scarti di lavorazione, inerti, rifiuti, etc.), deposti direttamente al di sopra di una zona precedentemente identificata come area di scavo. I riempimenti possono inoltre essere distinti con immedesimi criteri definiti per i riporti (Fig. 20).

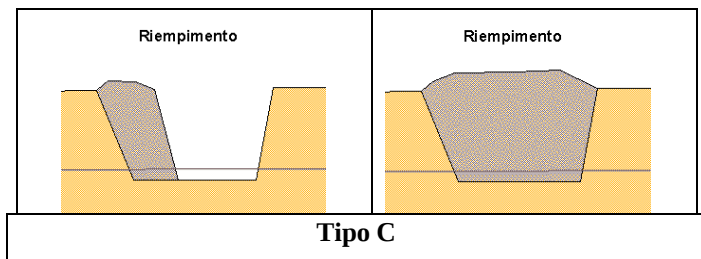


Fig. 20 - Classi di riempimento.

D - Riprofilature: Aree di dimensioni planimetriche superiori a 50.000-100.000 m², e larghezza minima di 50 m, in cui si nota un riprofilatura della superficie naturale che ha alterato le caratteristiche morfologiche naturali e sulla quale non è possibile distinguere le aree soggette a scavo da quelle soggette a riporto (Fig. 21). In tale classe ricadono ad esempio le aree urbanizzate, gli aeroporti, le aree di lottizzazione, le aree industriali e gli impianti sportivi.

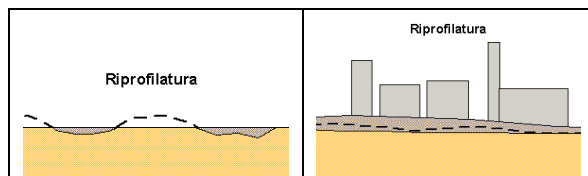


Fig. 21 - Classi di riprofilatura (la linea nera rappresenta l'andamento naturale della superficie topografica).

La distribuzione areale delle varie classi, riconosciute nell'ambito del Foglio 118-Milano, è riportata nella tabella 12.

La tabella mostra che la classe D, con una percentuale del 53,04%, risulta quella di gran lunga più rappresentata; ad essa infatti sono state ascritte gran parte delle aree urbanizzate presenti nel foglio, all'interno delle quali non era più possibile distinguere il dettaglio delle modificazioni avvenute, che pertanto non sono state rappresentate cartograficamente, diversamente dalle aree ascrivibili alle categorie A, B e C.

Tab. 12 - Estensione delle classi della attività antropiche.

Classe	Area (km ²)	Percentuale foglio (%)	Sottoclasse	Area (km ²)	Percentuale foglio (%)
A	15,09	2,61	A1.1	6,68	1,15
			A1.2	4,73	0,82
			A2.1	3,68	0,64
B	23,05	3,98	B1.1	0,79	0,14
			B1.2	0,76	0,13
			B2.1	15,84	2,74
			B2.2	5,66	0,98
C	9,68	1,67	C	9,68	1,67
D	306,9	53,04	D	306,95	53,04
			TOTALE:	354,77	61,31

La classe B, relativa ai riporti, interessa quasi il 4% della superficie del foglio, in prevalenza sotto forma di rilevati per infrastrutture ed urbanizzazioni. Le aree oggetto di scavo, ascritte alla classe A, interessano complessivamente il 2,61% della superficie e sono connesse prevalentemente ad attività estrattive attuali o storiche.

La classe C, a cui vengono associati i riempimenti di ex aree di scavo, interessa l'1,67% della superficie del foglio; va notato che all'interno di questa classe ricadono molte aree con potenziali problemi di tipo ambientale (discariche di materiali). Nel complesso, la superficie oggetto di modifiche antropiche corrisponde a circa 355 km², pari al 61,3% dell'estensione totale del foglio.

Per conservare una adeguata leggibilità del foglio, alla scala 1:50.000 sono state rappresentate solo 2 classi: scavi e riporti-riempimenti. Tra gli schemi a margine del foglio ne è stato predisposto uno che rappresenta tutte e 4 le tipologie distinte nel corso del rilievo (scavi, riporti, riempimenti e riprofilature) senza ulteriori suddivisioni.

3. - DEPOSITI ANTROPICI DEL CENTRO DI MILANO

La raccolta dati effettuata ha messo a disposizione una serie di stratigrafie di sondaggi e di trincee nell'area del centro storico di Milano che è risultata estremamente utile per approfondire l'evoluzione storica della città. In accordo con la Soprintendenza ai Beni Archeologici della Lombardia, sono stati utilizzati i dati ottenuti da 26 scavi archeologici nei quali era riportata la profondità del terreno sterile e la profondità dei riporti identificati nelle descrizioni stratigrafiche. Dall'interpolazione di tali dati, incrociata con i dati di sondaggi geognostici e trincee, è stata realizzata una carta degli spessori dei terreni di riporto, limitatamente al centro storico della Città di Milano (Cerchia delle Mura Spagnole) riportata nella Carta Geoarcheologica del centro storico di Milano posta a margine del foglio e descritta al successivo paragrafo 3.2.

3.1 - SCAVI ARCHEOLOGICI ED EVOLUZIONE STORICA

Gli scavi archeologici effettuati negli ultimi vent'anni a Milano hanno incrementato le conoscenze sulla città, la cui esistenza nel periodo golasecchiano era in passato messa in dubbio, in quanto non sufficientemente documentata dalle fonti archeologiche costituite da pochi ritrovamenti di oggetti fuori contesto. La continuità di vita per molti secoli nello stesso sito aveva profondamente manomesso il deposito archeologico,

ma l'adozione di rigorose tecniche di scavo stratigrafico ha consentito, a partire dagli anni Ottanta del Novecento, di fare molti passi avanti nella conoscenza della protostoria della città. Gli scavi effettuati a Palazzo Reale, in via Moneta, alla Biblioteca Ambrosiana, in via Valpetrosa, via Cesare Correnti, via Conca del Naviglio e via San Sisto hanno restituito importanti reperti relativi all'età del Ferro e hanno fornito nuovi dati, oltre che sul centro protourbano golasecchiano del V secolo a.C., anche sull'*oppidum* celtico (IV – II secolo a.C.).

La cultura di Golasecca, di cui erano portatrici popolazioni di probabile origine celtica, si è sviluppata tra il IX e il V secolo a.C. nell'area corrispondente agli odierni Piemonte e Lombardia ed ha sempre avuto, per la sua collocazione geografica, un ruolo di tramite tra l'Italia peninsulare e le regioni transalpine. Nel V secolo si assiste ad un declino dei centri golasecchiani posti lungo il corso del Ticino, probabilmente a vantaggio di una rete di traffici gravitante attorno al nuovo centro di *Mediolanum*. La carta di distribuzione dei ritrovamenti della prima età del Ferro mostra che l'insediamento golasecchiano (V secolo a.C.) occupava un'area di circa 12 ettari, corrispondente alla zona centrale della città attuale, compresa tra le vie Meravigli, Valpetrosa e piazza Duomo. Lo sviluppo di *Mediolanum* doveva essere legato alla sua posizione strategica tra le Alpi e il Po, il Ticino e l'Adda, con un ruolo di tramite tra l'Etruria padana e i paesi transalpini. I reperti pertinenti ai secoli IV e III a.C. rinvenuti a Milano documentano la persistenza di questo centro nel periodo successivo alla grande invasione celtica dell'inizio del IV secolo a.C., che segna convenzionalmente il passaggio dalla prima alla tarda età del Ferro in Italia settentrionale. In questa fase, i Celti appartenenti alla tribù degli Insubri si stanziarono nella pianura compresa tra il Ticino e l'Oglio, e l'abitato golasecchiano di Milano ne divenne il capoluogo, trasformandosi in *oppidum*. Anche se i rinvenimenti del IV-II secolo a.C. a Milano sono tutti fuori contesto (provengono cioè da strati manomessi in antico), ciò non diminuisce la loro importanza. Essi definiscono un'area di estensione non molto superiore a quella dell'insediamento golasecchiano del V secolo a.C. Non è rimasta traccia di livelli d'uso o di resti di costruzioni relative all'*oppidum*, perché gli interventi di bonifica e ristrutturazione effettuati nel I secolo a.C., per adeguare la città agli standard urbanistici romani, comportarono ampi sbancamenti che dovettero determinare l'asportazione della maggior parte dei livelli di occupazione più antichi, relativi alle fasi insediative dell'età del Ferro.

Sulla base dei dati forniti dalle indagini archeologiche sono state elaborate due sezioni stratigrafiche schematiche della parte centrale della

città (Fig. 22), in cui sono indicati gli strati corrispondenti alle più importanti fasi di vita della città antica, dal V secolo a.C. al IV secolo d.C. Nella zona centrale il deposito ha maggiore spessore, perché l'insediamento ha avuto vita più lunga, a partire già, come si è visto, dal V secolo a.C., ed è stato quindi maggiore l'accumulo della stratificazione. In questa zona, compresa all'interno della cerchia dei Navigli, il deposito archeologico è generalmente conservato sotto il livello delle cantine per uno spessore da uno a due metri. Nel periodo repubblicano (fine II - I secolo a.C.), l'influenza dei modelli di origine centroitalica dovuta al processo di romanizzazione in atto, ha determinato la realizzazione di vasti interventi di ristrutturazione urbanistica, che hanno quasi completamente cancellato le tracce delle fasi di vita più antiche. Infatti, come si vede nella sezione, le testimonianze dell'insediamento del V secolo a.C. risultano conservate *in situ* solo in via Moneta, perché tutto il resto del deposito archeologico relativo a tale epoca è stato distrutto dalle successive costruzioni di età romana. Anche le tracce dell'*oppidum* celtico sono scomparse a causa delle ristrutturazioni urbanistiche effettuate in età romana. Nella sezione lungo il cardo si nota la presenza di strati riferibili al II - I secolo a.C. anche all'esterno della cortina difensiva repubblicana: ciò documenta la presenza di insediamenti extramurani già in epoca tardorepubblicana-primoinimperiale.

Le ricerche effettuate hanno arricchito anche le conoscenze sul municipio romano e sulla sua evoluzione, fino all'età tetrarchica.

Il I secolo a.C., dopo la concessione del diritto latino nell'89 a.C., vede l'affermazione sempre più evidente del gusto della capitale, nell'architettura pubblica e privata, nei monumenti funerari, negli apparati decorativi delle abitazioni, nelle stoviglie da cucina e da tavola. Il volto della città si trasforma, con la regolarizzazione del reticolo viario, che conserva le tracce di una più antica organizzazione spaziale, non ortogonale, coordinata alle direttrici stradali che già in epoca protostorica collegavano *Mediolanum* con Brescia, Bergamo, Como. La rete idrica era molto sviluppata, per l'abbondanza di acque superficiali nell'area in cui sorgeva la città, grazie ad imponenti interventi di canalizzazione, probabilmente iniziati già in epoca preromana. Le zone acquitrinose furono drenate mediante canali che sfruttavano, per il loro deflusso, la leggera inclinazione del piano su cui sorgeva la città in senso NNO-SSE.

Contemporaneamente alla realizzazione dell'impianto stradale e fognario, viene eretta la cerchia difensiva di cui sono conservati resti della cortina in via S.Vito e di una torre della Porta *Ticinensis* in Largo Carrobbio. Le mura erano circondate da un fossato in cui erano convogliate artificialmente le acque del Seveso. Dal torrente Olona, che scorreva ad O di Milano, erano invece derivate le acque del canale *Vepra* o *Vetra*, che

attraversava il suburbio sud-occidentale raccogliendo le acque del Seveso e piegava verso S assumendo il nome di Vettabbia. All'inizio di questo canale è probabilmente da collocarsi il porto fluviale di Mediolanum che era messo in collegamento, tramite la Vettabbia (un canale navigabile, come indica l'etimologia del nome, dal latino *vectare*, *vectabilis*), con il Lambro ed il Po. L'inizio della Vettabbia corrispondeva al punto altimetricamente più basso del fossato romano, ed era situato in prossimità dell'importante strada diretta verso *Ticinum* e Roma.

Ad una fase avanzata e ormai conclusiva del processo di romanizzazione del *municipium* sono da ricondursi diversi interventi che hanno inciso vistosamente il tessuto urbano: la realizzazione della lastricata piazza del foro, i cui resti sono affiorati sotto la Biblioteca Ambrosiana, è attribuibile all'epoca augustea; nel I secolo d.C. sono probabilmente anche da porsi l'ampliamento e la lastricatura della strada verso Roma, l'attuale corso di Porta Romana, e il teatro, di cui sono conservati resti delle fondazioni in piazza degli Affari. In base ai dati dei recenti scavi, la realizzazione dell'anfiteatro, i cui resti sono musealizzati nel parco archeologico di via De Amicis 17, risulta databile ai primi decenni del I secolo d.C.

La cortina difensiva assunse differenti valenze nel corso del tempo. Le mura perdono la propria funzione difensiva nel periodo di pace che inizia con Augusto, per riacquistarla a partire dalla seconda metà del III secolo, con le scorrerie degli Alamanni. Fin dal periodo tardorepubblicano si costruì all'esterno delle mura, anche nelle immediate adiacenze del circuito murario. La prima fascia del suburbio, compresa all'interno dell'attuale cerchia dei Navigli, era particolarmente ricercata per l'edilizia residenziale, in quanto lontana dalla confusione del centro della città, ma a questo ben collegata. Ogni settore di quest'area suburbana offre esempi di abitazioni signorili, di costruzioni più modeste e di impianti produttivi. Ad essi si alternavano le necropoli, che dovevano disporsi lungo le principali strade di accesso alla città.

Tra la fine del III e il IV secolo d.C. si registrano radicali ristrutturazioni, conseguenza della trasformazione della città in capitale imperiale. La cortina fu ampliata ad O, in concomitanza con la realizzazione del Circo e del Palazzo imperiale. Al complesso di edifici di rappresentanza, residenziali e a carattere amministrativo, noto sotto il nome di Palazzo imperiale, hanno fatto riferimento varie fonti storiche attraverso i secoli. Vi sono poi le fonti toponomastiche: la chiesa di S.Giorgio al Palazzo e il riferimento ad un grande edificio termale contenuto nel nome della via Bagnera, da *Balnearia*, a poca distanza dalla

chiesa. Numerosi sono stati i ritrovamenti in tutta l'area occidentale della città antica, compresa tra la porta Vercellina e la porta Ticinese, delimitata ad O dal Circo e a E dalla via S. Maria Fulcorina (il decumano). I due complessi più significativi finora noti, pertinenti al palazzo, sono: quello di via Brisa, rinvenuto negli anni '50 e conservato a cielo aperto, costituito da ambienti di rappresentanza che si affacciano su un vano a pianta circolare colonnato, di cui rimangono per lo più le fondazioni, con pochi resti di alzata dei muri in laterizi; le imponenti fondazioni rinvenute in piazza Mentana, che potrebbero essere interpretate come pertinenti ad un complesso termale, considerata la vicinanza con la via Bagnera. Il palazzo era una vera e propria città nella città e il Circo ne costituiva parte integrante, perché sede di cerimonie celebrative della maestà imperiale. Diversi tratti di fondazioni del monumento sono conservati nell'area compresa tra Corso Magenta e via Circo, tra cui particolarmente importanti sono la torre dei *carceres*, divenuta campanile della chiesa di S. Maurizio e, più a S, un tratto in alzata della curva, tra via Circo e via del Torchio. Altri importanti resti di edifici di epoca tetrarchica sono quelli delle terme, conservati in corso Europa e quelli dell'*horreum* di via dei Bossi.

Con la diffusione del cristianesimo, nel IV secolo la città si arricchisce di numerosi edifici religiosi: S. Tecla e il Battistero di S. Giovanni alle fonti e, nel suburbio, le basiliche di S. Ambrogio, S. Simpliciano, S. Dionigi, S. Lorenzo, S. Nazaro, S. Eustorgio.

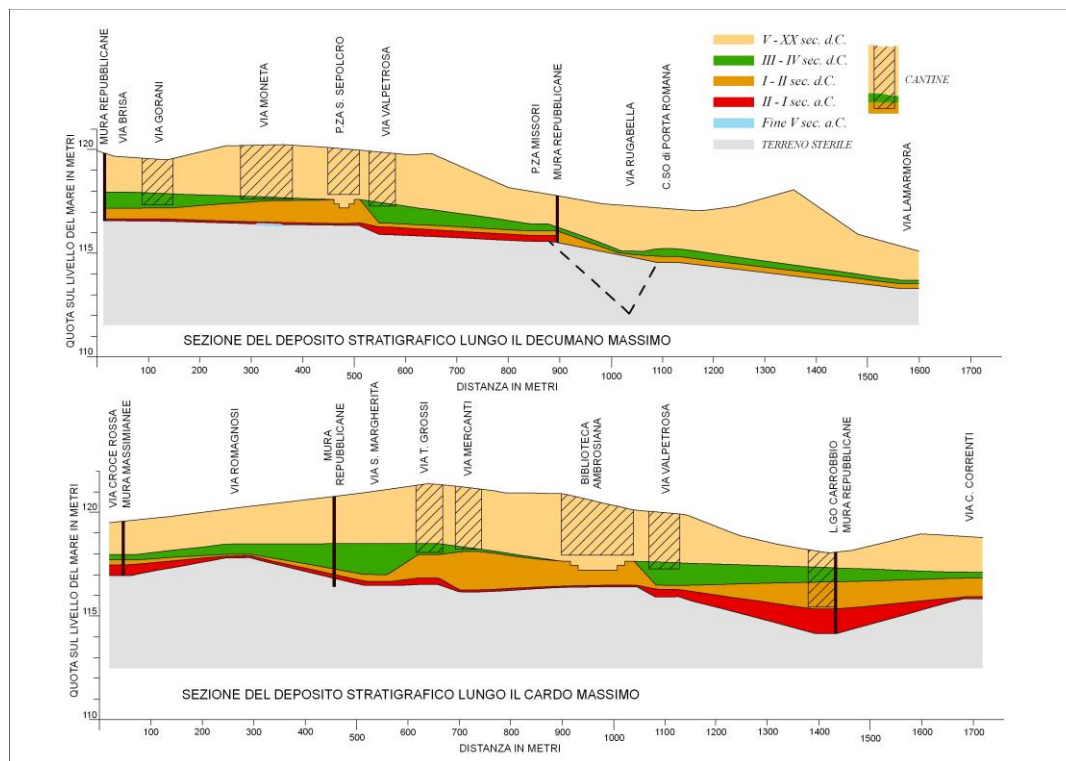


Fig. 22 - Sezioni schematiche degli strati archeologici lungo il decumano ed il cardo massimo (ridisegnato da CERESA MORI, 1992).

3.2 - CARTA GEOARCHEOLOGICA DEL CENTRO STORICO DI MILANO

Per il solo centro storico di Milano è stata elaborata una Carta geoarcheologica alla scala 1:25.000, inserita a margine della carta geologica, sulla quale sono riportate informazioni relative all'assetto urbanistico ed idraulico in età romana e all'inizio del millesettecento, nonché gli spessori degli scavi e riporti. Per l'elaborazione della carta sono stati utilizzati i seguenti dati:

- principali elementi derivati dalla Pianta di Milano Romana (CAPORUSSO, 1990), e dalle carte del Catasto Teresiano redatte nel XVIII secolo. In particolare, sono state riportate le posizioni dei principali edifici, degli assi viari e del reticolo idrografico relativo all'età imperiale (IV secolo d.c.), insieme alla posizione della cinta muraria di epoca spagnola (XVII secolo), alla pianta delle mura esterne del Castello Sforzesco e all'andamento del reticolo idrografico dedotto dal Catasto Teresiano (prima metà del settecento);
- stratigrafie di sondaggi a carotaggio continuo e trincee (selezionate dalla Banca Dati Geologica di Sottosuolo) e di 26 scavi archeologici forniti dalla Soprintendenza ai Beni Archeologici.

Nella carta è rappresentata la quota in m s.l.m. della base dei riporti, ottenuta attraverso un'analisi geostatistica delle stratigrafie raccolte.

È importante considerare che, per la modalità stessa con cui sono stati messi in posto durante i secoli i terreni di riporto (in molti casi costituiti dal riempimento di scavi), la superficie reale che rappresenta la quota base di tali corpi è estremamente articolata, con repentine variazioni laterali di ordine metrico. Per tale motivo quanto ottenuto da una interpolazione geostatistica non può che essere considerato come una prima approssimazione, ed è soggetta ad una elevata variabilità intrinseca.

Preliminarmente è stata effettuata un'analisi di tendenza relativa ad un areale più ampio di circa 1km rispetto a quello rappresentato in carta - utilizzando 487 dati geognostici - che ha mostrato la presenza di un *trend* preferenziale orientato circa NNO-SSE (Fig. 23) con aumento della quota verso NNO. Si è proceduto quindi alla definizione della superficie che meglio interpolava i valori di quota; l'analisi geostatistica è stata elaborata sui valori differenziali rispetto alla superficie calcolata.

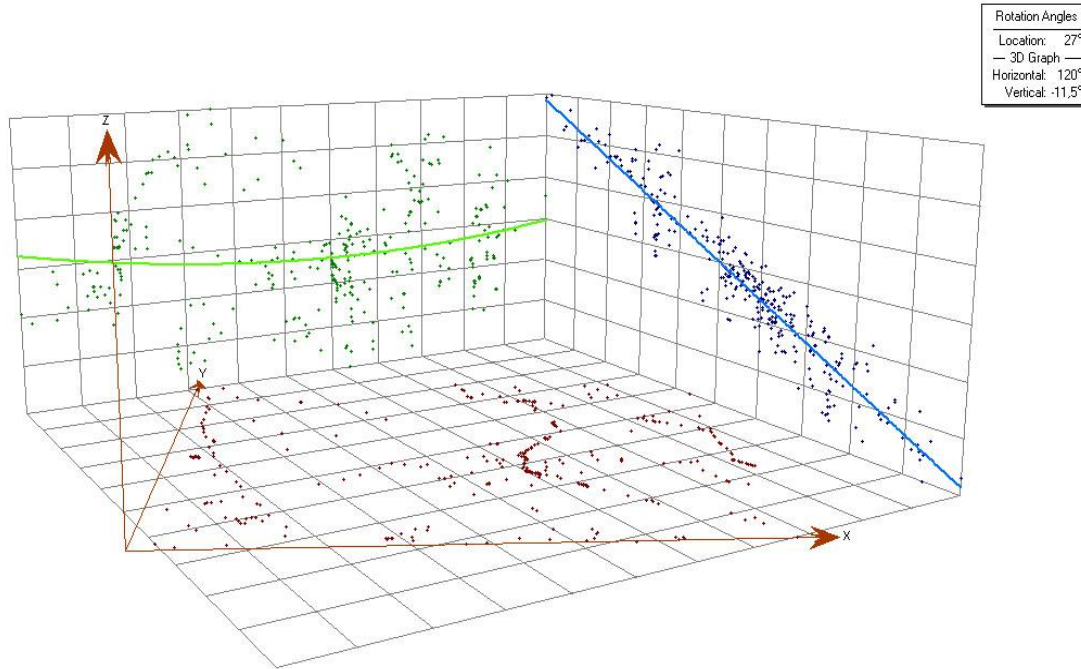


Fig. 23- Analisi tendenza in 3D dei dati relativi alla quota base dei riporti. Gli assi in rosso si riferiscono agli assi geografici (asse y in direzione N). I punti in rosso rappresentano la posizione planimetrica dei dati, mentre i punti in verde e blu rappresentano la loro proiezione altimetrica su un sistema di piani orientato a piacere. Le linee in blu e verde sono rette di correlazione dei dati proiettati. Va notata la presenza di un trend netto di tipo lineare sul piano orientato NNO-SSE.

Come metodologia di interpolazione è stato utilizzato il *kriging* ordinario con semivariogramma sferico, da cui è risultato un effetto pepita (*nugget*) relativamente elevato (1,436), che indica un'elevata variabilità delle misure.

Il risultato ottenuto con questa metodologia è stato confrontato con le informazioni derivanti dai dati di 35 scavi archeologici forniti dalla Soprintendenza. Nel complesso la differenza di quota della base del riporto stimata dall'analisi geostatistica e quella misurata negli scavi archeologici presenta una deviazione standard di circa $\pm 0,9$ m.

Un'ulteriore elaborazione contenuta nella Carta Geoarcheologica inserita a margine della carta geologica riguarda la rappresentazione dello spessore degli scavi e riporti nel centro di Milano. Tali spessori sono stati determinati dal confronto tra le quote della superficie topografica attuale (ottenuta dalla cartografia a scala 1:2.000 fornita dal Comune di Milano) e le quote della base dei riporti.

Il risultato è rappresentato in classi di spessore, con valori negativi riferiti alle zone di scavo e valori positivi riferiti alle zone di riporto.

VII. ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA

1. - ATTIVITÀ ESTRATTIVE

Il territorio del Foglio 118-Milano è stato da sempre oggetto di attività estrattive per la grande richiesta di materiali da costruzione necessari allo sviluppo urbano. Sono attestate cave di inerti fin dall'epoca romana, in un intervallo compreso tra il I e il II sec d.C.

Fino alla fine del 1800, nell'area milanese, la principale risorsa estrattiva consisteva nei giacimenti di argilla presenti nei dintorni della città, che venivano utilizzati per la produzione di laterizi. L'argilla veniva estratta per lo più dai depositi leossici appartenenti al supersistema del Bozzente (Pleistocene medio), che corrisponde morfologicamente al Terrazzo delle Groane. Le aree estrattive interessavano prevalentemente i comuni di Bollate, Arese, Garbagnate, Senago, Cesate e Limbiate. La coltivazione procedeva tramite l'asportazione sistematica della coltre loessica superficiale per uno spessore di circa 2-3 m. Presso il margine meridionale del Comune di Milano erano presenti altre zone secondarie di estrazione di argilla, che sfruttavano i depositi fini del subsistema di Ronchetto delle Rane (Pleistocene superiore). Purtroppo non è stato possibile identificare l'ubicazione esatta di tutte queste aree in quanto le evidenze morfologiche sono scomparse a causa dell'urbanizzazione e nelle cartografie storiche vengono indicate soltanto le ubicazioni delle fornaci.

Rimane esempio di questo fenomeno in corrispondenza della Chiesa di San Marco al Bosco entro il Parco delle Risaie.

Il materiale estratto dalle cave di argilla veniva lavorato e trasformato in laterizi in fornaci presenti nelle immediate vicinanze.

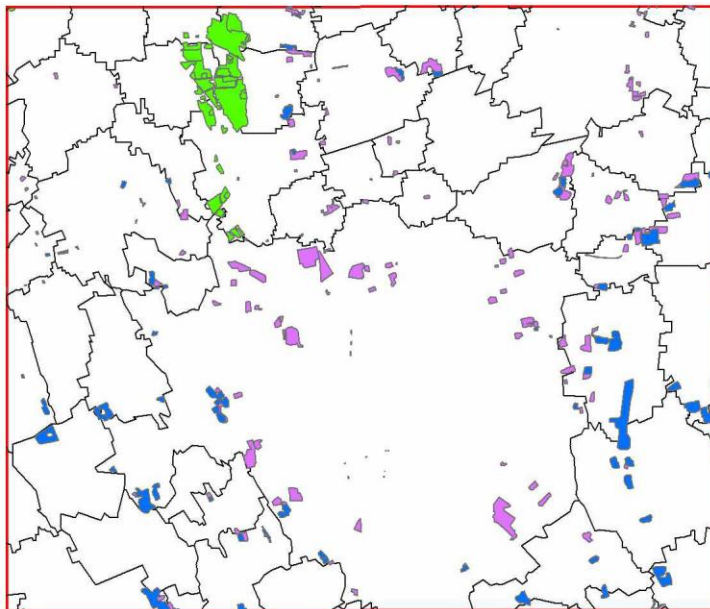


Fig. 24 – Distribuzione nel Foglio 118-Milano delle aree di estrazione di argilla (verde), aree di estrazione di ghiaia e sabbia (blu) e scavi riempiti (viola).

Le prime rappresentazioni cartografiche di attività sistematiche di estrazione di sabbia e ghiaia risalgono alla cartografia IGM degli inizi del '900 (anni 1914 e 1924). Nella carte si osserva il progressivo svilupparsi nella periferia del Comune di Milano di aree estrattive, molte delle quali caratterizzate dalla emergenza della falda freatica. A partire dalla fine degli anni '40 queste prima serie di cave venne progressivamente colmata, in gran parte con le macerie degli edifici distrutti dalla II Guerra Mondiale, per consentire lo sviluppo urbanistico della città. I poli estrattivi si spostarono conseguentemente verso la periferia, soprattutto lungo il margine orientale e sud-occidentale del foglio.

Nel corso dello studio delle cartografie e delle foto aeree storiche sono state individuate circa 230 aree oggetto di coltivazione, che si estendono su una superficie complessiva di quasi 1500 ettari; di queste, circa 160 (800 ettari) risultano essere state parzialmente o completamente riempite per

utilizzi di tipo urbanistico o come discariche (Fig. 24). Si può inoltre menzionare la presenza, tra i Comuni di Segrate e Peschiera Borromeo, del bacino dell'Idroscalo: si tratta di uno scavo in falda della lunghezza di 2500 m e larghezza di 300-450 m e profondità media di una decina di metri, realizzato alla fine degli anni '20 con lo scopo di realizzare uno scalo per l'ammagaggio di idrovolanti. Il bacino, sfruttato al tempo anche per l'estrazione di inerti, costituisce ora un parco provinciale.

A partire dagli anni '50, la richiesta di inerti (ghiaie e sabbie) per l'edilizia e le infrastrutture ha portato all'apertura, approfondimento ed espansione di grandi siti estrattivi impostati nei depositi fluvio-glaciali. Le cave, che si spingono anche ad alcune decine di metri di profondità, sono prevalentemente fuori falda in tutta la fascia a N di Milano, mentre già a N dell'asse E-O passante per il centro cittadino sono sviluppate per buona parte in falda e presentano sponde alte; appena a S la falda è sottosuperficiale e di conseguenza le cave sono interamente in falda, con sponde basse.

1.1 - LA PIANIFICAZIONE PROVINCIALE IN TEMA DI CAVE

Sull'area del foglio insistono 22 cave attive autorizzate dal Piano Cave della Provincia di Milano, adottato con delibera n. VIII/166 del 16 maggio 2006 (allora la Provincia includeva anche il territorio di Monza e Brianza). Tutti i 22 siti attivi entro il Foglio 118-Milano sono dedicati all'estrazione di terreni sciolti (ghiaia e sabbia). Assai più numerose, centinaia in tutta la provincia ed oltre 160 entro il perimetro del foglio, sono le cave cessate: alcune, fuori falda, sono state convertite in discariche di rifiuti solidi urbani, altre si presentano come luoghi incolti o recuperate ad attività industriali, mentre la maggior parte sono rimaste come laghi di pianura. Dopo decenni di abbandono e di frequente utilizzo per lo scarico abusivo, soprattutto di inerti, negli ultimi venti anni sono in generale state soggette ad importanti progetti di riqualificazione ambientale e paesaggistica, divenendo così un elemento morfologico significativo per il territorio.

2. - PROBLEMATICHE DI GEOLOGIA APPLICATA

Nel corso dell'attività di raccolta dati per l'allestimento della Banca Dati Geologica di Sottosuolo, assieme alle informazioni di carattere stratigrafico, sono state raccolte le risultanze di diverse prove geotecniche, in situ e in laboratorio. I dati riguardano le seguenti tipologie di prove:

- Prove Penetrometriche Dinamiche (DPSH)

- *Standard Penetration Test* (SPT),
- Prove di carico su piastra
- Prove di Permeabilità in situ (Metodo Lefranc)
- Analisi granulometriche (per vagliatura e sedimentazione).

I risultati delle prove sono stati utilizzati per valutare le caratteristiche geotecniche dei depositi superficiali.

Le caratteristiche granulometriche prevalentemente grossolane della maggioranza delle unità stratigrafiche affioranti nel foglio conferiscono generalmente ai depositi delle buone caratteristiche geotecniche.

I dati reperiti relativi a prove di resistenza alla penetrazione effettuate in situ sono stati utilizzati per eseguire una serie di elaborazioni geostatistiche, al fine di valutare la distribuzione areale delle resistenze medie del sottosuolo in 3 intervalli di profondità. In particolare, sono stati utilizzati i risultati delle prove *Standard Penetration Test* (Prove SPT) realizzate in oltre 700 sondaggi geognostici e i risultati di oltre 900 Prove Penetrometriche Dinamiche (Prove DPSH), per un totale di oltre 21.000 dati.

Si ritiene opportuno specificare che, a causa della presenza nell'area del foglio di granulometrie prevalentemente grossolane, le prove SPT vengono comunemente realizzate utilizzando la punta conica invece del campionatore *Raymond standard*, mentre le prove penetrometriche dinamiche sono quasi sempre eseguite secondo lo *standard AGI-MEARDI* (1977), ossia utilizzando un maglio di 73kg di peso fatto cadere da una altezza di 75 cm e misurando il numero di colpi necessari a produrre l'infissione di 30cm di una punta conica standard.

In base a quanto indicato da MEARDI (1967), nell'area milanese le resistenze misurate dalle prove SPT e dalle prove dinamiche, entrambe espresse in termini di "numero di colpi/piede", possono essere considerate equivalenti e, pertanto, per l'analisi geostatistica è stato utilizzato un unico set di dati ottenuto dall'unione dei risultati delle prove SPT con quelle dinamiche. I dati sono stati suddivisi in 3 classi di profondità: da 2,5 a 5 m, da 5 a 7,5 m e da 7,5 a 10 m, e per ciascuna verticale di prova è stato calcolato il valore medio di resistenza corrispondente all'intervallo di profondità di interesse.

Le mappe di resistenza ottenute sono rappresentate nelle 3 figure seguenti (Figg. 25, 26 e 27), le quali indicano la presenza di aree a maggior resistenza posizionate nella porzione centrale e nord-occidentale del foglio. Dal confronto tra le 3 fasce di profondità, risulta inoltre evidente come la zona a maggior resistenza tenda ad estendersi gradualmente verso S con l'aumentare della profondità, dando luogo ad una dorsale che raggiunge il centro di Milano. Nelle porzioni occidentali e sud-occidentali del foglio le resistenze risultano invece sempre significativamente inferiori.

È interessante notare che le aree a maggior resistenza corrispondono, con buona approssimazione, agli ambiti appartenenti all'unità di Guanzate (Pleistocene medio – superiore) ed alla porzione del sintema di Cantù (Pleistocene superiore) ubicata a NE dell'unità di Bulgarograsso.

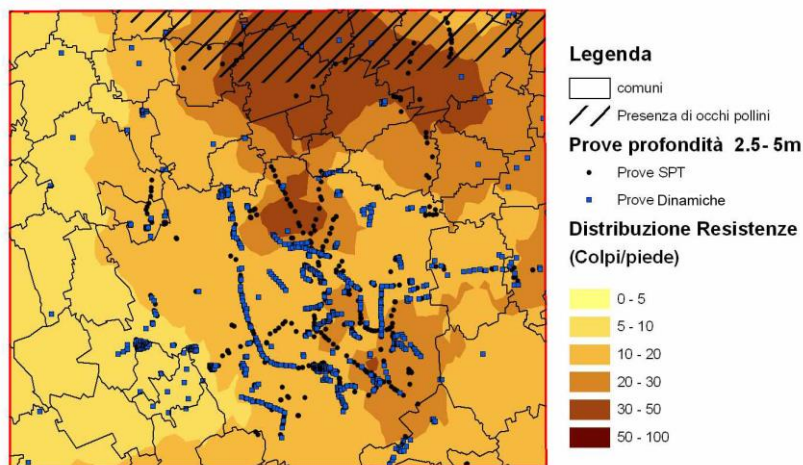


Fig. 25 – Resistenze medie alla penetrazione (colpi/piede) per profondità comprese tra 2,5 e 5 metri.

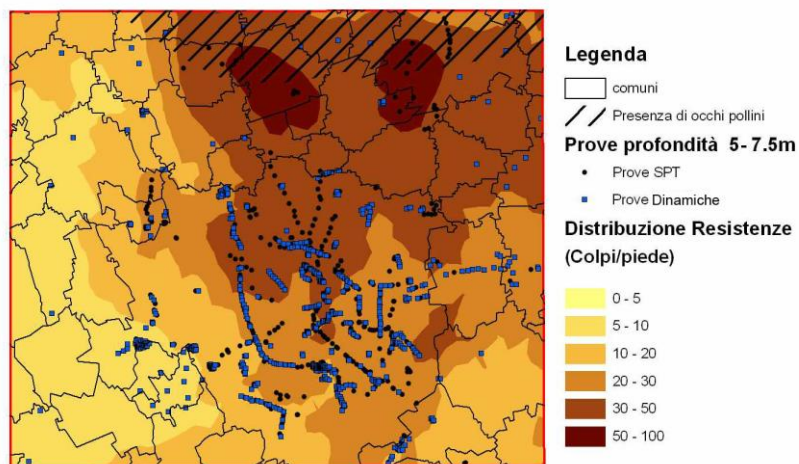


Fig. 26 – Resistenze medie alla penetrazione (colpi/piede) per profondità comprese tra 5 e 7,5 metri.

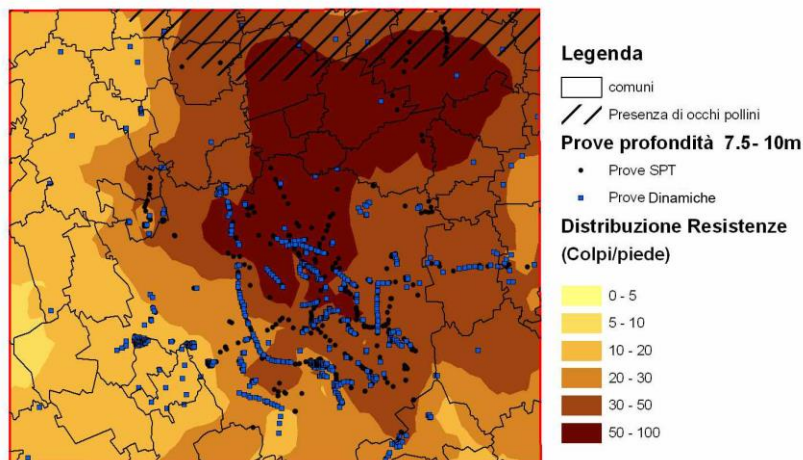


Fig. 27 – Resistenze medie alla penetrazione (colpi/piede) per profondità comprese tra 7,5 e 10 metri.

Per quanto concerne le problematiche di geologia applicata, è opportuno menzionare il fenomeno dei cosiddetti “Occhi pollini”, fenomeno che si sviluppa prevalentemente lungo una fascia ubicata in corrispondenza del margine settentrionale del foglio (si veda anche capitolo IX. Problematiche geologiche).

Il fenomeno consiste nella formazione improvvisa, in superficie, di sprofondamenti prodotti dal collasso di cavità sotterranee. Le cavità hanno dimensioni che variano da pochi decimetri ad alcuni metri di diametro e si formano a profondità comprese tra pochi decimetri fino ad una ventina di metri circa. Tali cavità si sviluppano preferenzialmente all'interno di ghiaie alterate e terreni granulari con una significativa componente di materiali fini. Fondamentale per la loro formazione è la presenza, al di sotto dei depositi superficiali, di conglomerati carsificati (Ceppo), i quali sono caratterizzati generalmente dalla presenza di fratture aperte e fungono da substrato drenante.

Il flusso delle acque di infiltrazione che circolano nei terreni superficiali dà luogo, in corrispondenza del contatto con il sottostante conglomerato, a fenomeni di sifonamento localizzato (*piping*), con asportazione graduale di terreno al di sopra delle fratture aperte.

Si vengono così a formare nei depositi sovrastanti il conglomerato delle cavità instabili che possono, tramite collassi successivi, migrare progressivamente verso la superficie e produrre vere e proprie doline di crollo.

Gli “Occhi pollini” hanno prodotto in passato lesioni anche notevoli ad edifici, infrastrutture e sottoservizi. Nelle aree soggette a questo fenomeno è buona norma, per la realizzazione di nuovi edifici, l’esecuzione di campagne di indagini estese, integrando i metodi diretti (sondaggi e prove penetrometriche) con quelli indiretti (georadar o tomografie geoelettriche), in modo da ottenere un’immagine il più possibile completa del primo sottosuolo.

VIII. ASPETTI IDROGEOLOGICI

1. - PREMESSA

In relazione alle peculiarità dell'area in esame, gli aspetti idrogeologici ed idrochimici rivestono una fondamentale importanza, in particolare al fine di fornire uno strumento agile e flessibile per i bilanci idrogeologici, per la valutazione delle risorse idriche sotterranee e, più in generale, per gli studi applicativi inerenti il sottosuolo, anche ad una scala di dettaglio.

A questo scopo, nell'ambito dello studio finalizzato alla cartografia geologica sono stati individuati e caratterizzati i diversi livelli acquiferi presenti nel sottosuolo milanese, ricostruendo l'andamento delle relative basi, il loro spessore ed i principali parametri idrogeologici (trasmissività, permeabilità, portata specifica); ove possibile, tali parametri caratteristici sono stati anche rappresentati nella Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano.

I risultati ottenuti costituiscono un importante aggiornamento di una struttura idrogeologica ormai nota, quale quella milanese, con un affinamento nel grado di dettaglio dell'informazione.

2. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nel territorio compreso nel Foglio 118-Milano, sulla scorta delle conoscenze sino ad ora acquisite e ampiamente descritte in precedenza, sono presenti (cfr. Tab. 2 Capitolo II):

- un acquifero detto “tradizionale” (in quanto tradizionalmente captato dai pozzi), che procedendo da N a S ospita falde da libere, a semiconfinate e confinate, direttamente alimentato dalle precipitazioni e dalle irrigazioni nella parte settentrionale del foglio mentre, nella fascia più meridionale, è alimentato dall’acquifero sovrastante e/o dalla ricarica proveniente da monte; tale acquifero presenta un ispessimento da N verso S e da E verso O, con sensibili variazioni in corrispondenza dei paleovalvei dei principali corsi d’acqua. Al suo interno vengono distinte, ove presenti, due unità idrogeologiche denominate I e II Acquifero (FRANCANI & POZZI, 1981);
- un acquifero profondo, tipicamente multistrato e ben separato dagli acquiferi sovrastanti, che ospita falde in pressione; tale acquifero viene alimentato da zone di ricarica poste a monte o in corrispondenza di interruzioni degli strati impermeabili che lo delimitano (III Acquifero - FRANCANI & POZZI, 1981).

Nel 2002 la collaborazione tra REGIONE LOMBARDIA ed ENI – AGIP ha permesso di acquisire ulteriori conoscenze sulla successione litostratigrafica e sulla distribuzione degli acquiferi nel bacino sedimentario padano, sintetizzate nella pubblicazione “Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia”. In questo lavoro vengono riconosciuti, nel settore lombardo del bacino padano, una serie di gruppi acquiferi separati da superfici di discontinuità. All’interno del Foglio 118-Milano sono stati indagati i due gruppi acquiferi superiori (A e B). L’areale del foglio si situa in posizione marginale rispetto al bacino padano ed in questo settore, caratterizzato da frequente amalgamazione di depositi grossolani, la separazione idraulica tra questi due gruppi acquiferi diventa discontinua e a tratti assente. La separazione tra il Gruppo Acquifero B ed il sottostante Gruppo Acquifero C invece è continua ed esprime la risposta sedimentaria alle mutate condizioni climatiche instauratesi alla fine del Pleistocene medio (MUTTONI *et alii*, 2003).

2.1 - GRUPPO ACQUIFERO A

Il Gruppo Acquifero A corrisponde sostanzialmente, nell’area del foglio, alla porzione più superficiale dell’acquifero tradizionale, che si presenta generalmente libero ed è attualmente sfruttato in modo intensivo,

seppure spesso interessato da fenomeni di inquinamento. In questo Gruppo Acquifero rientrano le litologie più grossolane: prevalentemente ghiaie e ghiaie grossolane, poligeniche a matrice sabbiosa da media a molto grossolana; gli intervalli sabbiosi sono decisamente subordinati, con sabbie giallastre, da medie a molto grossolane, spesso ciottolose.

La base del Gruppo Acquifero A presenta nell'area di studio un'immersione verso S-SE, con quote comprese tra circa 150 e 50 m s.l.m.

2.2 - GRUPPO ACQUIFERO B

Il Gruppo Acquifero B, che nell'area del foglio è sempre presente al di sotto del Gruppo Acquifero A (nelle zone dell'alta pianura lombarda compare invece in affioramento), corrisponde alla porzione più profonda dell'acquifero tradizionale, generalmente confinato o semi-confinato.

Tale gruppo acquifero è rappresentato da una successione costituita da sedimenti, quali sabbie medio-grossolane e ghiaie a matrice sabbiosa, caratterizzati da porosità e permeabilità elevate. I sedimenti fini, molto subordinati, sono limitati alla parte inferiore della successione, in cui compaiono intercalazioni di argilla limosa e limo, di spessore da decimetrico a metrico.

Alla base del Gruppo Acquifero B è inoltre possibile individuare, localmente, livelli di conglomerati da poco cementati a ben cementati, verosimilmente riferibili al "Ceppo" *Auct.*

Anche per il Gruppo Acquifero B, la base presenta nell'area di studio un'immersione verso S-SE, con quote comprese tra circa 130 e -50 m s.l.m..

La base del Gruppo Acquifero B corrisponde alla base del supersistema Lombardo Inferiore (**LI**).

2.3 - GRUPPO ACQUIFERO C

Il Gruppo Acquifero C, attribuito al Calabriano ("Pleistocene inferiore") è costituito da prevalenti limi argillosi e sabbiosi grigi, talora fossiliferi (cfr. sondaggio RL4 "Agrate", immediatamente a NE del Foglio 118-Milano). Tali depositi sono riferibili ad un ambiente sedimentario che, nell'area del foglio è sia continentale che transizionale, caratterizzato da prevalenti sequenze cicliche di sabbie fini e limi argillosi e subordinati livelli sabbioso-ghiaiosi.

L'andamento della base presenta sempre la stessa immersione verso S-SE, con quote che nell'area del foglio sono comprese tra circa 100 e -200 m s.l.m. (REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002).

L'approccio tradizionale e le risultanze del lavoro REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002) mostrano un buon accordo tra le superfici poste alla base del II Acquifero e alla base del Gruppo Acquifero B. Per quanto riguarda invece la definizione del Gruppo Acquifero A, si nota che le caratteristiche sopra ricordate ne rendono difficile l'individuazione nel settore settentrionale del foglio, a causa della frequente amalgamazione dei depositi grossolani. Inoltre, l'andamento della superficie di base del Gruppo Acquifero A, individuata con metodi sismici e stratigrafici, solo in parte coincide con la base del I Acquifero, la quale si posiziona di solito più superficialmente. Per queste ragioni, ai fini idrogeologici, si è preferito fare riferimento alla nomenclatura degli acquiferi tradizionale (I e II Acquifero o Acquifero Tradizionale quando non distinguibili).

3. - RICOSTRUZIONE DELLA STRUTTURA IDROGEOLOGICA DI DETTAGLIO

La ricostruzione della struttura idrogeologica si è svolta, come accennato nel Capitolo IV, attraverso l'analisi preliminare del modello idrogeologico alla scala del foglio, seguita da un approfondimento ad una scala di maggior dettaglio, volto ad utilizzare il maggior numero possibile dei dati raccolti ed organizzati nella Banca Dati Geologica di Sottosuolo.

3.1 - ANALISI PRELIMINARE DELLA STRUTTURA IDROGEOLOGICA

Sono state realizzate 13 sezioni idrogeologiche interpretative, 7 delle quali ad andamento N-S e 6 ad andamento E-O, così da coprire l'intero dominio di studio con una griglia sufficientemente rappresentativa (Fig. 28); la scelta dei pozzi e dei sondaggi da utilizzare per la redazione di tali sezioni è stata effettuata tenendo conto sia della loro distanza dalla traccia di sezione che della profondità raggiunta dalle perforazioni.

A livello del tutto generale, le sezioni N-S evidenziano una sensibile immersione verso S dei livelli granulometrici più fini, che costituiscono parte dei sedimenti alluvionali più antichi, con una generale diminuzione della granulometria verso S. Le sabbie e i limi si sostituiscono alle ghiaie, e i livelli conglomeratici, frequenti nel settore settentrionale, nella parte centrale e meridionale del foglio sono quasi assenti.

L'interpretazione delle sezioni permette di suddividere il dominio di studio in settori aventi differenti caratteristiche idrogeologiche.

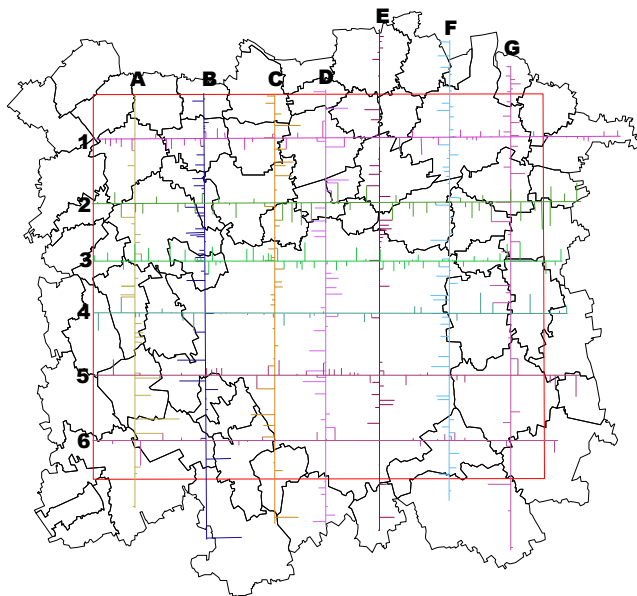


Fig. 28 - Traccia delle sezioni idrogeologiche interpretative.

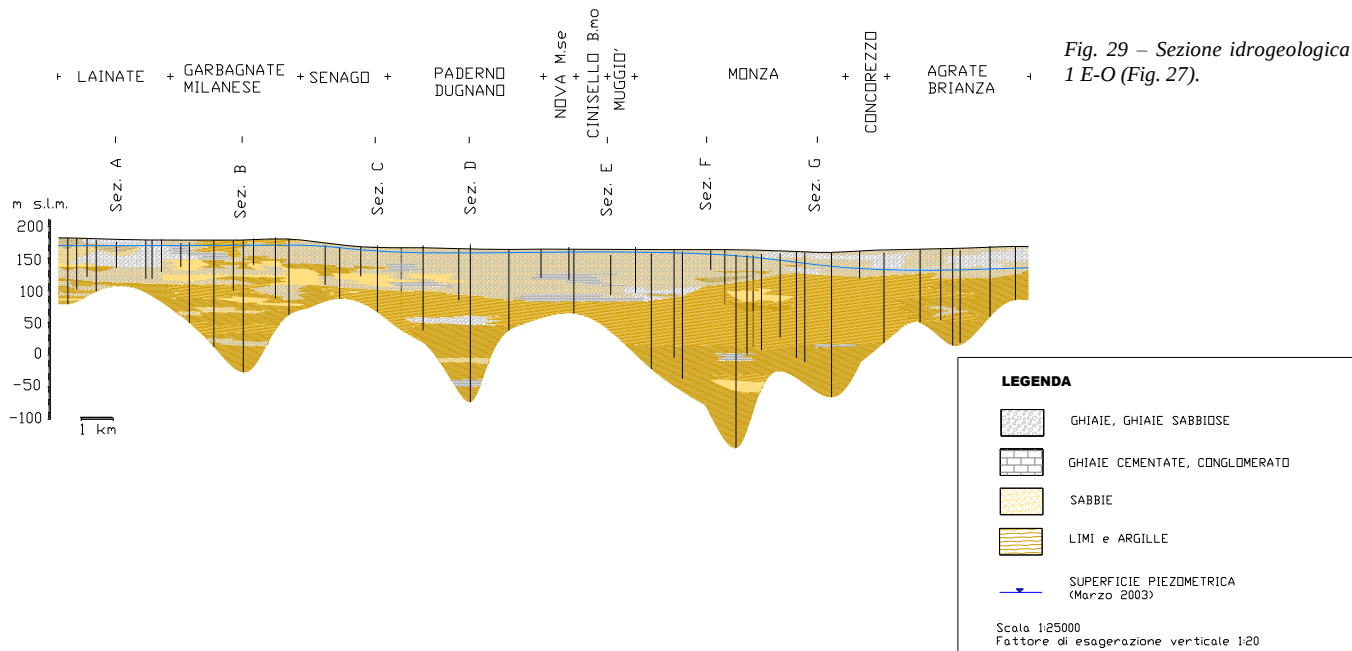
Settore Settentrionale

Questa ampia fascia a N di Milano è caratterizzata da una estrema eterogeneità dei depositi alluvionali, il che rende complessa la struttura idrogeologica dell'area.

In tale settore, le strutture idrogeologiche più interessanti sono i “paleoalvei” di alcuni corsi d'acqua (Olona, Seveso, Lambro), che danno luogo ad una irregolare distribuzione degli afflussi di acque sotterranee alla pianura centrale, comprendente Milano e il suo *hinterland* (Fig. 29).

Nel settore centro-settentrionale si individuano inoltre la dorsale di Uboldo, tra Olona e Seveso (aree di Garbagnate e Senago) e, più ad E, quella di Monza.

In questo settore, inoltre, affiorano le propaggini meridionali dei terrazzi più antichi: Parco delle Groane ad W e Parco di Monza ad E.



La rete idrica superficiale, che condiziona l'infiltrazione delle acque, in questo settore è strettamente legata alle caratteristiche dei depositi superficiali ed alla morfologia dei terrazzi. La presenza di sedimenti limoso-argillosi a tetto dei depositi terrazzati non permette l'infiltrazione, se non localmente, delle acque superficiali che alimentano generalmente acquiferi di modeste dimensioni. Al contrario, in corrispondenza dei principali corsi d'acqua (Olona, Seveso e Lambro) che hanno inciso lo strato di alterazione impermeabile e le sottostanti unità grossolane, le acque superficiali alimentano gli acquiferi più importanti; in questo caso si ha un'alimentazione concentrata lungo le maggiori e più incise aste fluviali. I depositi alluvionali più recenti, infatti, a causa del ridotto o assente strato di alterazione superficiale, consentono una rapida infiltrazione delle acque meteoriche che alimentano la falda.

Settore Meridionale

Nel settore meridionale dell'area di studio le sezioni idrogeologiche evidenziano invece la presenza di sabbie e ghiaie, con lenti di argille e limi, senza una precisa distribuzione preferenziale dei livelli permeabili (Fig. 30).

Le permeabilità sono ovunque mediamente inferiori a quelle del settore settentrionale; la diminuzione di permeabilità non è tuttavia così netta, come ci si potrebbe attendere dall'incremento della frazione fine.

Man mano che si procede verso S, il contatto tra il II Acquifero (coincidente con il Gruppo Acquifero B) e il III Acquifero (coincidente con il Gruppo Acquifero C) si trova a profondità sempre maggiore e risulta meno controllato, dato l'esiguo numero di pozzi sufficientemente profondi. In questo settore è possibile distinguere il I ed il II Acquifero, separati da un livello argilloso sostanzialmente continuo, il cui spessore si incrementa verso S. (Fig. 31).

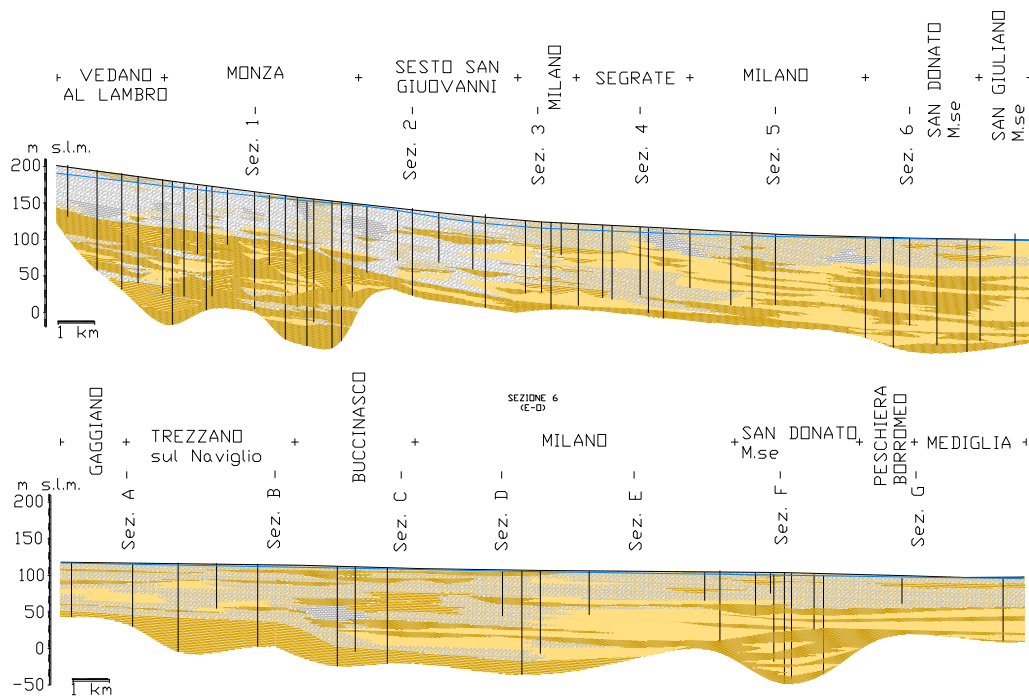


Fig. 30 – Sezione idrogeologica “F” N-S (Fig. 27). Sono indicati i Comuni attraversati: il settore settentrionale è quello compreso tra Vedano al Lambro e Milano e quello meridionale tra Milano e S. Giuliano M.se. Per la legenda, vedere la Fig. 29.

Fig. 31 – Sezione idrogeologica 6 E-O (Fig. 27). Per la legenda, vedere la Fig. 29.

3.2 - ELABORAZIONE DELLE CARTE TEMATICHE

Lo studio è proseguito con la fase di interpretazione ed elaborazione dei dati puntuali presenti nella Banca Dati Geologica di Sottosuolo, al fine di ricostruire l'andamento nello spazio delle superfici idrogeologiche principali e di alcuni parametri idrogeologici di maggiore interesse applicativo.

Data la tipologia dei dati a disposizione, la ricostruzione idrogeologica di dettaglio riguarda principalmente i primi cento metri della successione sedimentaria.

L'elaborazione dei dati ha portato alla redazione delle seguenti cartografie, presenti nell'allegata Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano:

- Carta della base del supersintema Lombardo Inferiore (LI): dato il buon accordo tra la superficie di base del supersintema Lombardo Inferiore (riferibile al Gruppo Acquifero B, REGIONE LOMBARDIA-ENI, 2002) e la base dell'Acquifero Tradizionale, la cartografia dell'andamento della base di LI definisce anche l'andamento di tale acquifero;
- Carta della base del I Acquifero;
- Carta dello spessore dell'*aquitard* tra il I e il II Acquifero;
- Carta della permeabilità del I Acquifero
- Carta piezometrica della falda freatica (relativa ad aprile 2003);

Al fine di valutare le risorse idriche presenti nei diversi acquiferi, si è proceduto al calcolo dei parametri idrogeologici più significativi, in particolare in relazione ai valori di permeabilità dei diversi livelli acquiferi: la stima di questi parametri è stata effettuata sia sulla base di prove dirette di permeabilità sia indirettamente col metodo di Cassan, che permette di calcolare la permeabilità di un acquifero partendo dai dati rilevati durante la prova di collaudo del pozzo (generalmente riportati nelle stratigrafie, raccolte in un precedente lavoro effettuato dal DIAR del Politecnico di Milano in collaborazione con la Provincia di Milano). A questo proposito, si sottolinea però che il valore della permeabilità così calcolato è spesso influenzato dalle caratteristiche costruttive e di resa del pozzo; può accadere, infatti, che pozzi con filtri intasati forniscano valori di trasmissività inferiori rispetto a quelli caratteristici dell'acquifero captato. In ogni caso, pur con tutte le cautele, i risultati ottenuti sono stati inseriti all'interno del data-base idrogeologico specificando, oltre al valore di conducibilità idraulica, anche il Gruppo Acquifero a cui tale dato è riferibile.

3.2.1. - Base dell'Acquifero Tradizionale (base Gruppo Acquifero B)

La base dell'Acquifero Tradizionale nell'area del foglio coincide con la base del supersistema Lombardo Inferiore (o base del Gruppo Acquifero B, REGIONE LOMBARDIA-ENI, 2002): ricostruita sulla base di circa 360 dati distribuiti abbastanza omogeneamente nell'areale del foglio e rappresentata con isobate ad equidistanza 5 m, essa presenta un andamento abbastanza regolare, con un generale approfondimento da N verso S. Procedendo verso S, quindi, lo spessore di questa unità aumenta progressivamente.

A livello locale si osservano alcune anomalie nell'andamento complessivo, dovute sia a fenomeni di tipo erosionale, ad esempio in corrispondenza dei paleoalvei dei principali corsi d'acqua, sia verosimilmente a fenomeni di sollevamento tettonico del substrato.

In relazione all'andamento di questo livello, il foglio può essere suddiviso in tre aree omogenee principali: nel settore nord-occidentale, la base dell'Acquifero Tradizionale presenta quote variabili da 120 m s.l.m. a 70-80 m s.l.m. e una pendenza media intorno all'1÷1,5%. Procedendo verso S e verso E, assume un andamento più regolare, sia in termini di profondità che in termini di pendenza; nell'area nord-orientale si osserva invece una certa tendenza alla risalita di questa superficie, in particolare nella fascia compresa tra Cinisello Balsamo e Pioltello, probabilmente a causa di strutture tettoniche sepolte; infine, nell'area centro-meridionale, le sue isobate hanno direzione circa E-O e la sua pendenza si attesta uniformemente intorno allo 0,5%, ad eccezione della porzione più orientale di questo settore, in cui compare una stretta depressione orientata NO-SE. A partire dal margine meridionale del Comune di Milano, la base dell'Acquifero Tradizionale si trova a quote inferiori rispetto all'attuale livello del mare.

3.2.2. - Base del I Acquifero

L'andamento di tale limite (ricostruito sulla base di oltre 1000 dati) appare sensibilmente meno regolare rispetto a quello appena descritto per l'Acquifero Tradizionale, seppure con un generale approfondimento da N verso S. A differenza di quanto osservato in precedenza, procedendo verso S lo spessore del I Acquifero diminuisce progressivamente, da 40-50 m nel settore settentrionale a 20-25 m in quello meridionale.

A livello locale si osservano alcune anomalie piuttosto evidenti, già rilevate nella fase di analisi geostatistica dei dati (Appendice 3), dovute presumibilmente a fenomeni erosionali, ad esempio in corrispondenza dei paleoalvei dei principali corsi d'acqua; particolarmente evidente risulta in tal senso il paleoalveo del Fiume Lambro, localizzato nel settore nord-orientale, cui si affianca quello del Seveso nel settore centro-settentrionale,

mentre nel settore più occidentale si intuisce il paleoalveo del Fiume Olona.

3.2.3. - *Andamento e spessore dell'aquitard di separazione tra il I Acquifero ed il II Acquifero*

Livelli poco permeabili in grado di separare idraulicamente il I e il II Acquifero (*aquitard*) non sono presenti in tutta l'area del foglio: in particolare, nel settore nord-orientale tale *aquitard* risulta assente e I e II Acquifero sono pertanto in comunicazione tra loro. In quest'area è quindi più opportuno considerare l'Acquifero Tradizionale indifferenziato.

L'*aquitard* compare, dapprima in modo discontinuo, nel settore centro-orientale all'altezza di Milano, per poi divenire sempre più continuo e di maggiore spessore (fino a valori massimi di circa 10-12 m) procedendo verso SE, così che la separazione idraulica tra i due livelli acquiferi diviene progressivamente sempre più netta. Nel settore centro-occidentale l'*aquitard* si presenta in una fascia disposta in senso meridiano e con spessori significativi (5-9 m), per ritornare poi discontinuo al margine occidentale del foglio.

3.2.4. - *Carta della permeabilità del I Acquifero*

I dati di conducibilità idraulica inseriti nel data-base idrogeologico sono per lo più riferiti al I e II Acquifero, oppure alla combinazione dei due (Acquifero Tradizionale). Sulla base di tali dati è stato quindi possibile ricostruire con un buon grado di dettaglio l'andamento della permeabilità nel dominio in esame. Nella porzione settentrionale del foglio, come già accennato, a causa della notevole eterogeneità dell'acquifero i valori medi della permeabilità si presentano piuttosto articolati. La permeabilità diminuisce poi procedendo verso S, in particolare nel settore centro-orientale. All'altezza di Milano, in corrispondenza della separazione tra i due livelli acquiferi, si osserva anche una riduzione dei valori medi della permeabilità.

A partire dai suddetti valori di conducibilità idraulica ed utilizzando lo spessore dell'acquifero ricavato in base alle sezioni eseguite, è stato possibile procedere ad una valutazione della trasmissività del II Acquifero (non riportata nella cartografia). I valori ottenuti variano da un minimo di $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ad un massimo di $7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ e risultano particolarmente elevati nel settore occidentale e nell'area milanese. In queste zone, infatti, sono prevalenti le ghiaie e la frazione fine presente nella matrice o in lenti è più ridotta rispetto al settore orientale. Inoltre, è proprio qui che il II Acquifero raggiunge i valori massimi di spessore, pari a circa 64 m.

Procedendo verso S, la frazione grossolana rimane prevalente, ma si riduce lo spessore dell'acquifero (15-30 m), a causa anche della distinzione tra i due livelli acquiferi. Il *trend* descritto è tutt'altro che regolare e, alla piccola scala, sono individuabili diverse eccezioni che, in alcuni casi, possono essere anche legate a particolari condizioni di efficienza del pozzo o ad errori commessi nella prova di collaudo.

3.2.5. - Piezometria

Sulla base dei dati piezometrici disponibili è stato ricostruito l'andamento della piezometria, sia della falda libera più superficiale (I Acquifero, falda freatica) sia di quella semiconfinata (II Acquifero), fotografando la situazione ad aprile 2003. Nel seguito vengono commentati i risultati ottenuti, corredati da interpretazioni relative al *trend* di variazione piezometrica osservato nel corso degli ultimi decenni, soprattutto grazie alla rete di monitoraggio del Sistema Informativo Falda della Provincia di Milano. Come emerge chiaramente dalla trattazione seguente, l'andamento della piezometria rilevata risente fortemente dell'influenza dei prelievi, soprattutto per quanto riguarda il II Acquifero nella zona centrale di Milano. Qui, infatti, il forte prelievo idrico determina un'ampia depressione piezometrica, che influenza notevolmente l'andamento della falda, la quale assume una morfologia tipicamente radiale su un'estensione areale di oltre 200 km². In assenza di prelievi, ovviamente, la morfologia naturale del II Acquifero assumerebbe un aspetto sicuramente più simile a quello del I Acquifero, caratterizzato da una morfologia tipicamente cilindrica con direzione di flusso prevalente da NNO verso SSE; in tal caso l'innalzamento piezometrico atteso nella zona centrale di Milano sarebbe di circa una decina di metri. È attualmente in corso, nell'ambito della revisione del Piano di Tutela delle Acque (anno 2015), il rilievo di una piezometria aggiornata del I e del II Acquifero.

3.2.5.1. - Piezometria del I Acquifero

L'andamento generale del livello della falda contenuta nel I Acquifero (si veda a questo proposito la Carta Piezometrica della Falda Freatica – anno 2003) evidenzia una morfologia con linee di flusso ad andamento NNO-SSE. I valori di soggiacenza media sono piuttosto elevati nel settore settentrionale (30-40 m) e diminuiscono verso S, annullandosi di fatto lungo la fascia dei fontanili.

Più in particolare, la piezometria della falda libera superficiale è caratterizzata da una struttura radiale convergente, che si attenua solo nella parte più meridionale dell'area.

Le quote della falda variano da 128 m s.l.m. a NO, al confine del Comune di Pero, a 112 m s.l.m. a NE verso Cologno Monzese, sino a 98 m

s.l.m. nel settore meridionale. Molto pronunciata risulta anche la differenza di gradiente idraulico tra il settore occidentale e quello orientale, dove si riduce dallo 0,5% allo 0,3%.

3.2.5.2. - I fontanili

La falda contenuta nel I Acquifero presenta, nell'area del foglio, numerose emergenze sotto forma di fontanili, la cui origine è spesso riconducibile ad interventi antropici finalizzati al drenaggio delle acque per alimentare le rogge artificiali. Tali fontanili si localizzano lungo una fascia orientata E-O (si veda a questo proposito la Carta Geologica di Superficie), laddove la modesta profondità della falda dal piano campagna ne consente l'affioramento. Mediamente, nell'area del foglio si ha un fontanile ogni $1,4 \text{ km}^2$, anche se in alcuni settori si raggiunge una densità di 2 fontanili per km^2 . Dei fontanili conosciuti, circa la metà sono ormai scomparsi oppure risultano inattivi; per i fontanili attivi di cui è nota la portata (che rappresentano circa il 40% del totale) si osserva che oltre il 70% presenta una portata superiore ai 100 l/s, circa il 15% una portata compresa tra 50 e 100 l/s e poco più del 10% una portata inferiore a 50 l/s.

3.2.5.3. - Piezometria del II Acquifero

L'andamento della falda semiconfinata contenuta nel II Acquifero non è morfologicamente molto dissimile da quello della falda libera superficiale. In questo caso, tuttavia, l'interferenza delle centrali di pompaggio è molto marcata, in quanto la maggior parte del prelievo che viene effettuato dall'Acquedotto di Milano è localizzato in questa falda. La richiesta idrica del capoluogo lombardo provoca infatti un'ampia depressione piezometrica nella zona centrale dell'area di studio, che influenza notevolmente la morfologia delle isopiezometriche in un settore esteso per oltre 30 km.

L'effetto più evidente è la formazione di due importanti assi di drenaggio delle acque sotterranee: il principale, allineato circa NNO-SSE, è connesso alle centrali di pompaggio Espinasse, Vercelli, Cantore, Este ed interessa tutto il territorio del Comune di Milano; il secondo invece interessa il solo settore NE della città ed, in particolare, le centrali di pompaggio di Crescenzago, Feltre e Ovidio.

Le zone laterali sono invece influenzate dall'azione drenante dei corsi d'acqua superficiali, favorita anche, in alcuni settori, dall'innalzamento della base dell'acquifero. L'andamento delle linee isopiezometriche può, dunque, essere descritto come "radiale convergente" nella zona centrale e "radiale divergente" nelle aree più periferiche, in particolare nel settore

occidentale. Anche il valore del gradiente idraulico è molto variabile, passando da valori minimi di poco superiori allo 0,1% nella zona meridionale, a valori di circa 0,3% nella zona occidentale, fino a raggiungere i valori massimi intorno all'1% nella zona a N di Monza. Ulteriori locali incrementi del gradiente si registrano in corrispondenza del richiamo idrico di Milano nell'area di Rho.

La differenza tra i livelli piezometrici delle due falde evidenzia come in tutta l'area nord-occidentale la piezometria della seconda falda sia inferiore a quella della prima, da 4-5 m fino ad un massimo di 7 m verso il Comune di Pero; lo stesso fenomeno, seppure di minore entità, è presente anche nel settore nord-orientale. Nel settore meridionale, invece, la differenza di carico tra i due livelli acquiferi è pressoché nulla.

3.2.5.4. - Oscillazioni piezometriche stagionali

Le oscillazioni piezometriche stagionali assumono valori variabili nei diversi settori del foglio, passando da variazioni di ordine metrico nella zona settentrionale (Figg. 32 e 33) a oscillazioni di ordine decimetrico nella zona meridionale (Figg. 34 e 35). Oltre a questo *trend* con attenuazione delle oscillazioni da N verso S, si osserva anche un'attenuazione delle oscillazioni procedendo dal centro del dominio (Fig. 36) verso i corsi d'acqua laterali, che svolgono un'azione regolatrice dei livelli piezometrici.

Le oscillazioni piezometriche osservate nell'area del foglio risentono fortemente dell'andamento del periodo irriguo. Infatti, i massimi livelli della falda (minima soggiacenza) si registrano nei mesi di agosto/settembre, mentre i minimi (massima soggiacenza) sono raggiunti tra marzo e aprile.

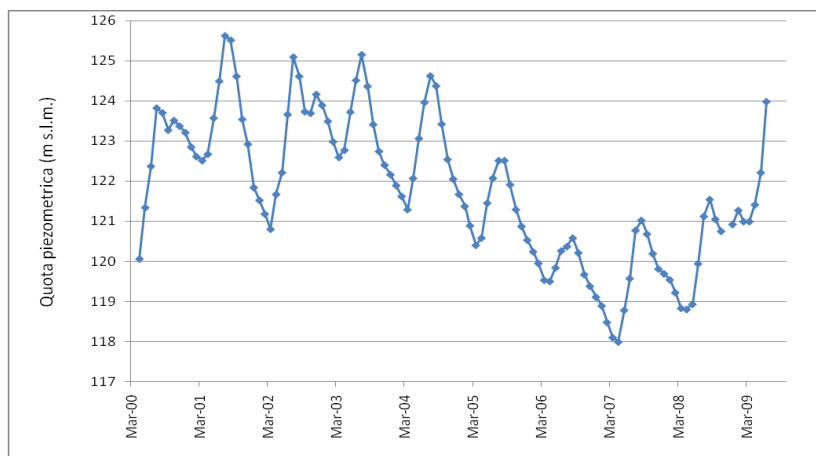


Fig. 32 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona NE del foglio.

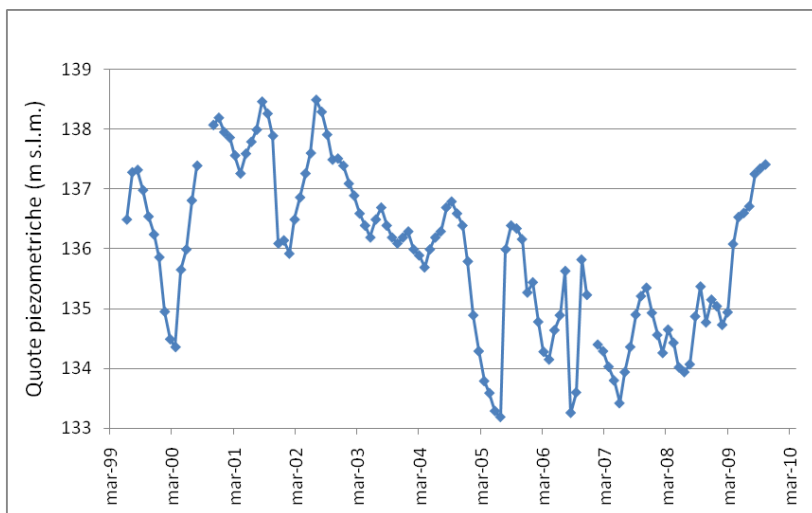


Fig. 33 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona NO del foglio.

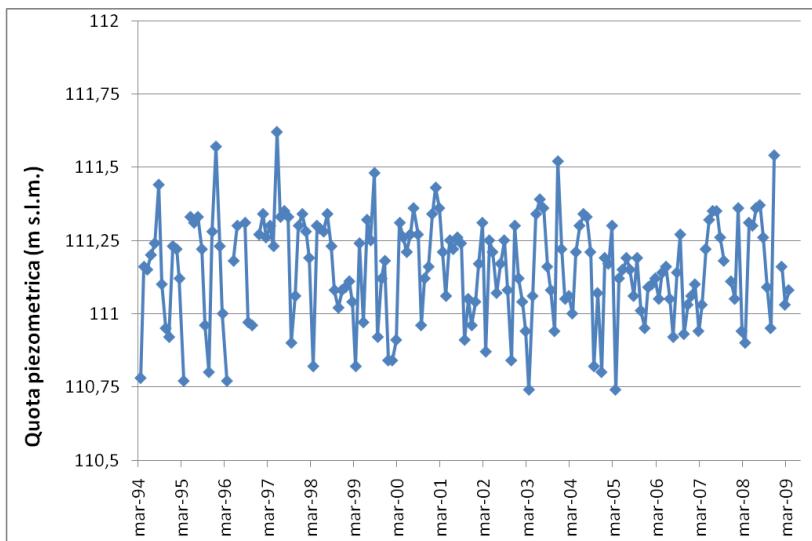


Fig. 34 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona SO del foglio.

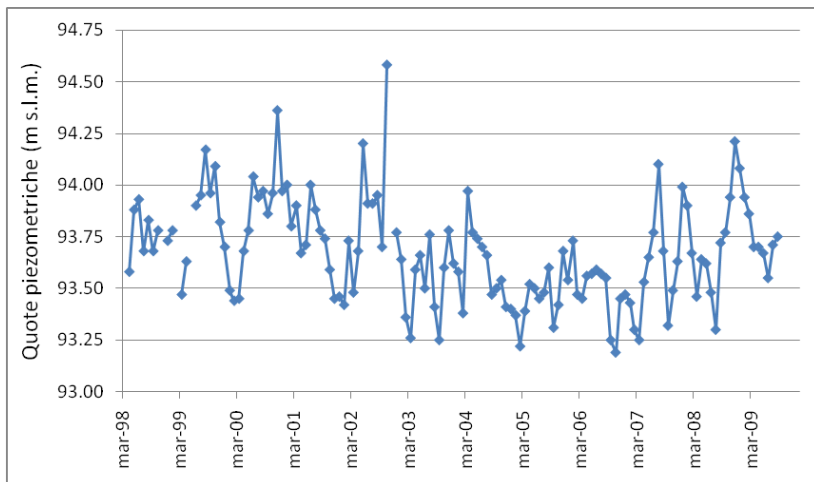


Fig. 35 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona SE del foglio.

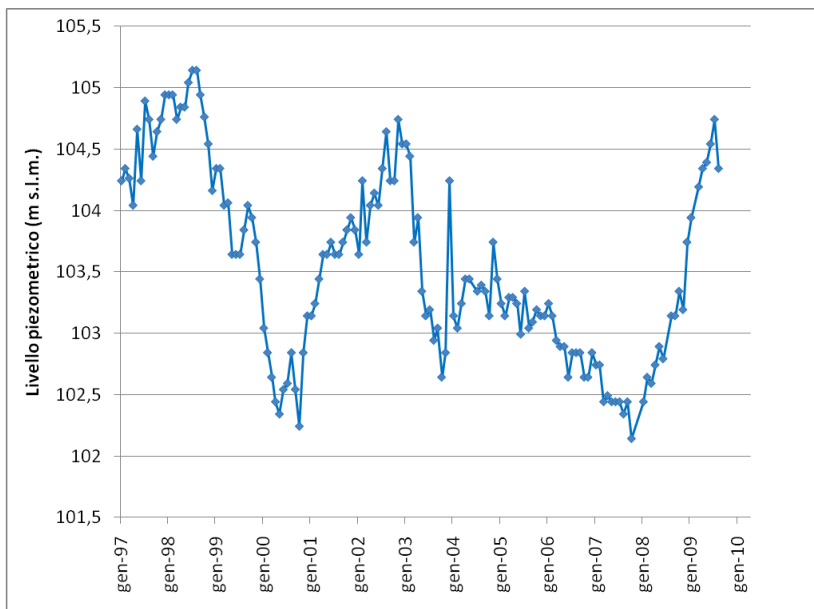


Fig. 36 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona centrale del foglio.

IX. PROBLEMATICHE GEOLOGICHE

La città di Milano è da tempo interessata dalle problematiche tipiche delle grandi aree urbane, legate allo squilibrio idrogeologico e a diffusi fenomeni d'inquinamento. Un elemento di novità si è inoltre aggiunto negli ultimi anni, con un progressivo innalzamento della superficie piezometrica che sta creando gravi problemi alle grandi infrastrutture sotterranee (linee metropolitane, parcheggi sotterranei, piani interrati).

L'area milanese è stata inoltre interessata negli anni passati da fenomeni di subsidenza piuttosto generalizzati, dovuti all'intensivo sfruttamento delle risorse idriche del sottosuolo. Sebbene tale problema sia oggi attenuato, data l'inversione di tendenza dell'evoluzione piezometrica, si continuano a rilevare locali problemi legati alla subsidenza e riconducibili generalmente a specifici interventi di abbattimento della falda, oppure alla presenza di cavità o livelli particolarmente cedevoli nel sottosuolo (quale è ad esempio il caso di Monza).

Infine, una particolare menzione meritano i sempre più frequenti fenomeni di esondazione che interessano i principali corsi d'acqua presenti nell'area (Lambro, Olona e Seveso), che hanno visto la loro sezione di deflusso restringersi sempre più in seguito alla forte urbanizzazione; il cosiddetto "nodo idraulico dell'area milanese" è infatti attualmente oggetto di attenzione e di interventi di razionalizzazione del deflusso delle acque.

1. - L'INNALZAMENTO DELLA FALDA

Nel corso del XX secolo il territorio milanese ha subito importanti trasformazioni dal punto di vista urbano e produttivo e, di conseguenza, di uso del suolo e delle risorse idriche. Negli ultimi vent'anni, infatti, si è assistito al progressivo abbandono dei grandi poli industriali (ad esempio quello di Sesto San Giovanni) a favore di una consistente crescita del settore terziario. Una conseguenza di tali trasformazioni socio-economiche è la sensibile risalita del livello di falda, che per decenni aveva subito un notevole abbassamento, in particolare nella zona di Milano: negli anni '90 tale livello è risalito fino a circa 10 m di soggiacenza in città, provocando problemi alle infrastrutture nel sottosuolo, non preventivamente impermeabilizzate. La causa principale del fenomeno può essere individuata nella forte diminuzione dei prelievi idrici, anche in conseguenza della dismissione di alcuni poli industriali e alla tendenza generale di spostare le attività produttive in zone meno urbanizzate.

In effetti, l'analisi dei dati storici evidenzia tre periodi principali, per quanto concerne i *trend* pluriennali dell'andamento dei livelli piezometrici (Fig. 37): all'inizio degli anni '80, nel settore settentrionale del foglio, la profondità della falda era compresa tra -30 e -22 m dal p.c., la sua direzione di flusso era orientata NNO-SSE con gradiente medio pari allo 0,44%; all'inizio degli anni '90 la falda si trovava a profondità comprese tra -38 e -30 m dal p.c. con direzione di flusso orientato da NNO-SSE e gradiente di circa 0,40% (Fig. 37); a partire dalla metà degli anni '90 si rileva un'inversione di tendenza che, nel settembre del 1995, porta la superficie della falda a profondità comprese tra -32,5 e -24,5 m da p.c., con una direzione di flusso orientata da N a S e gradiente dello 0,37% (Fig. 38). A partire da questa data si nota, inoltre, una rotazione della direzione di flusso in direzione oraria mostrando quindi il prevalere dell'effetto dovuto al cono di depressione della città di Milano (Fig. 39).

Il fenomeno dell'innalzamento della falda presenta caratteristiche differenti nei diversi settori del dominio di studio. La crescita del livello medio della falda e le sue fluttuazioni sono meno sensibili da N a S a causa di diversi fattori concomitanti: minore quantità di precipitazione e di prelievi da falda; effetto regolatore della fascia dei fontanili; maggiore diffusione delle irrigazioni. Nel settore meridionale le oscillazioni annue sono invece più consistenti, probabilmente grazie ad un maggiore influsso del regime irriguo connesso.

L'adozione di sistemi di pompaggio per l'abbattimento del livello della falda freatica, finalizzati a ridurre l'interferenza con le strutture sotterranee (parcheggi, linee metropolitane, sottopassi, scantinati ecc.) può a lungo termine indurre fenomeni di subsidenza e cedimenti strutturali.

Inoltre, l'innalzamento della falda ha ripercussioni sulle sue caratteristiche qualitative, in quanto si verifica un dilavamento e una mobilitazione di sostanze inquinanti eventualmente presenti nella zona insatura.

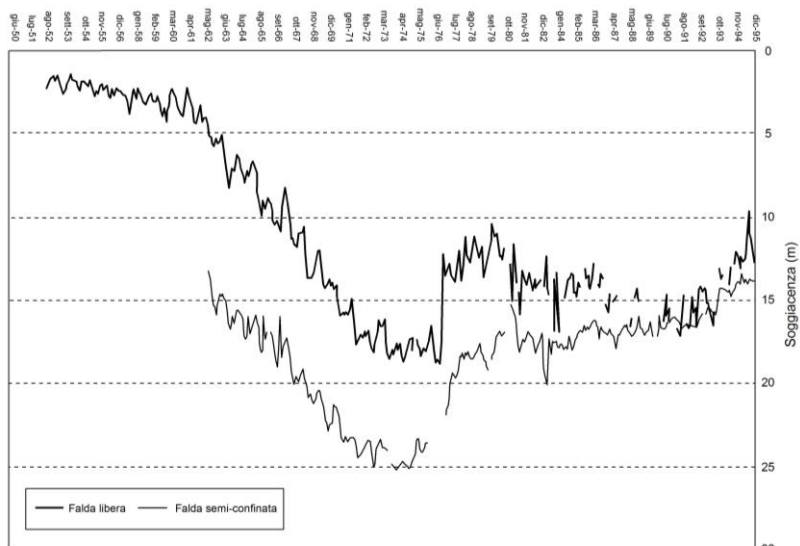


Fig. 37- Oscillazioni delle superfici piezometriche a partire dal 1956 (ridisegnata da PROVINCIA DI MILANO, 1996).

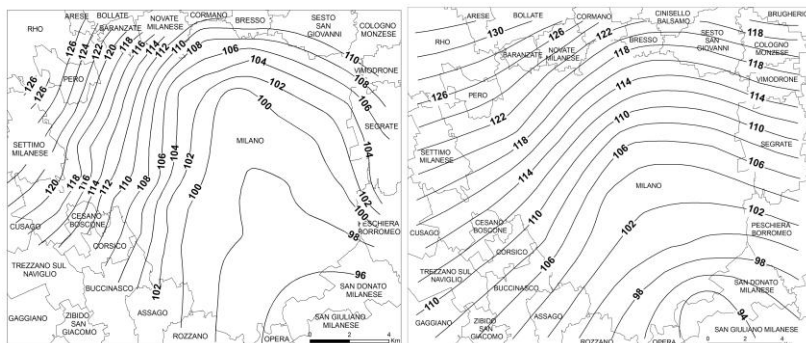


Fig. 38- Superficie piezometrica della falda superficiale (m s.l.m.) nel 1990 (a sinistra, ridisegnata da PROVINCIA DI MILANO, 1996) e nel 2001 (a destra).

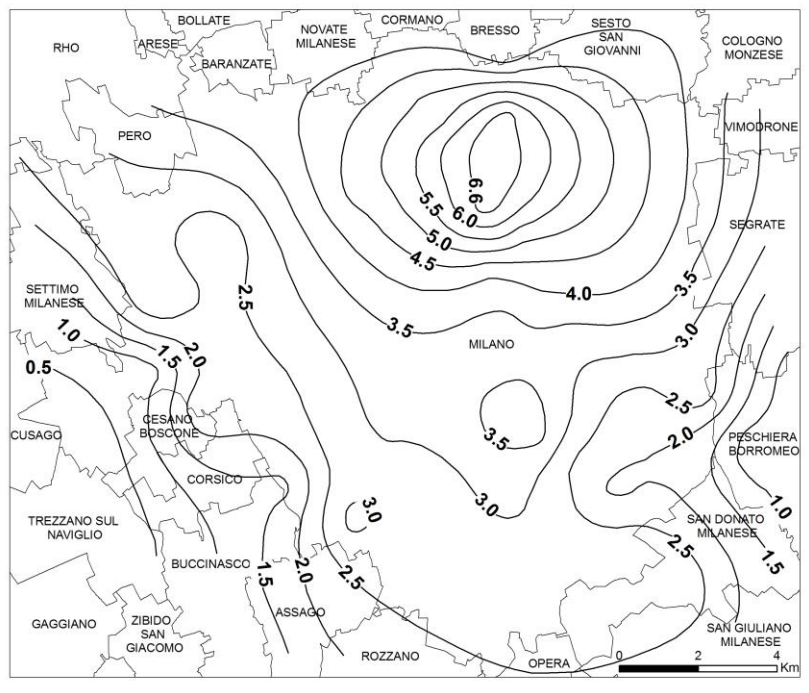


Fig. 39 - Escursione della superficie piezometrica della falda superficiale (m) tra Marzo 1990 e Marzo 1995 (ridisegnata da PROVINCIA DI MILANO, 1996).

2. - I CEDIMENTI DEL SUOLO

I fenomeni di abbassamento del suolo sono generalmente connessi alla presenza di livelli comprimibili, oppure di vere e proprie cavità nel sottosuolo; tali fenomeni si sviluppano prevalentemente in materiali alluvionali, con caratteristiche meccaniche apparentemente buone. L'interesse scientifico ed applicativo per il fenomeno deriva dai rischi ad esso connessi, sia in relazione allo sviluppo di sprofondamenti o all'apertura di voragini, sia in relazione alla scadente capacità portante del materiale; quest'ultimo aspetto appare di fondamentale importanza nei progetti di fondazioni.

Da un punto di vista tipologico, si possono distinguere: fenomeni superficiali, cavità in terreni, zone a bassa resistenza e cavità in conglomerato. Lunghi anni di studio hanno permesso di identificare il modello di formazione di tali cavità (localmente dette "Occhi pollini"),

che è indicato in letteratura con i termini *piping* (HIGGINS, 1984), *tunnel erosion* (BRYAN & JONES, 1997), *suffosion* (SOLEILHAVOUP & CAILLEUX, 1979).

In particolare, nel territorio di Monza sono presenti livelli altamente alterati che, in passato, hanno creato problemi geotecnici; a questo proposito, si ricordano i cedimenti durante la perforazione di pozzi ad uso potabile ed il ritrovamento di cavità durante gli scavi per le fondazioni dell'Ospedale Nuovo.

Le zone maggiormente esposte a tali fenomeni di erosione sotterranea si localizzano all'interno dei materiali alluvionali, in particolare in corrispondenza di sponde fluviali e terrazzi morenici. In tali zone, infatti, il gradiente idraulico della falda, già naturalmente elevato, può subire periodici incrementi a causa dell'innalzamento piezometrico indotto dall'infiltrazione delle acque meteoriche.

Per quanto riguarda i metodi di individuazione, non esiste ad oggi una specifica metodologia d'indagine e la loro individuazione avviene attraverso i sondaggi (che purtroppo non permettono di determinare con certezza l'esistenza di una zona a bassa resistenza, soprattutto se di piccole dimensioni) e le prove penetrometriche, che normalmente si effettuano in sito durante la fase di progettazione di un'opera.

Altre metodologie d'indagine che potrebbero dare buoni risultati sono le indagini geofisiche: geoelettrica e georadar. Purtroppo, questo tipo di prove sono raramente utilizzate nelle ordinarie campagne che si effettuano nell'ambito dell'ingegneria civile e quindi se ne conoscono poco i vantaggi e i limiti nella ricerca degli "Occhi pollini".

2.1 - L'ESEMPIO DI MONZA

Una specifica indagine pilota relativa agli "Occhi pollini" realizzata sul territorio di Monza, ha permesso di individuare le aree maggiormente soggette al fenomeno. La disponibilità di numerosi sondaggi e prove in sito ha infatti permesso di determinare le seguenti caratteristiche geotecniche dei terreni:

- alterazione del terreno: sono stati individuati i livelli alterati, analizzando le stratigrafie e ricercando gli strati descritti di colore marrone-bruno-rossastro, generalmente indizio di alterazione (Fig. 40);
- permeabilità: il sottosuolo monzese è costituito da materiali alluvionali, mediamente caratterizzati da alti valori di permeabilità (10-5 m/sec); valori di permeabilità più elevati sono spesso riconducibili alla presenza di "Occhi pollini" (Fig. 41);

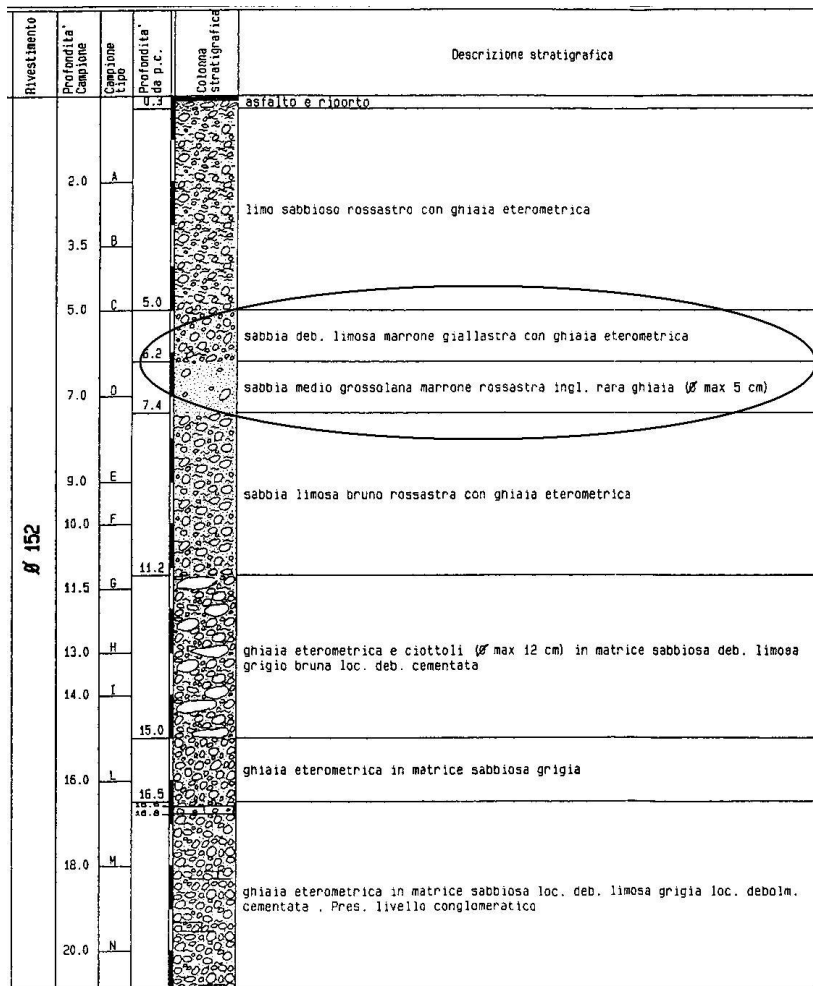


Fig. 40 - Esempio di stratigrafia in cui si individuano strati di terreno alterato.

- angolo d'attrito e peso specifico: valori bassi di angolo d'attrito e peso specifico sono generalmente associabili a strati deboli e poco addensati (Fig. 42);

- indice di deformabilità: attraverso l'indice di deformabilità ricavato dalle prove S.P.T. possono essere individuati gli strati deboli e scarsamente addensati.

La valutazione di tali parametri ha consentito di individuare alcune aree (in particolare quelle dell'Ospedale Nuovo e della Villa Reale) in cui essi assumono valori contrastanti rispetto al valore medio. In un secondo

momento si sono valutate le condizioni d'innescò del fenomeno di *piping* in termini di gradiente idraulico critico (Fig. 43a); quindi, individuate le aree maggiormente soggette al fenomeno da un punto di vista geolitologico e granulometrico e stimati i parametri caratteristici dell'innescò del *piping*, è stato possibile redigere una cartografia della suscettibilità al fenomeno sull'intero dominio di studio, individuando le aree maggiormente esposte, quelle interessate solo da fenomeni superficiali di alterazione e, infine, quelle estranee al fenomeno (Fig. 43b).

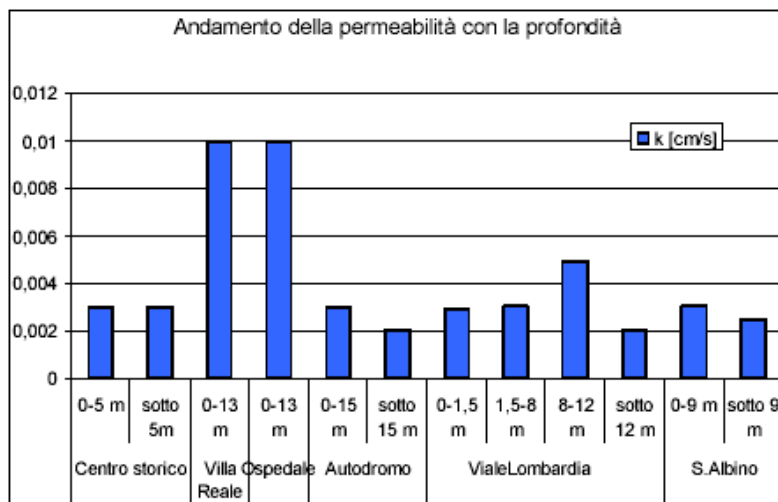


Fig. 41 - Valori di permeabilità nei diversi settori di Monza.

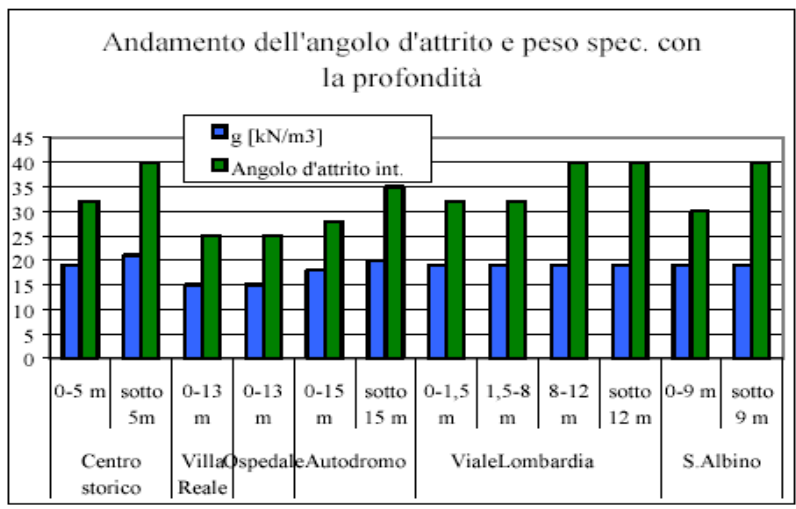


Fig. 42 - Valori di angolo d'attrito e peso specifico nei diversi settori di Monza.

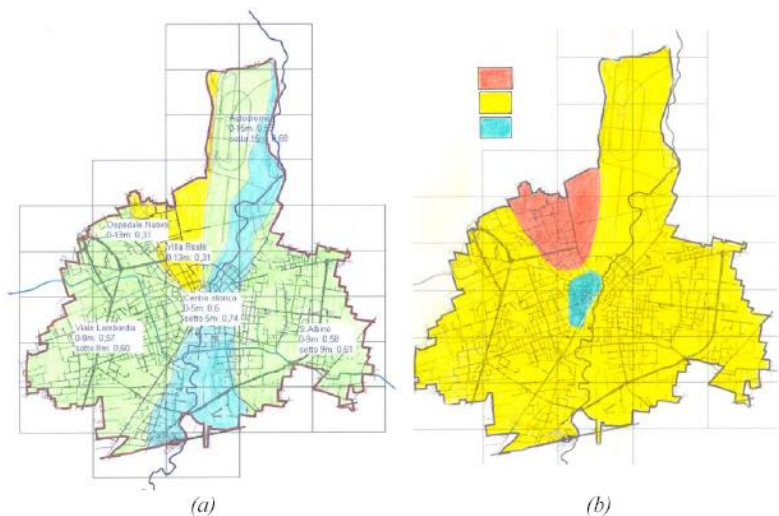


Fig. 43 - (a) Distribuzione del gradiente idraulico critico nei diversi settori di Monza: in giallo è evidenziato il Pianalto di Villa Reale, in azzurro la valle del Lambro e in verde il Livello Fondamentale della Pianura. (b) Cartografia del rischio connesso alla presenza di livelli di debolezza: in rosso sono individuate le zone ad elevato rischio (in cui ricadono la Villa Reale e l'Ospedale Nuovo), in giallo le aree a rischio moderato (caratterizzate da livelli di alterazione solo superficiali), in azzurro quelle non soggette al fenomeno.

3. - ESONDAZIONE DEI CORSI D'ACQUA

Nell'area del foglio, la tipologia di dissesto di maggiore impatto sulla popolazione è quella connessa ai fenomeni di esondazione dei fiumi Olona, Seveso e Lambro. (Fig. 44).



Fig. 44 - Milano allagata, in zona Niguarda, in seguito alle esondazioni del Seveso (novembre 2002 e luglio 2014).

Il problema si è talmente acuito negli ultimi decenni da indurre il governo, verso la fine degli anni ottanta, a dichiarare il territorio di Lambro, Seveso ed Olona area ad alto rischio ambientale. In base a tale decisione era stato previsto già allora un finanziamento in grado di attivare il risanamento e il riequilibrio di queste aree. Il problema fu parzialmente risolto con la realizzazione a N di Milano del Canale Scolmatore di Nord Ovest (CSNO), che convoglia l'onda di piena del Seveso verso il Ticino (per una portata massima di $30 \text{ m}^3/\text{s}$). Dall'inizio degli anni novanta il problema ha iniziato a manifestarsi di nuovo, soprattutto a causa della intensa urbanizzazione che si è avuta in molti comuni a N di Milano. È risultata evidente la necessità di un approccio unitario per la risoluzione del problema che ha portato alla sottoscrizione, nel 1999 dell'Accordo di Programma per la salvaguardia idraulica della città di Milano tra Regione Lombardia, Provincia di Milano (ora Città Metropolitana di Milano e Provincia di Monza e Brianza), Comune di Milano, Autorità di Bacino del Fiume Po e Magistrato per il Po (ora AIPO).

Nell'ambito di tale Accordo sono stati realizzati importanti interventi (lavori sul CSNO, Deviatore Olona e Lambro meridionale, opere per la laminazione delle piene del Fiume Olona). Un successivo Accordo è stato stipulato nel 2009 con la finalità all'attuazione prioritaria degli interventi per la sicurezza idraulica dell'ambito territoriale interessato da Expo 2015.

L'area del Nord Milano rientra tra le aree a rischio significativo individuate nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni predisposti ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e D.Lgs 49/2010.

Il reticolo idrografico tra Olona e Lambro è costituito da un sistema interconnesso di corsi d'acqua naturali e artificiali (Fig. 7) che drena buona parte dell'ampia porzione di territorio racchiusa tra le Alpi a N, il fiume Ticino a O e il fiume Adda a E. Esso si sviluppa lungo due direttrici tra loro ortogonali:

- la direttrice N-S lungo la quale defluiscono, seguendo la linea di massima pendenza, i corsi d'acqua naturali;
- la direttrice E-O, lungo la quale si sviluppano i canali irrigui, i navigli e i canali di sgrondo delle acque in esubero.

Tutte le aste risultano tra loro fortemente interconnesse dal punto di vista funzionale.

Lungo la prima direttrice i numerosi corsi d'acqua naturali presenti a N di Milano convergono nella zona urbana del capoluogo e del suo hinterland per poi confluire, ad eccezione del Lambro, in alvei completamente canalizzati e tombinati che, per diversi chilometri, attraversano il centro cittadino in sotterraneo. Il reticolo sotterraneo rappresenta una sorta di bocca tarata, che limita fortemente le portate in transito al suo interno.

Lungo la seconda direttrice convergono sulla città di Milano anche i grandi canali artificiali adduttori di acque per l'agricoltura ed i navigli, storiche vie navigabili per il trasporto delle merci, che collegano la città al Ticino e all'Adda. Lungo la stessa direttrice si sviluppano poi le opere per allontanare da Milano le acque in esubero, che provocano sempre più ricorrenti e disastrose inondazioni. Primo fra tutti il Canale Scolmatore di Nord Ovest (CSNO), progettato come un vero e proprio canale di gronda posto a N della città per raccogliere gli esuberanti di portata dei corsi d'acqua naturali. L'intero reticolo idrografico descritto, dal punto di vista funzionale, può ricondursi sostanzialmente ad un unico sistema fluviale che confluisce a SE di Milano nel fiume Lambro.

Tale sistema presenta notevoli specificità di assetto che ne fanno un caso unico nel bacino del Po. Esso è il risultato, infatti, di una plurisecolare attività umana funzionale ad approvvigionare d'acqua la città che, dall'epoca romana fino al periodo della prima industrializzazione, è diventata sempre più idro-esigente a causa del progressivo sviluppo insediativo. Lo sviluppo degli insediamenti civili ed industriali ha prodotto nuove reti di fognatura ed insieme alle mutate condizioni di uso del suolo, un aumento del volume delle acque riversate nei fiumi e nei torrenti ed una riduzione dei tempi di corrivazione, dando luogo così a sensibili incrementi dei volumi e dei colmi di piena. Questa situazione è stata ulteriormente aggravata dallo sviluppo nel tempo di opere interferenti inadeguate al deflusso.

Le principali caratteristiche di questo territorio, possono essere così enunciate:

- tutti i corsi d'acqua sono conformati in modo tale che la capacità di deflusso decresce gradatamente da monte a valle;
- il regime fluviale presenta un carattere quasi torrentizio, con precipitazioni abbondanti concentrate e onde di piena che provocano esondazioni frequenti, mentre per il resto dell'anno idrologico i deflussi sono modesti, se non scarsi;
- i bacini sono stati interessati da un'intensa antropizzazione, che ha ridotto ulteriormente gli alvei dimensionati per smaltire solo i deflussi provenienti dalle parti alte dei bacini, unitamente al carico solido trasportato dalle acque stesse a seguito dell'attività erosiva esercitata;
- l'urbanizzazione ha fatto sì che il sistema di smaltimento delle acque fognarie avvenisse nei vari corpi idrici con apporti di singole reti, apporti spesso di gran lunga superiori a quelli dei maggiori affluenti naturali.

L'antropizzazione massiccia ha pesantemente modificato i fattori naturali che regolano il ciclo delle acque:

- per i bacini a contributo antropico, le onde di piena appaiono molto deformate dalle limitazioni di portata delle reti fognarie e dei conseguenti fenomeni d'invaso negli allagamenti cittadini o nelle vasche volano, laddove esistono;

- si verifica sempre la necessità contrastante da un lato di ridurre, per brevi periodi, la quantità d'acqua defluente, causa di esondazioni e di attività erosiva in alveo, e, dall'altro, di aumentare le portate medie di deflusso durante tutto l'anno idrologico, al fine di ridare "corpo" ai corsi d'acqua per un miglioramento degli aspetti fruitivi;

- gli apporti legati agli scarichi civili e industriali rappresentano un consistente contributo quantitativo, raggiungendo in media il 40% della portata in alveo; di pari passo però avviene il deterioramento qualitativo delle acque che gradatamente, da N a S, incontrando gli scarichi degli impianti di depurazione e i terminali fognari non depurati, raggiungono valori di qualità pessimi;

- nella definizione dei bacini, la superficie scolante naturale rimane invariata, mentre la componente scolante antropica è in continua espansione; nella rete scolante si hanno quindi sia i contributi dai bacini naturali sia quelli concentrati provenienti dagli scarichi urbani che presentano tempi di risposta alle piogge molto ridotti;

- la presenza della grande zona urbana di Milano, la cui struttura è tale da comportare un continuo stato di criticità nei riguardi dei corsi d'acqua che vi convergono.

Insieme all'elevato rischio connesso ai danni socio-economici nelle zone soggette ad esondazione, si è venuto ora a configurare un grave pericolo per l'intera attività della città di Milano, originato dal fatto che le vaste aree urbane già più volte allagate negli ultimi anni sono ormai contigue al centro direzionale della città ed al tracciato delle linee metropolitane, strutture essenziali per la vita della città e del suo *hinterland*. Ad esempio (Fig. 44), negli ultimi anni il Seveso esonda a Milano, in zona Niguarda (dove la sezione consente un deflusso massimo di 45-50 m³/s), con cadenza quasi annuale. Dal 2010 al 2015 si sono avute 18 esondazioni.

3.1 - IL LAMBRO

Il Lambro (130 km) nasce in comune di Magreglio (CO) presso Piano Rancio, in località Menaresta a quota 1456 m s.l.m. e scorre in Provincia di Como, Monza e Brianza e Milano, bagnando Monza e la periferia orientale della metropoli milanese prima di confluire nel Po in comune di Orio Litta (LO).

L'idrografia mostra un andamento tipico delle zone moreniche. Il corso principale, infatti, attraversa pressoché da N a S gli allineamenti morenici con un tracciato assai incassato, entro ordini di terrazzi ben definiti, mentre i tributari sono caratterizzati da un andamento più irregolare.

Un altro carattere evidente è l'asimmetria del bacino del Lambro: la rete dei suoi tributari si estende infatti in misura assai più rilevante lungo il suo versante orientale. Una descrizione a parte va fatta per il Lambro Meridionale, in quanto recapito della rete scolante a NO di Milano, e in particolare del Fiume Olona come anche dei torrenti Lura, Bozzente e Guisa.

Il Lambro settentrionale, interessato dalla piena più gravosa negli ultimi decenni nel novembre 2002, tra i corsi d'acqua del Nord Milano è quello con il bacino idrografico di dimensioni maggiori e che presenta le maggiori portate di piena (circa $300 \text{ m}^3/\text{s}$ a Milano). È caratterizzato da piene prevalentemente autunnali o primaverili che ne saturano il significativo bacino montano, parte del quale alimenta il Lago di Pusiano, anche se fenomeni temporaleschi possono determinare portate di piena significative per i contributi degli affluenti collinari sommati agli scaratori delle reti di drenaggio urbano.

3.2 - IL SEVESO

Il Torrente Seveso (52 km) nasce a quota 490 m s.l.m. alle falde del Monte Pallanza, in Provincia di Como, e dopo aver toccato vari centri abitati della Brianza entra a Milano, fino a sfociare nel Naviglio della Martesana nel centro di Milano. Il bacino idrografico del Seveso, che scorre all'interno della metropoli milanese con un percorso completamente sotterraneo, può essere suddiviso in tre parti, dal punto di vista idrologico.

La prima parte più settentrionale, dalla sorgente alla confluenza con il fosso Lusèrt, presenta pendenze notevoli ed ha un buon numero di piccoli affluenti e scarsa urbanizzazione del bacino; la seconda parte centrale, dal fosso Lusèrt alla confluenza con il Torrente Certesa, ha un andamento sinuoso e le pendenze sono abbastanza ridotte e l'urbanizzazione elevata; la terza parte, la più meridionale, va dalla confluenza con il Certesa allo sbocco nel Naviglio della Martesana. In questa parte il Seveso, scorrendo completamente in pianura, ha le pendenze meno pronunciate.

Il torrente raccoglie i contributi di un bacino di superficie pari a circa 2271 km^2 , 100 dei quali di aree urbane. Il bacino idrografico del torrente Certesa, affluente principale del Seveso, è pari a circa 72 km^2 . Il Seveso e l'Olona, pur avendo differenze dovute ad alcune peculiarità dei loro bacini montani, al regime idrologico e alle opere di regolazione esistenti (in

particolare l'invaso di laminazione di Ponte Gurone sull'Olna) presentano importanti bacini montani e portate di piena nei tratti di pianura (100 -150 m³/s); sono caratterizzati, soprattutto nell'ultimo decennio sia da piene primaverili, che estive, che autunnali (tra cui le principali negli ultimi 5 anni) con contributi principali di tipo naturale, ma con contributi non trascurabili e decisivi, in alcuni eventi, degli scaricatori delle reti di drenaggio urbano.

La portata media del corso d'acqua è di circa 2,5 m³/s (REGIONE LOMBARDIA, 2006), con una portata al colmo che, grazie al Canale Scolmatore di Nord Ovest, si riduce da 60 a 30 m³/s. All'interno della metropoli milanese il corso del fiume è completamente in sotterraneo a partire dalla zona Niguarda, dove si verificano con maggiore frequenza i fenomeni di esondazione

Nel territorio del bacino del Seveso sono presenti inoltre più di 20.000 imprese con più di 100.000 addetti. La densità di industrie per chilometro quadrato in questa area è elevatissima, con una forte diversificazione settoriale, anche se alcune zone sono caratterizzate da una specializzazione produttiva: il settore chimico nella zona di Cesano-Varedo e un'alta concentrazione di mobilifici nella zona di Meda. L'area del Seveso è caratterizzata da uno scarso sfruttamento agricolo: le aziende agricole operanti nel bacino dal punto di vista produttivo e occupazionale sono di modesta importanza, anche in considerazione del fatto che mediamente sfruttano una superficie molto limitata. Le aziende zootecniche rivestono un ruolo irrilevante nell'economia del bacino del Seveso: sono infatti presenti poche centinaia di bovini e l'allevamento suinicolo è praticamente assente.

Negli ultimi 50-60 anni, il bacino del Seveso è stato interessato da un forte sviluppo urbanistico e produttivo. Questo sviluppo ha comportato una massiccia occupazione del suolo fino ad arrivare alle sponde del torrente. Così oggi si hanno interi tratti di sponde dove il torrente è cementato nei due lati, dando l'impressione di un canale idraulico artificiale. La forte presenza insediativa ha richiesto e richiede un massiccio prelievo di acqua dal sottosuolo per gli usi civili e produttivi, e il risultato di tutto ciò è stato un confinamento idraulico in superficie e un forte emungimento della falda sotterranea con fenomeni di impoverimento e di inquinamento.

Un'altra conseguenza della crescita insediativa è stata la notevole impermeabilizzazione del suolo con una diminuzione del terreno naturale e della capacità d'infiltrazione in falda. Così un sempre maggiore volume di acqua piovana ed umana arriva al fiume attraverso le condotte fognarie, che, essendo inquinate, degradano ulteriormente la qualità generale delle acque del torrente.

3.3 - L'OLONA

Il Fiume Olona (104 km) ha origine dalle Prealpi varesine ad una quota di circa 1000 m s.l.m.. Entra in Provincia di Milano dopo un percorso di circa 60 km presso il Comune di Legnano, attraversa i comuni di Nerviano, Pogliano Milanese, Pero e Rho; entra in località Cascina Torrazza nell'abitato di Milano, prima di immettersi nel sistema tombinato dei Navigli interni e successivamente nel Lambro Meridionale.

A Rho il corso d'acqua viene deviato mediante un'opera di presa che lo scarica nel ramo Olona del Canale Scolmatore, per proseguire nel Colatore del Lambro Meridionale. Nel territorio di Milano, nel Fiume Olona, si scaricano il Torrente Merlata ed il Torrente Mussa, raccoglitori degli scoli delle Groane. Tra i corsi d'acqua artificiali troviamo il Canale Villoresi, che l'Olona sottopassa a Nerviano, il Naviglio Grande, il Canale Scolmatore di Nord Ovest e il deviatore del fiume Olona, nei pressi di Rho. Alla sezione di chiusura di Milano, il bacino idrografico del Fiume Olona è pari a 475 km².

Il suo regime è tipicamente prealpino, con due periodi di piena in primavera e in autunno, in cui il primo è più marcato del secondo, e con periodi di magra in inverno (in maniera più netta) ed in estate. Le portate del Fiume Olona sono regimate dagli apporti fognari del milanese, dalla colatura delle aree irrigue del Consorzio Villoresi e, in parte, del Consorzio della Muzza. Il bacino montano di alimentazione risulta poco esteso e soprattutto, di altitudine media piuttosto bassa. Si verifica, quindi, una sensibile variazione nella portata tra la zona di alimentazione e il secondo tratto, dopo l'apporto delle acque di origine urbana ed irrigua.

Per quanto riguarda i valori di portata dell'Olona, dai dati del "Consorzio del Fiume Olona" si può desumere che il fiume presenta un regime torrentizio, con una portata media che nella zona in esame si aggira intorno ai 15 m³/s.

Tutti gli interventi di derivazione, restituzione incontrollata e mancato rispetto degli argini golenali hanno modificato nel corso degli anni il profilo naturale del fiume, variando il suo regime idraulico (sono stati introdotti 120 salti) e costringendo l'alveo in spazi sempre più angusti (fino a 4-5 m) che impediscono un regolare deflusso delle piene. Per questa ragione, pur avendo perso qualitativamente le sue caratteristiche naturali, a causa degli ingenti scarichi civili ed industriali, l'Olona in termini quantitativi risulta essere ancora il principale corso d'acqua tra il Ticino e il Lambro settentrionale, esondando anche in tratti urbanizzati durante gli eventi di piena.

3.4 - IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DEL FIUME PO

Il Piano di Gestione del Rischio alluvioni è stato richiesto dalla Direttiva 2007/60 CE a tutti gli Stati dell'Unione Europea perché la gestione del rischio idraulico nel territorio europeo ha mostrato di non essere adeguata e organica in occasione di diversi eventi alluvionali, con perdite di vite umane e dispendio di risorse economiche: tra il 1998 e il 2009 le alluvioni avvenute nella UE hanno infatti causato 1126 morti e danni economici per almeno 52 Miliardi di Euro.

Per affrontare in modo sistematico ed organico la gestione del rischio alluvioni l'Unione Europea ha stabilito che, per ogni distretto idrografico, venga elaborato un piano su un orizzonte temporale medio-lungo, con aggiornamenti periodici. Tale piano ha l'obiettivo di attuare una effettiva riduzione del rischio alluvioni e deve innescare un processo culturale che permetta di superare l'attuale logica di interventi in emergenza a favore di azioni che abbiano una visione più ampia e strategica, con conseguente protezione di vite umane e risparmi economici.

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni ha inoltre la finalità di migliorare la capacità delle comunità esposte al rischio di affrontare le alluvioni e di uscirne rafforzate; questo concetto si definisce resilienza.

Per il distretto idrografico del Fiume Po il Piano di gestione del Rischio di alluvioni è stato ultimato a dicembre 2015. Il piano contiene la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni (Fig. 45), classificate in base alla pericolosità (aree allagabili per alluvioni frequenti, poco frequenti e rare) e ai livelli di rischio (molto elevato, elevati, medio e moderato), una diagnosi dei territori con maggiori criticità e le misure da attuare per ridurre il rischio, articolate in quattro tipologie:

- misure di prevenzione (es. vincoli all'uso del suolo, delocalizzazioni, comunicazione del rischio ai cittadini),
- misure di protezione (es. realizzazione di opere di difesa strutturale),
- misure di preparazione (es. allerte, sistemi di monitoraggio, piani di emergenza, comunicazione delle allerte ai cittadini),
- misure di ritorno alla normalità e analisi (es. valutazione e rimborsi danni, analisi degli eventi accaduti, politiche assicurative).

Tra tutte le aree a pericolosità di alluvione associata a livelli di rischio molto elevati ed elevati presenti in Lombardia, l'area del Nord Milano è stata individuata, assieme ad altre 7, tra le aree a rischio significativo di importanza distrettuale, per le elevate portate di piena e la rilevante estensione delle aree inondabili che coinvolgono insediamenti abitativi e produttivi di grande importanza e le principali infrastrutture e vie di comunicazione. Le mappe di pericolosità e rischio di alluvioni, predisposte

ai sensi della Direttiva 2007/60/CE sono consultabili sul GEOPortale di Regione Lombardia (www.cartografia.regione.lombardia.it).

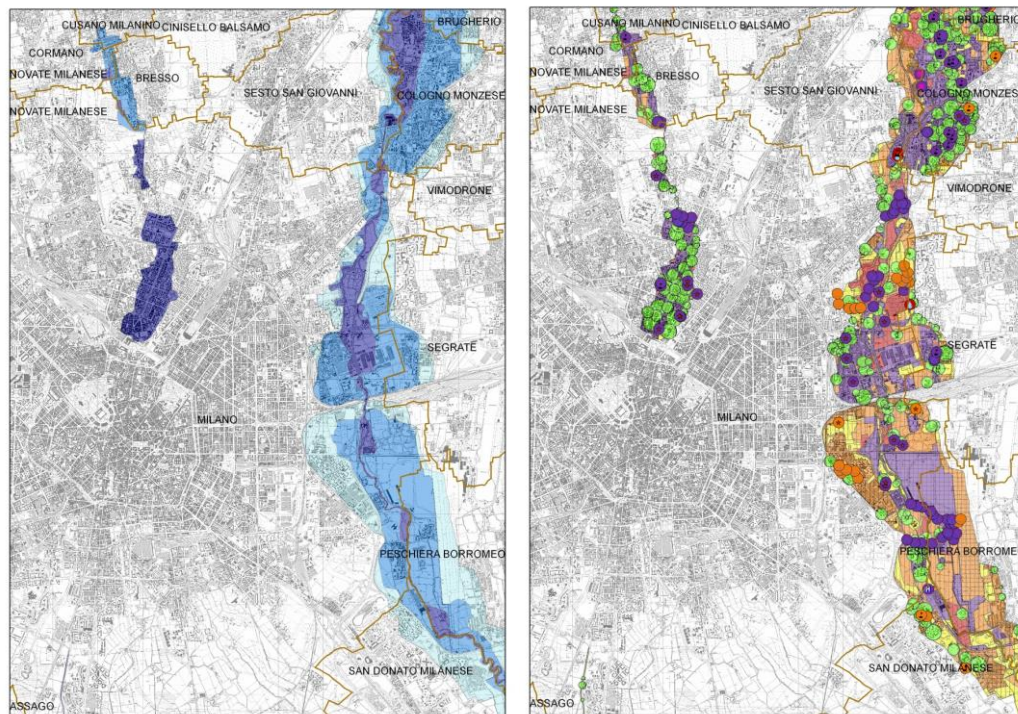


Fig. 45 - Mappe di pericolosità (a sinistra) e di rischio (a destra) di alluvioni per i Fiumi Seveso e Lambro a Milano. Nelle mappe di pericolosità sono rappresentati con tre toni di blu decrescenti, le aree allagabili per piene frequenti, poco frequenti e rare. Nelle mappe di rischio sono rappresentate in colore viola le aree a rischio molto elevato, in rosso le aree a rischio elevato, in arancio le aree a rischio medio e in giallo le aree a rischio moderato. Con un simbolo puntuale verde è rappresentata la popolazione residente.

4. - DISPONIBILITÀ E GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

Lo sviluppo degli insediamenti urbani e delle attività industriali dell'area milanese ha posto in primo piano l'esigenza di una tutela delle risorse ambientali della zona, e in particolare delle risorse idriche.

Come evidenzia il Programma di Uso e di Tutela delle Acque della Regione Lombardia – PTUA (REGIONE LOMBARDIA, 2006) parte del Piano di Tutela delle Acque, attualmente in fase di revisione, l'area del foglio ricade in una delle zone caratterizzate dal maggiore impatto antropico, sia in termini di impatto civile sia in termini di impatto industriale, mentre inferiore è l'impatto agricolo. Tale impatto è connesso ad una pressione di tipo sia quantitativo sia qualitativo, con conseguenti squilibri idrogeologici e diffuse contaminazioni delle falde.

Si ritiene fondamentale affrontare tra i diversi temi applicativi anche quello della disponibilità delle risorse idriche sotterranee, che condizionano in modo determinante non solo la qualità dell'ambiente e, più in generale, della vita, ma anche lo sviluppo economico di un'area.

Il problema della valutazione quantitativa e qualitativa delle risorse idriche sotterranee assume una rilevanza pratica sempre più evidente, poiché l'elaborazione e l'attuazione delle politiche gestionali incontrano spesso grandi difficoltà, derivanti dal fatto che le risorse idriche sono assoggettate ad opposti interessi: da un lato quello di assicurare la costanza della loro disponibilità; dall'altro quello di soddisfare la domanda urbana, agricola ed industriale, che porta invece ad un depauperamento delle riserve.

4.1 - PRODUTTIVITÀ DEGLI ACQUIFERI

La maggior parte dei pozzi ad uso idropotabile presenti nell'area capta il II Acquifero, spingendosi fino ad una profondità massima di 100-120 m dal piano campagna. Sebbene l'acquifero sia costituito da unità idrogeologiche diverse, con consistenti variazioni di permeabilità, esso evidenzia una buona produttività su tutta l'area milanese (le portate specifiche dei pozzi superano i 10-20 l/s). Nonostante la scarsa disponibilità di dati relativi al III Acquifero (cfr. Gruppo Acquifero C, REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002), si è osservato che una limitata captazione delle falde più profonde è possibile solo in alcuni settori della pianura milanese e, comunque, con limitata produttività (portata specifica di pochi l/s/m). Oltre all'aspetto puramente quantitativo della disponibilità

della risorsa, anche le caratteristiche qualitative di tali falde profonde risultano scadenti per la presenza naturale di sensibili quantità di metalli (quali ferro e manganese), ammoniaca e idrogeno solforato.

Al di là degli aspetti strettamente connessi alla struttura idrogeologica dell'acquifero, la distribuzione delle risorse idriche nell'acquifero tradizionale ha subito negli ultimi decenni una variazione, strettamente correlata alle variazioni climatiche, al regime dei prelievi ed alle conseguenti oscillazioni piezometriche.

4.2 - SOSTENIBILITÀ DELLO SFRUTTAMENTO

Il bilancio idrico delle acque sotterranee evidenzia come i prelievi rivestano un ruolo preponderante nelle uscite della falda, mentre gli afflussi sono in gran parte determinati dalle irrigazioni. Sebbene il bilancio idrico complessivo sia in pareggio, esaminando il bilancio delle singole componenti (nel caso specifico, le acque sotterranee) si notano consistenti spostamenti tra i dati in ingresso e quelli in uscita; in particolare, si nota come all'interno di alcune aree le falde vengano private di buona parte del loro apporto, che viene assorbito dai pozzi, mentre in altre la loro portata aumenta per effetto della prevalenza della ricarica rispetto all'estrazione.

Nell'area di Milano i prelievi prevalgono sulla ricarica (comportamento tipico dei centri urbani), determinando un *deficit* piuttosto pesante, che richiama acqua dalle aree esterne generando una vasta depressione piezometrica. Tale situazione è evidenziata anche dal PTUA (REGIONE LOMBARDIA, 2006), che pone il Comune di Milano (e quindi gran parte dell'area del foglio) in classe quantitativa C ("Impatto antropico significativo, con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa"). Dal momento che, negli anni, le condizioni di prelievo cambiano in funzione della domanda industriale, urbana e agricola, così come si modificano le quantità di acque infiltrate per afflusso meteorico ed irriguo, le portate defluenti negli acquiferi e, di conseguenza, le condizioni di bilancio variano nel tempo. Per esempio, tra gli anni 1992 e 1998 l'entità del *deficit* e l'estensione della depressione piezometrica a Milano hanno comunque subito una consistente riduzione.

4.3 - QUALITÀ DELLE ACQUE E TUTELA DELLA RISORSA IDRICA

Data l'elevata antropizzazione del territorio e la vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero superficiale, una parte delle risorse idriche sotterranee dell'area in esame è stata sottratta all'uso potabile a causa di fenomeni di contaminazione.

I dati disponibili sul chimismo delle acque sono stati messi a disposizione dalla Provincia di Milano, che tramite il programma di

gestione del Sistema Informativo Falda (S.I.F.) ne effettua in automatico il monitoraggio ormai da diversi anni. Gli inquinanti maggiormente presenti nella prima falda sono i Composti Organo Alogenati (in particolare Tetracloroetilene e Tricloroetilene), i Nitrati, il Cromo e l'Atrazina. Si tratta quindi, ad eccezione dei Nitrati, di inquinanti derivanti da attività industriali e produttive.

L'impatto della forte pressione ambientale esercitata sul territorio in esame è contrastata da un certo grado di protezione degli acquiferi (Fig. 46). Per quanto concerne, in particolare, il grado di separazione tra le falde, dal punto di vista della qualità delle acque si osserva che:

- la riduzione dello spessore dell'*aquitard* che separa le due falde consente la migrazione in profondità degli inquinanti, fino ai livelli acquiferi captati dalla maggior parte dei filtri dei pozzi attualmente in uso;
- lo scarso spessore o una permeabilità localmente più elevata della base dell'Acquifero Tradizionale possono fortemente condizionare il passaggio di eventuali contaminati anche nelle falde più profonde, compromettendone l'uso a breve-medio termine.

Il motivo di preoccupazione fondamentale in relazione alla disponibilità delle risorse idriche è costituito dal chimismo delle acque sotterranee, in quanto l'estensione di aree contaminate da composti organoalogenati e/o da nitrati comporta la sottrazione di importanti quote della risorsa al possibile utilizzo.

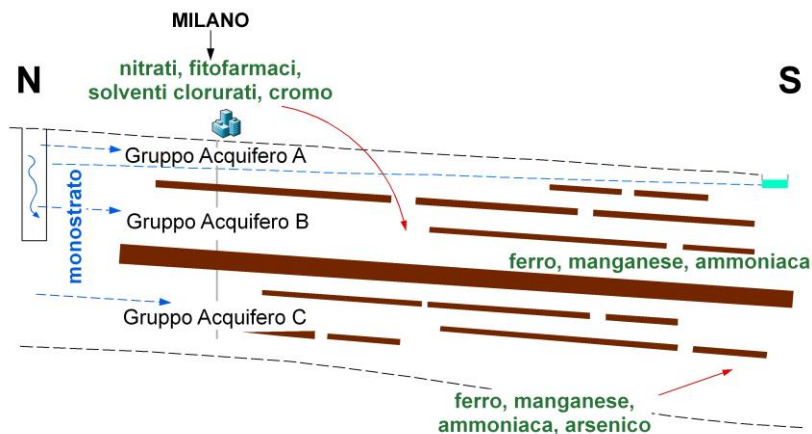


Fig. 46 - Schematizzazione tipologica degli acquiferi, in relazione al loro grado di protezione ed ai principali contaminanti.

4.4 - DISTRIBUZIONE DEI COMPOSTI ORGANOALOGENATI

I dati a disposizione evidenziano l'assenza di composti organoalogenati in tutto il settore meridionale dell'area, caratterizzato da una spiccata vocazione agricola (scarsità di fonti locali di contaminazione), ma anche da una minore vulnerabilità dell'acquifero, per la presenza a monte del vasto cono di depressione di Milano, che intercetta una gran parte dei flussi contaminati. Una vasta area con elevati valori di concentrazione è invece presente nel settore nord-occidentale, dove si raggiungono valori massimi di oltre 1000 µg/l a Pero, con valori di poco inferiori in tutta l'area di Bollate, Lainate, Garbagnate M.se, Rho, Arese, Novate M.se, nonché il settore NO del Comune di Milano, dove si raggiungono valori quasi sempre superiori a 50-100 µg/l. Un tale stato di contaminazione appare strettamente connesso alla presenza in questa zona di alcune tra le più grandi aree a destinazione industriale della Provincia di Milano.

Valori piuttosto elevati delle concentrazioni si raggiungono anche nel settore nord-orientale (Monza, Villasanta, Concorezzo), seppure su un'area di minore estensione.

Ulteriori aree di degrado della qualità delle risorse idriche sotterranee in relazione alla presenza di composti organoalogenati si osservano all'interno dell'abitato di Milano, dove le numerose centrali dell'acquedotto drenano le acque provenienti da un esteso fronte di richiamo e determinano condizioni di stagnazione all'interno della città, a causa del basso gradiente idraulico indotto dal regime dei prelievi.

Nel corso degli ultimi decenni si è registrata una progressiva diminuzione dei valori di concentrazione in tutto il settore a N di Milano. L'unica eccezione a tale tendenza al miglioramento è rappresentata dal settore nord-occidentale, dove si rileva un drastico peggioramento dello stato di contaminazione; ad esempio, nella zona di Rho le concentrazioni sono passate dai 8-10 µg/l del 1990 ai 72-93 µg/l del 1996; analoghe situazioni si registrano a Bollate e Pero, dove si raggiungono i valori massimi di 350 µg/l.

Relativamente ai singoli parametri, i composti più diffusi risultano essere il tetracloroetilene, che raggiunge valori altissimi nelle centrali di Monza e Rho, ed il tricloroetilene, che presenta una diffusione più omogenea su tutta l'area di studio.

Per quanto riguarda il III Acquifero, i casi in cui i valori di concentrazione risultano elevati sono sporadici; un esempio è ancora il Comune di Rho, dove anche la concentrazione nell'acquifero profondo evidenzia un *trend* crescente.

4.5 - DISTRIBUZIONE DEI NITRATI

I nitrati si formano durante il ciclo geochimico naturale dell'azoto e costituiscono il prodotto finale della mineralizzazione della sostanza organica. Essi sono dunque sempre presenti nelle acque potabili, seppure in concentrazioni limitate (massimo 10 – 15 mg/l), mentre concentrazioni superiori sono sicuramente da mettere in relazione all'attività antropica.

Analogamente a quanto detto per i composti organo alogenati, si osserva che in tutto il settore dell'alta pianura le concentrazioni sono generalmente superiori ai 40 mg/l, mentre zone con valori di concentrazione molto elevati (superiori ai 50 mg/l) si localizzano in alcune fasce della parte settentrionale del dominio di studio; da O verso E si rilevano le zone di Vanzaghello, Casate-Varedo, Seregno, Vimercate-Caponago, Pozzo d'Adda-Cassano d'Adda. In tali contesti, in assenza di una rilevante attività agricola, appare prevalente nella formazione del carico inquinante lo stato delle acque reflue ed il conseguente stato di degrado dei corsi d'acqua, nonché l'incidenza di qualche fonte puntuale.

Nella fascia centrale, a E ed a O di Milano città, i valori medi delle concentrazioni rimangono confinati fra i 20 ed i 30 mg/l, salvo rare eccezioni, mentre a S dell'area metropolitana, le concentrazioni si riducono notevolmente (15–20 mg/l), superando i 40 mg/l solo a S.Giuliano Milanese.

L'evoluzione della contaminazione evidenzia una tendenza al peggioramento qualitativo, non tanto nei valori massimi quanto per l'estensione delle aree interessate dalla contaminazione, che tendono ad espandersi sempre più verso S.

I valori di concentrazione dei nitrati nel III Acquifero sono molto inferiori rispetto a quelli del I Acquifero, salvo nella zona orientale tra Cornate d'Adda ed Agrate.

Tale andamento testimonia come il passaggio della contaminazione dall'Acquifero Tradizionale al III Acquifero avvenga a N del dominio di studio (poco a valle del Comune di Merate), dove i due acquiferi sono ancora poco distintamente separati da livelli impermeabili. Lo studio dell'evoluzione del contaminante evidenzia una progressiva contaminazione anche nella porzione occidentale dell'area, seppure con valori mediamente inferiori ai 30 mg/l.

L'andamento generale evidenzia una diminuzione della concentrazione della contaminazione dal N verso S.

4.6 - DISTRIBUZIONE DEL CROMO

Il massimo sviluppo del cromo esavalente per l'area di studio si è registrato all'inizio degli anni '70, mentre negli anni successivi si è osservata un'inversione di tendenza delle concentrazioni. All'inizio degli anni '90 le uniche aree in cui si è rilevato un inquinamento da cromo si localizzano nel settore nord-orientale, nei Comuni di Monza, Pioltello, Cinisello Balsamo e soprattutto Sesto S. Giovanni (43 µg/l) e Garbagnate M.se (85 µg/l). È quindi evidente, nonostante l'elevata solubilità dell'elemento, che si tratta di una contaminazione localizzata, più che diffusa. Negli anni successivi si osserva una riduzione dei picchi di Sesto e Garbagnate, con valori medi che nella stessa area si attestano attorno ai 20 µg/l. Attualmente non si rilevano superamenti dei valori di legge.

La distribuzione della contaminazione nel III Acquifero evidenzia, pur con una scarsa disponibilità di dati, un andamento sia spaziale sia temporale del tutto simile a quello dell'Acquifero Tradizionale, seppure con valori delle concentrazioni nettamente inferiori (i massimi si registrano a Cuggiono con 14 µg/l).

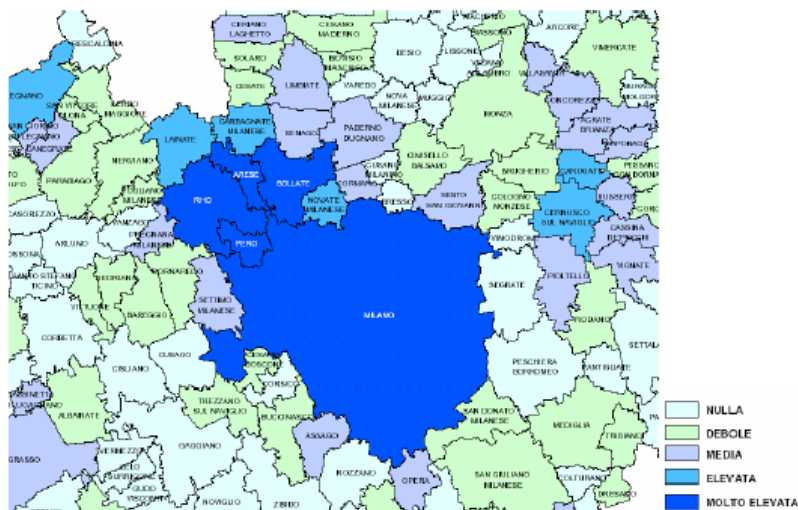


Fig. 47 - Incidenza delle contaminazioni sulla risorsa idrica sotterranea (PROVINCIA DI MILANO, 2002).

4.1 - IMPATTO SULLA DISPONIBILITA' DELLA RISORSA

Globalmente considerato, l'impatto delle contaminazioni precedentemente descritte sulle fonti di approvvigionamento delle acque

sotterranee (pozzi pubblici) appare elevato ma non in modo eccessivo e, soprattutto, non tale da pregiudicare la distribuzione di acque rispondenti ai requisiti imposti dalla normativa per la potabilità. Si deve però tenere presente che la distribuzione di tale impatto sulla disponibilità della risorsa idrica non è uniforme su tutto il territorio, ma colpisce in modo particolare alcuni settori del territorio (Fig. 47).

4.2 - LO STATO QUALITATIVO DEI CORSI D'ACQUA

Per quanto riguarda la qualità delle acque superficiali, nonostante numerosi interventi strutturali, permane un notevole stato di degrado dei corsi d'acqua, che condiziona pesantemente la qualità del Fiume Po a valle dell'immissione del Lambro Settentrionale.

Tuttavia i dati al momento disponibili non consentono una completa definizione dello stato di qualità ambientale dei corsi d'acqua sulla base di quanto previsto dalla normativa. Solo per i corsi d'acqua significativi è possibile la classificazione. A questo proposito si osserva che la quasi totalità dei corpi idrici superficiali del territorio in esame è classificato dal Programma di Uso e Tutela delle Acque (2006) da scadente a pessimo.

Importante infine sottolineare che la bassa qualità delle acque associata a una destrutturazione ecosistemica dell'alveo e dell'ambito fluviale (ridotta eterogeneità del substrato, artificializzazione delle sponde, riduzione dell'ampiezza e continuità della fascia ripariale, edificazione "sull'alveo", ecc.) determinano una scarsa funzionalità del sistema fluviale.

5. - SISMICITÀ

L'area compresa nel Foglio 118-Milano è caratterizzata da scarsa sismicità. Nella porzione lombarda della Pianura Padana pochi terremoti di magnitudo da media a bassa sono localizzati principalmente lungo il margine delle Alpi tra i laghi di Garda e Iseo, mentre verso O gli eventi si presentano più sparsi. In generale si osserva una diminuzione sia dell'energia rilasciata sia del numero di terremoti da E verso O; la sismicità a O di Milano è quasi nulla (Fig. 48). Nell'area del foglio il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04; GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004) nell'intervallo temporale 1000-2002 riporta il solo terremoto del 26 novembre 1396 (magnitudo del momento sismico $M_w 5.37 \pm 0.30$). Questo terremoto è noto attraverso un'unica fonte: la cronaca (1337-1517) della famiglia Mezzotti di Monza, pubblicata nel 1840 (MEZZOTTI, 1840) che riporta danni ad alcune case della città. Su questa base vari studi

(STUCCHI *et alii*, 1993; BOSCHI *et alii*, 1997, 2000; GUIDOBONI & COMASTRI, 2005) assegnano un'intensità di 7-8 MCS a Monza. La localizzazione dell'epicentro di CPTI04, ottenuta da questo unico dato di intensità, è da ritenersi molto incerta.

Anche la sismicità strumentale (1981-2006) è molto bassa: il Catalogo Strumentale CSI 1.1 (CASTELLO *et alii*, 2006) e il Bollettino Strumentale INGV riportano solamente quattro eventi con epicentro localizzato all'interno dell'area del foglio. I tre eventi con magnitudo locale $ML \geq 2.0$ si localizzano a SO di Milano e tra questi il più forte ($ML\ 2.6$) è quello avvenuto il 5 ottobre 2002 (Fig. 49).

Gli unici terremoti con $Mw \geq 5.0$ localizzati da CPTI04 nelle vicinanze dell'area del foglio sono, da N verso S, quelli del 9 febbraio 1979 ($Mw\ 5.03 \pm 0.18$), 10 settembre 1781 ($Mw\ 5.03 \pm 0.33$), 7 aprile 1786 ($Mw\ 5.31 \pm 0.16$) e 15 maggio 1951 ($Mw\ 5.24 \pm 0.07$).

L'epicentro del terremoto del 9 febbraio 1979 è localizzato da CPTI04 vicino a Trezzo sull'Adda. Secondo GUIDOBONI *et alii* (2007), i risentimenti maggiori, non superiori a I 6 MCS, furono a E dell'Adda mentre per quanto riguarda le località all'interno del foglio, il terremoto ha avuto effetti classificati come I 5 MCS a Milano, Lainate e Sesto San Giovanni. Per il terremoto del 10 settembre 1781 CPTI04 riporta un epicentro e una magnitudo basati sui soli effetti a Caravaggio, classificati da ARCHIVIO MACROSISMICO GNDT (1995) con I 6-7 MCS. Più recentemente GUIDOBONI *et alii* (2007) hanno identificato i risentimenti del terremoto in 11 località, a quattro delle quali è stata attribuita I 6-7; a Milano è attribuita I 4-5 MCS. Il terremoto del 7 aprile 1786 è localizzato vicino a Lodi sulla base di otto dati di intensità, con I 7 MCS a Crema, Piacenza e Liscate (ENEL, 1985). Nella stessa zona è localizzato l'epicentro del terremoto del 15 maggio 1951, i cui effetti maggiori, pur non superando I 6 MCS, hanno interessato 28 località in un'ampia porzione della pianura padana, da Monza a N a Fidenza verso S. Tra le località con I 6 MCS sono presenti anche Milano, Monza, Cernusco sul Naviglio, Cusago e San Donato Milanese, che ricadono nell'area del foglio.

Più in generale, secondo i dati contenuti nel Database Macrosismico Italiano 2004 (DBMI04, STUCCHI *et alii*, 2007) i risentimenti nelle località situate nell'area del foglio hanno ecceduto la soglia del danno solamente a Monza per il citato terremoto del 1396 e a Milano (I 7 MCS) in conseguenza del forte terremoto del 3 gennaio 1117, di localizzazione incerta nell'area veronese. Effetti di intensità 6 MCS sono riportati a Milano in occasione dei terremoti del 25 dicembre 1222 (Bresciano), del 9 dicembre 1755 (Vallese) e del citato terremoto del 1951. Nel suo complesso, la storia sismica di Milano (Tab. 13; Fig. 49) presenta un elevato numero di risentimenti a partire dal 1065, seppur con intensità non

elevata, riferiti i terremoti localizzati sia nelle vicinanze sia più lontano, in dominio sia alpino sia appenninico, anche di magnitudo non elevata.

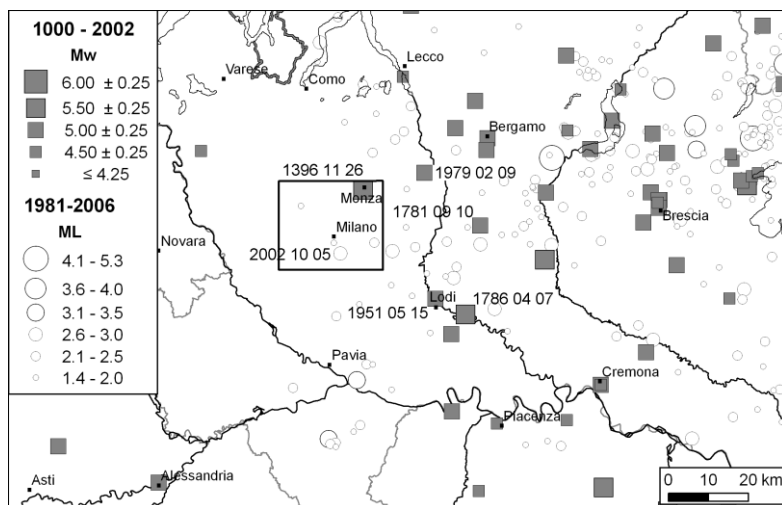


Fig. 48 - Sismicità 1000-2002 da CPTI04 (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004) e 1981-2006 da CSI 1.1 (CASTELLO et alii, 2006 e BOLLETTINO STRUMENTALE INGV). (Mw= magnitudo momento, ML=magnitudo locale).

Tab. 13 - Storia sismica di Milano, da DBMI04 (STUCCHI et alii, 2007). (Is=Intensità macrosismica a Milano, Anno = Tempo origine: anno, Me = Tempo origine: mese, Gi = Tempo origine: giorno, Or = Tempo origine: ora, Se = Tempo origine: secondi, AE = Denominazione dell'area dei maggiori effetti, Io = Intensità epicentrale (MCS), Mw = Magnitudo momento). F (avvertito), D (danno di entità ppm precisabile – indicativamente $I \geq 6$): codici utilizzati per classificare effetti non esprimibili in termini di intensità macrosismica.

Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw	Distanza epicentro
F	1065	03	27	06			Brescia	7	5.17	80.8
7	1117	01	03	13			Veronese	9-10	6.49	157.5
6	1222	12	25	11			Basso bresciano	8-9	6.05	116.1
F	1295	09	03				COIRA	8-9	5.79	157.9
D	1346	02	22	11			Ferrara	7-8	5.81	155.6
4-5	1348	01	25				CARNIA	9-10	6.66	298.9
F	1570	11	17	19	10		Ferrara	7-8	5.48	204.2
F	1661	03	12				Montecchio	7	5.17	74.5
5	1695	02	25	05	30		Asolano	9-10	6.61	217.6

4	1738	11	05		30		PARMA	7	5.40	90.4
4-5	1740	03	06	05	15		GARFAGNANA	7	5.18	185.4
6	1755	12	09	13	30		Vallese	8	5.9	133.3
F	1780	02	06	04			Bolognese	5-6	4.85	191.8
5	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	8	5.67	51.7
5-6	1806	02	12				NOVELLARA	7	5.26	134.0
5	1810	12	25	00	45		NOVELLARA	7	5.28	134.8
F	1811	07	15	22	44		SASSUOLO	7	5.24	156.3
F	1826	06	24	12	15		SALO'	5-6	4.74	104.4
4-5	1828	10	09	02	20		Valle dello Staffora	7-8	5.67	72.5
F	1831	09	11	18	15		Reggiano	7-8	5.48	133.0
3-4	1834	07	04	00	35		ALTA LUNIGIANA	6-7	5.14	131.4
4-5	1855	07	25	12			Vallese	8-9	5.81	133.2
5	1873	06	29	03	58		Bellunese	9-10	6.33	258.5
4	1873	09	17				LIGURIA ORIENTALE	6-7	5.52	137.6
3-4	1884	09	12				PONTOGLIO	6	4.83	53.1
4	1885	02	26	20	48		SCANDIANO	6	5.22	81.6
F	1886	09	05				VAL DI SUSÀ	6-7	5.27	154.9
4-5	1887	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	9	6.29	193.1
4-5	1891	06	07	01	06	14	Valle d'Illasi	8-9	5.71	154.6
5	1901	10	30	14	49	58	Salo'	8	5.67	102.8
3-4	1914	10	26	03	45		TAVERNETTE	7	5.36	151.3
5	1914	10	27	09	22		GARFAGNANA	7	5.79	205.4
F	1915	01	13	06	52		AVEZZANO	11	6.99	518.0
F	1916	08	16	07	06	14	Alto Adriatico	8	5.92	321.0
4-5	1920	09	07	05	55	40	Garfagnana	9-10	6.48	166.6
4	1929	04	20	01	09	46	Bolognese	7	5.55	188.4
6	1951	05	15	22	54		LODIGIANO	6-7	5.24	36.6
4	1954	05	19	09	34	55	Vallese	6	5.46	175.8
4	1960	03	23	23	08	49	Vallese	6-7	5.36	135.7
3-4	1971	07	15	01	33	23	Parmense	7-8	5.61	115.8
4	1972	10	25	21	56		PASSO CISA	5	4.95	169.1
4	1975	11	16	13	04		BORGO VAL DI TARO	5-6	4.85	128.2
4	1976	05	06	20	00		FRIULI	9-10	6.43	316.0
3-4	1976	09	15	09	21	18	Friuli	8-9	5.92	316.3
4	1983	11	09	16	29	52	Parmense	6-7	5.1	115.0
4	1996	10	15	09	55	60	CORREGGIO	7	5.44	139.5

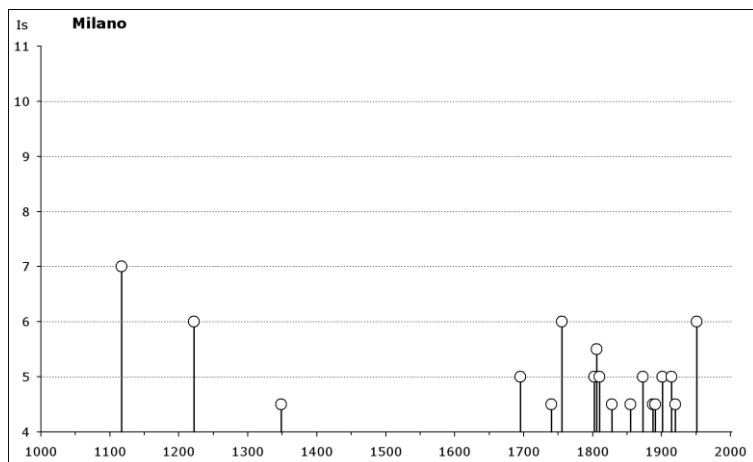


Fig. 49 - Grafico della storia sismica di Milano, da DBMI04 (STUCCHI et alii, 2007) (I_s = Intensità al sito (MCS)).

X. APPENDICE 1 - ORGANIZZAZIONE DELLA BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO

1. - INTRODUZIONE

La ricerca sistematica di dati ha riguardato una vasta tipologia di documenti, sia cartacei che digitali, le cui informazioni sono state archiviate in una banca dati associata ad un Sistema Informativo Territoriale (SIT). Gran parte degli elaborati cartografici rinvenuti sono stati scansiti e georeferenziati al fine di consentire il loro utilizzo all'interno del SIT.

2. - LA BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO

Nell'ambito dello studio del Foglio 118-Milano, Regione Lombardia ha sviluppato una banca dati delle informazioni riguardanti il sottosuolo, mutuando la struttura sviluppata da Regione Emilia-Romagna ed ampliandone i contenuti.

Le tipologie di dati elaborati si possono raggruppare nelle seguenti categorie:

- stratigrafie di pozzi per acqua o per idrocarburi;

- stratigrafie e prove in situ ed in laboratorio di sondaggi a carotaggio continuo;

- diagrafie di prove penetrometriche (essenzialmente di tipo dinamico);

- stratigrafie di trincee e scavi esplorativi.

L'acquisizione dei dati è stata ottenuta attraverso due modalità:

- a - elaborazione di stratigrafie e prove già realizzate o raccolte da enti pubblici o ditte private;

- b - esecuzione di indagini in proprio da parte di Regione Lombardia.

Ogni indagine è stata georeferenziata in coordinate cartesiane riferite al sistema Gauss – Boaga, utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale (CTR) alla scala 1:10.000. A ciascuna indagine è stato attribuito un codice alfanumerico univoco derivato dalla relativa posizione geografica.

Le informazioni relative a ciascun punto di indagine sono state organizzate in un database relazionale sviluppato in ambiente Access™ per Windows™.

La struttura del database è organizzata su 7 tabelle principali:

Tabella Archivio: riporta le informazioni relative ai fornitori dei dati;

Tabella Generale: contiene le informazioni relative alla posizione plano-altimetrica ed alla tipologia di indagine;

Tabella Stratigrafia: contiene la descrizione codificata dei singoli livelli stratigrafici descritti nelle stratigrafie;

Tabella SPT: riporta i valori misurati dalle prove SPT eseguite nei fori di sondaggio;

Tabella DPSH: riporta i valori misurati dalle prove penetrometriche dinamiche;

Tabella Laboratorio geotecnico: contiene i risultati delle analisi granulometriche eseguite in laboratorio su campioni di terreno estratti dai fori di indagine;

Tabella Permeabilità: riporta i valori di permeabilità misurati con prove in situ.

Inoltre si è provveduto alla scansione del documento originale relativo a ciascuna indagine informatizzata.

Il database è stato interfacciato ad un software GIS, che ha reso possibile l'interrogazione dinamica dei dati e, attraverso un applicativo appositamente sviluppato, la rappresentazione automatizzata delle stratigrafie lungo sezioni.

La Banca Dati è risultata lo strumento fondamentale per l'interpretazione geologica del sottosuolo e per la creazione di tutte le cartografie tematiche prodotte nell'ambito del foglio.

2.1 - DATI RELATIVI AL FOGLIO 118-MILANO

La Banca Dati Geologica di Sottosuolo del Foglio 118-Milano è stata realizzata nel periodo 2001-2005 e contiene informazioni relative a indagini realizzate a partire dal 1888.

La ricerca dei dati presso altri Enti e l'inserimento delle informazioni nella Banca Dati è stato effettuato da Regione Lombardia ed in parte da Provincia di Milano utilizzando geologi direttamente incaricati.

Nel complesso la Banca Dati contiene 6238 punti di indagine, localizzati entro l'area del foglio e in un significativo intorno dello stesso e ripartiti nelle tipologie riportate in tabella 14. Le indagini eseguite direttamente da Regione Lombardia consistono in 4 sondaggi a carotaggio continuo e 14 prove penetrometriche dinamiche.

Tab. 14 - Tipo e quantità di indagini geognostiche utilizzate per il Foglio 118-Milano.

Tipo di dato	Numero di dati	Profondità (m)		
		media	minima	massima
INDAGINI INSERITE				
Pozzi per acqua	2850	93,3	7,2	587
Sondaggi a carotaggio continuo	2210	19,2	2,4	180
Prove penetrometriche dinamiche	950	10,7	3,25	24
Prove penetrometriche statiche	20	11,7	7,6	17,5
Pozzi ENI per idrocarburi	68	1711	835	6620
Trincee esplorative	88	5,2	1,8	8,75
Sondaggi elettrici verticali	29			
Prove di carico su piastra	23			
Sondaggi Regione Lombardia	4	139,5	99	180
TOTALE	6238			

La distribuzione geografica dei dati, come visibile nelle figure seguenti, risulta alquanto irregolare. I sondaggi, le trincee (Fig. 50) e le prove penetrometriche (Fig. 51) tendono a concentrarsi all'interno del Comune di Milano e sono allineati lungo tracciati di opere (prevalentemente linee metropolitane o collettori fognari) o concentrati in aree ristrette (piani di recupero urbanistico o piani di caratterizzazione ambientale). I dati relativi ai pozzi (Fig. 52) si presentano invece spesso associati in gruppi (campi pozzo) e con una distribuzione areale più regolare.

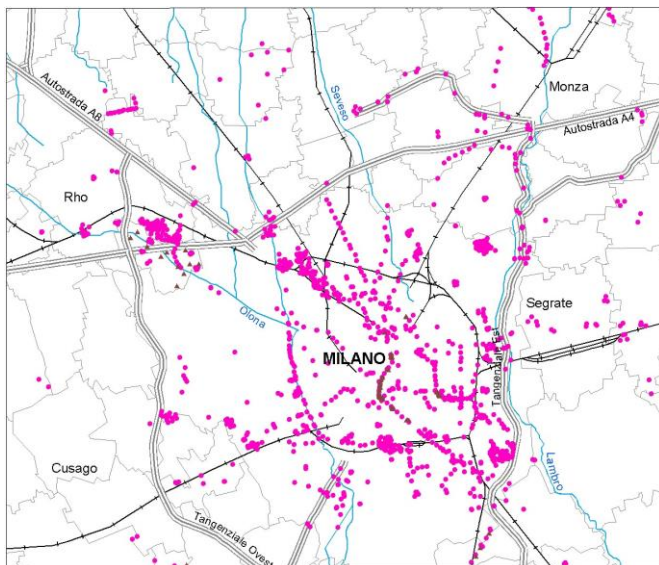


Fig. 50 – Banca Dati Geologica di Sottosuolo - distribuzione delle stratigrafie di sondaggi (pallino rosa) e di trincee esplorative (pallino marrone).

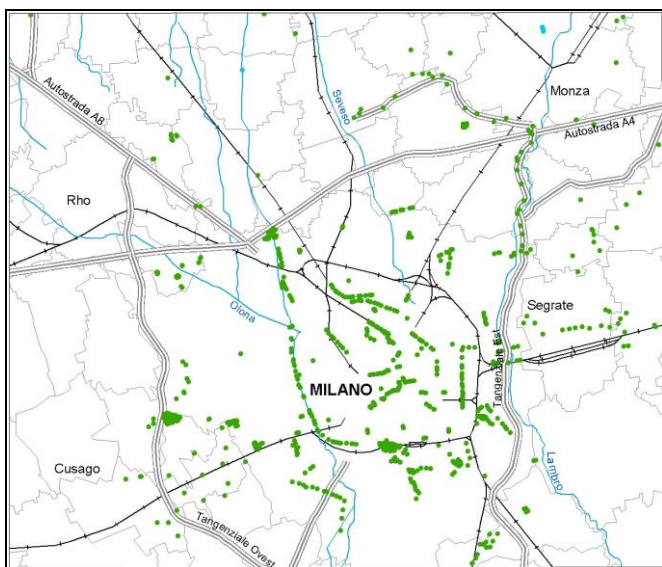


Fig. 51 - Banca Dati Geologica di Sottosuolo - distribuzione delle prove penetrometriche dinamiche (pallino verde) e statiche (pallino azzurro).

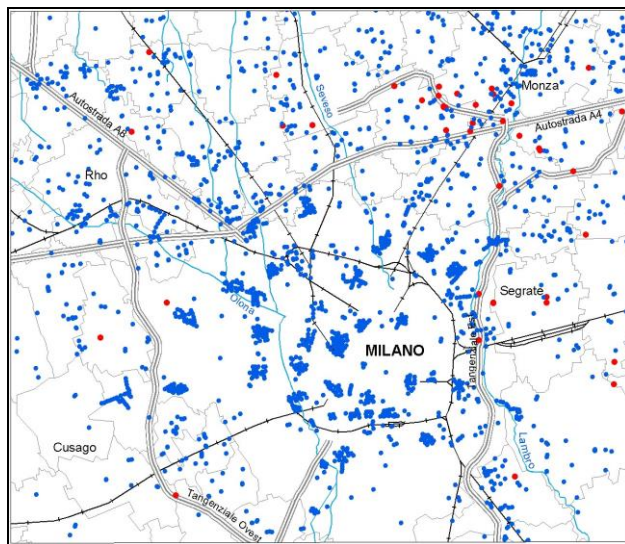


Fig. 52 - Banca Dati Geologica di Sottosuolo - distribuzione delle stratigrafie di pozzi per acqua (pallino blu) e per idrocarburi (pallino rosso).

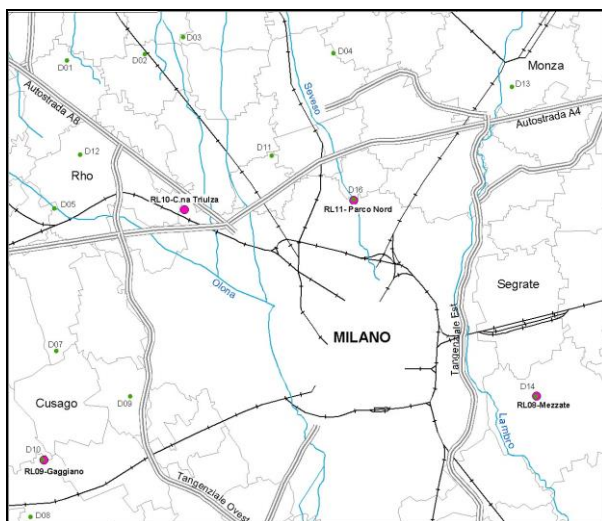


Fig. 53 - Banca Dati Geologica di Sottosuolo - distribuzione delle indagini eseguite direttamente dalla Regione Lombardia: sondaggi a carotaggio continuo (pallino rosa) e prove penetrometriche dinamiche (pallino verde).

Le prove eseguite direttamente da Regione Lombardia (Fig. 53),

consistono in n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, posizionati nelle aree con minor densità di informazioni, che hanno consentito di verificare direttamente l'assetto stratigrafico locale, fino a considerevoli profondità. A queste si aggiunge il sondaggio denominato "Agrate – RL4" situato a pochi chilometri di distanza dal margine del Foglio 118-Milano, nel settore nord-orientale e realizzato in precedenza (REGIONE LOMBARDIA-ENI, 2002).

I principali soggetti che hanno contribuito alla creazione della banca dati sono: Provincia di Milano, Comune di Milano, Metropolitana Milanese S.p.A, Ferrovie dello Stato, Autostrada Milano Serravalle S.p.A., ENEL, ANAS, Comuni rientranti nel foglio, Studi professionali e imprese di perforazione.

Le informazioni contenute in ogni indagine sono state ordinate nelle tabelle alfanumeriche citate in precedenza. Il numero di record contenuti in ciascuna tabella è indicato in tabella 15.

Tab. 15 - Numero di record contenuti nelle tabelle del database.

Tabella	Numero di record
Stratigrafia	44858
Prove DPSH	23802
Prove SPT	4311
Laboratorio geotecnico	1847
Prove di Permeabilità	764

Nel complesso la Banca Dati Geologica di Sottosuolo contiene 44858 livelli stratigrafici per una lunghezza totale di oltre 200.000 m di litologia di sottosuolo investigata. Rispetto al totale, l'86% della lunghezza è costituito da informazioni ottenute dai pozzi, mentre il rimanente è relativo alla descrizione di sondaggi a carotaggio continuo o di fronti di scavo.

Il livello di dettaglio delle descrizioni stratigrafiche dipende principalmente dalla metodologia di perforazione adottata: infatti le descrizioni relative ai pozzi per acqua o idrocarburi, ottenute dall'analisi dei *cutting* di perforazione, identificano mediamente strati di spessore maggiore rispetto ai corrispondenti livelli identificati dall'esame delle carote estratte dai sondaggi a carotaggio continuo. Tale differenza è dimostrata dal calcolo dello spessore medio degli strati riconosciuti in ciascuna stratigrafia, ottenuto dal rapporto tra la lunghezza della perforazione e il numero di livelli descritti. I valori di tale parametro, riportati in tabella 16, indicano che per i pozzi lo spessore medio degli strati identificati è di 5,0 m, mentre per i sondaggi è di 2,2 m e per le trincee è di 1,7 m.

Tab. 16 - Dettaglio descrizioni stratigrafiche espresso come rapporto tra la lunghezza delle perforazioni e il numero totale di livelli descritti (m).

TIPO	Media	Dev. standard	Min	Max
Pozzi	5,0	12,5	50,0	0,8
Sondaggi	2,2	3,6	33,3	0,5
Trincee	1,7	2,4	7,1	0,4

La descrizione stratigrafica dei singoli strati all'interno del database è stata codificata secondo una serie di campi che considerano la tipologia e l'abbondanza relativa delle varie frazioni granulometriche che li compongono (ciottoli, ghiaia, sabbia, limo e argilla), insieme ad altri attributi quali: il colore dello strato, la presenza di intercalazioni, l'umidità, la plasticità, la presenza di resti vegetali o fossili e la presenza di cementazione. La tabella 17 illustra le ricorrenze dei vari termini e mostra che la maggior parte dei livelli viene descritta attraverso 1 o 2 termini litologici (es. argilla o sabbia con ghiaia).

Tab. 17 - Ricorrenza dei principali caratteri descrittivi nelle stratigrafie inserite nel database.

Carattere descritto	Numero di records compilati	Percentuale di ricorrenza sul totale
Litologia principale	44858	100,0%
Litologia secondaria	27930	62,3%
Colore dello strato	19094	42,6%
Terza litologia	12345	27,5%
Quarta litologia	3815	8,5%
Plasticità dello strato	2621	5,8%
Litologia intercalata principale	1159	2,6%
Litologia intercalate secondaria	181	0,4%
Umidità dello strato	160	0,4%
Cementazione dello strato	128	0,3%
Fossili nello strato	100	0,2%
Resti vegetali nello strato	82	0,2%

I valori di resistenza alla penetrazione (N_{30}), misurati come numero di colpi di maglio necessari ad ottenere un avanzamento di 30 cm della punta conica, e relativi alle prove penetrometriche dinamiche presenti nel foglio, raggiungono un totale di 23.802 misure. La profondità di investigazione delle prove è generalmente contenuta intorno ai 10 m.

Le prove SPT (*Standard Penetration Test*), espresse anche in questo caso come numero di colpi di maglio necessari ad ottenere un avanzamento di 30 cm della punta, sono state eseguite in 697 sondaggi e ammontano ad un totale di 4.311 misure. Va notato che nell'area milanese le prove SPT vengono comunemente eseguite con la punta conica e quindi risultano confrontabili con le prove penetrometriche dinamiche. Le prove SPT sono state mediamente eseguite nell'intervallo di profondità compreso tra 0 e 20m.

Le analisi granulometriche di laboratorio riguardano 1847 campioni prelevati da 437 sondaggi o trincee esplorative. I dati inseriti per ciascun campione riguardano la percentuale relativa di ciottoli, ghiaia, sabbia e materiale fine, quest'ultimo espresso come totale o scomposto nelle frazioni limose e argillose nel caso fossero presenti analisi per sedimentazione. I campioni analizzati risultano mediamente compresi tra le profondità di 0 e 20m.

Le misure di permeabilità si riferiscono a prove di tipo Lefranc eseguite a carico costante o a carico variabile in 202 sondaggi e ammontano ad un totale di 764 misure. Le prove sono state eseguite mediamente tra 0 e 25m di profondità.

XI. APPENDICE 2 - SONDAGGI GEOGNOSTICI

1. - STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI

Vengono di seguito riportate le colonne stratigrafiche sintetiche dei sondaggi eseguiti nell'ambito del Progetto CARG del Foglio 118-Milano e del sondaggio RL4 Agrate (REGIONE LOMBARDIA-ENI, 2002) situato nelle immediate adiacenze nord-orientali del foglio (Figg. 54-58).

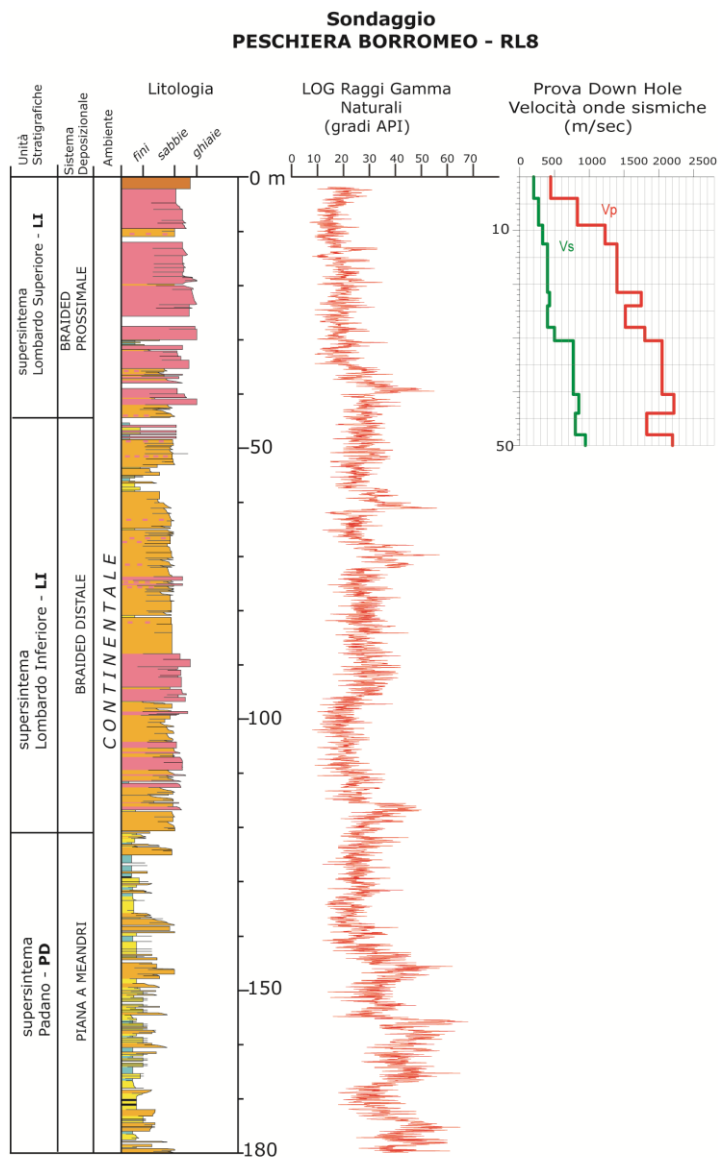
In tabella 18 sono riportate coordinate, quota e profondità dei sondaggi.

Tab. 18 – Localizzazione dei sondaggi CARG e Regione Lombardia.

SIGLA	NOME	GBX	GBY	UTMX	UTMY	QUOTA (m slm)	PROF (m)
RL8	Peschiera Borromeo	1522961	5032855	522927	5032831	106	180
RL9	Gaggiano	1501500	5030067	501470	5030045	120	150
RL10	Milano C.na Triulza	1507635	5040954	507597	5040931	144	100
RL11	Milano Parco Nord	1515021	5041414	514969	5041324	139	99
RL4	Agrate	1527893	5045337	527863	5045196	155	185

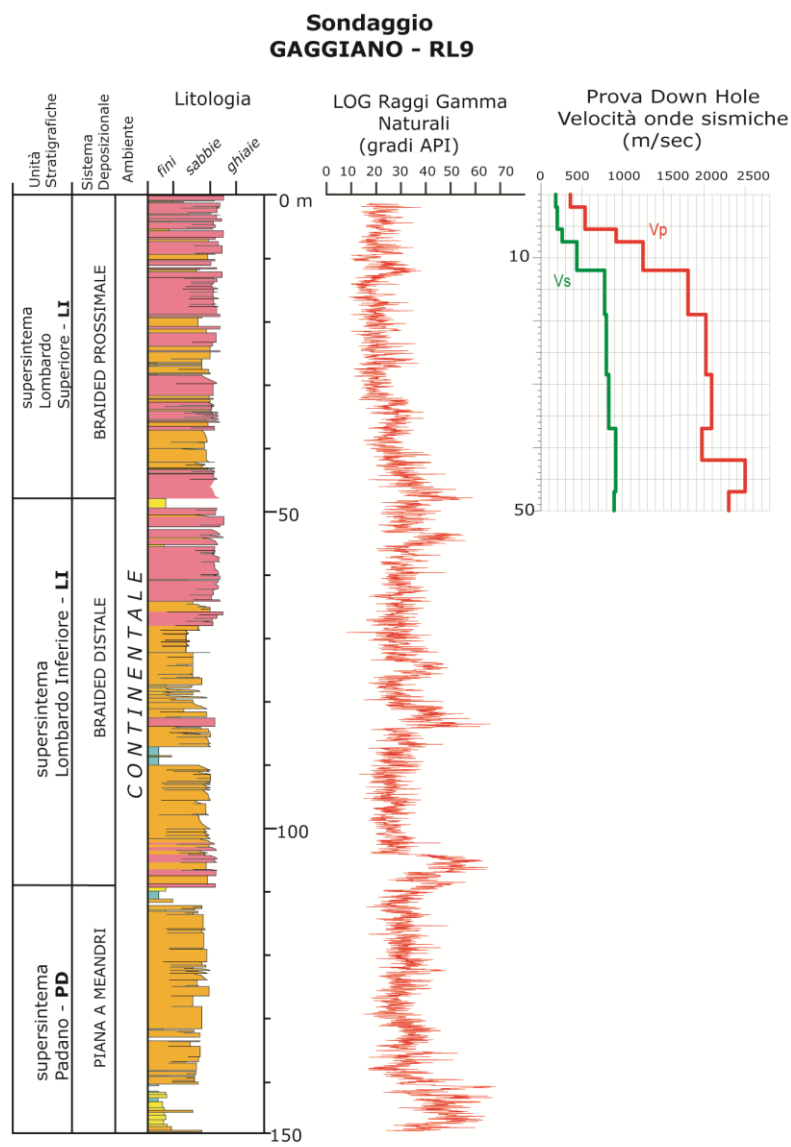
Le colonne stratigrafiche, oltre alla litologia, riportano le interpretazioni degli ambienti e dei sistemi deposizionali, nonché l'attribuzione alle unità di sottosuolo (cfr. V.1.1).

A fianco delle colonne stratigrafiche, sono stati riportati i log Raggi Gamma naturali (cfr. IV.2.3) e le velocità sismiche medie per orizzonti delle onde di compressione (V_p) e delle onde di taglio (V_s), espresse in metri al secondo e derivanti dalle indagini sismiche in foro, ad eccezione del sondaggio Agrate RL4 in cui tale indagine non è stata effettuata (cfr. Appendice 2.5).



La profondità è espressa in metri da p.c.

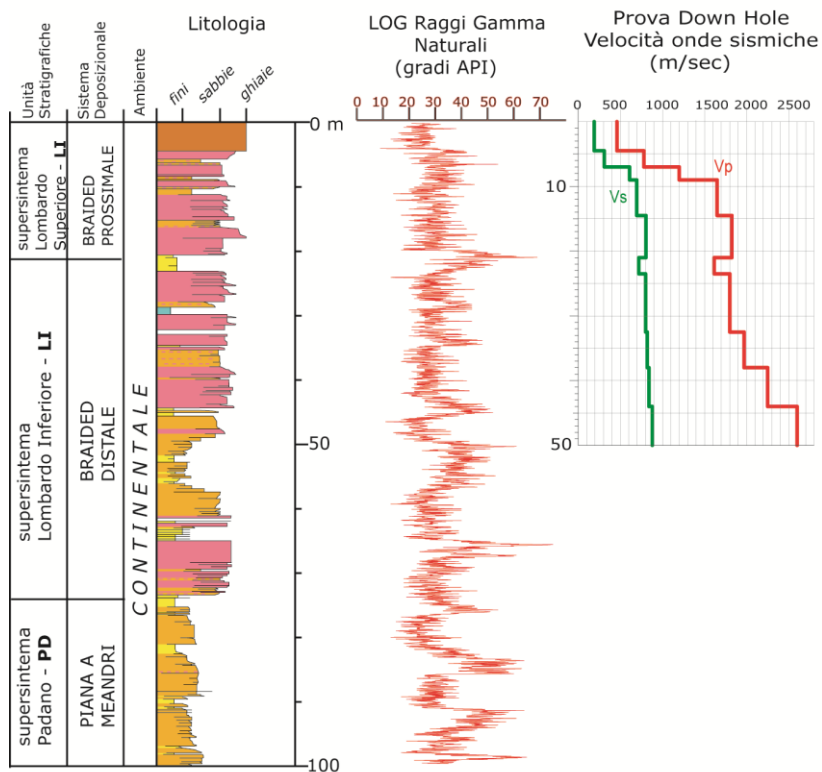
Fig. 54 – Stratigrafia del sondaggio CARG Peschiera Borromeo - RL8.



La profondità è espressa in metri da p.c.

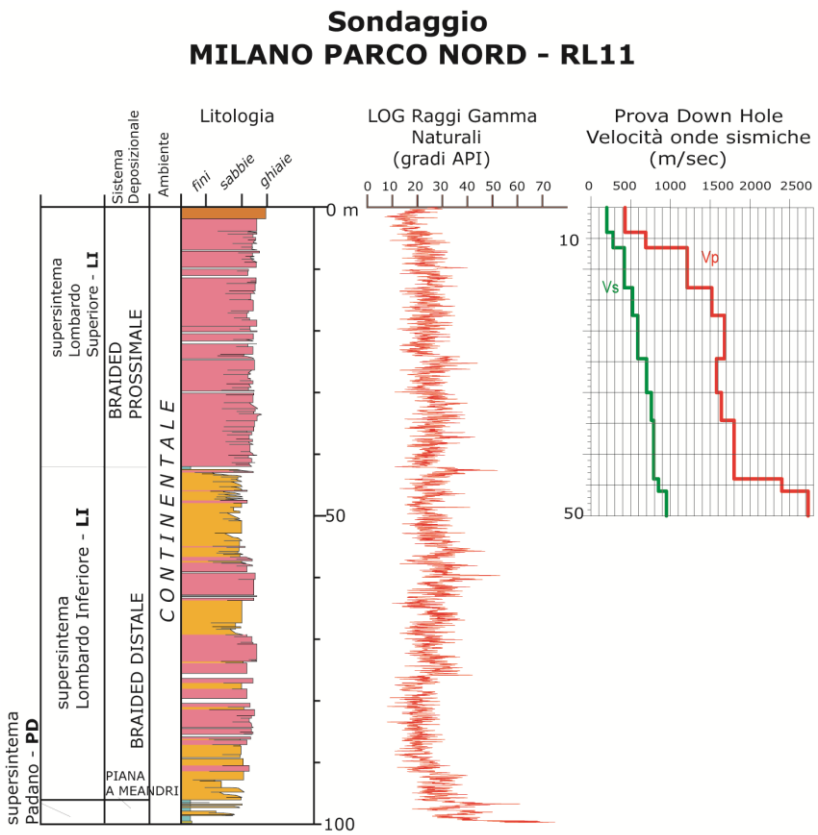
Fig. 55– Stratigrafia del sondaggio CARG Gaggiano - RL9.

Sondaggio MILANO C.na TRIULZA - RL10



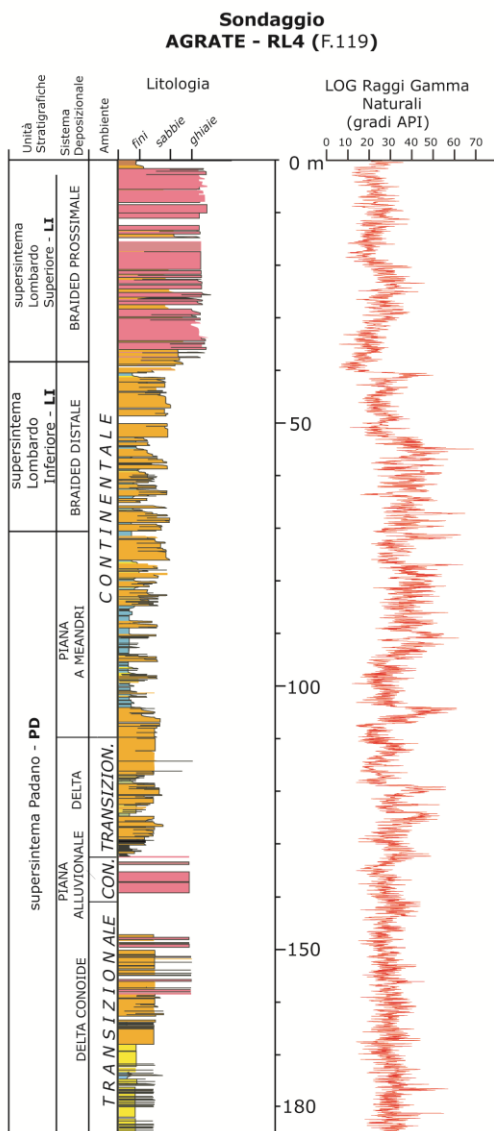
Le profondità sono espresse in metri da p.c.

Fig. 56– Stratigrafia del sondaggio CARG Milano Cascina Triulza – RL10.



Le profondità sono espresse in metri da p.c.

Fig. 57– Stratigrafia del sondaggio CARG Milano Parco Nord – RL11.



La profondità è espressa in metri da p.c.

Fig. 58– Stratigrafia del sondaggio Agrate – RL4 realizzato da Regione Lombardia (ricadente entro l'area del Foglio 119- Treviglio).

2. - ANALISI MAGNETOSTRATIGRAFICHE

Le analisi paleomagnetiche sono state svolte su un totale di 79 campioni cubici ($\sim 8 \text{ cm}^3$) prelevati da intervalli fini delle carote e orientati secondo la verticale. I campioni sono così distribuiti:

Peschiera Borromeo RL8: 25 campioni

Gaggiano RL9: 17 campioni

Milano C.na Triulza RL10: 33 campioni

Milano Parco Nord: 4 campioni

Data la natura prevalentemente grossolana dei sedimenti carotati, non sempre è stato possibile mantenere una frequenza di campionamento regolare.

Le analisi sono state svolte presso il laboratorio ALP di Peveragno (CN). Per evitare influenze da parte del campo magnetico terrestre durante l'attività di misura, tutte le operazioni sono state eseguite all'interno di una camera schermata, con intensità di campo ridotta a $\sim 300 \text{ nT}$. La magnetizzazione naturale rimanente (NRM) è stata misurata con un magnetometro criogenico della 2G-Enterprises dotato di sensori SQUID. La smagnetizzazione dei campioni è stata eseguita prevalentemente per via termica utilizzando un forno ASC TD48 e adottando un minimo di 10 riscaldamenti progressivi da 100°C a 600°C . Al termine del trattamento, i campioni che mostravano ancora una magnetizzazione apprezzabile sono stati riscaldati fino ad un massimo di 680°C con almeno 3 riscaldamenti progressivi. I campioni del sondaggio Milano C.na Triulza RL10 sono stati smagnetizzati anche per mezzo di campi alternati, utilizzando uno smagnetizzatore AF della 2G-Enterprises.

L'intensità della NRM dei campioni prelevati è nell'ordine dei 10^{-3} – 10^{-4} A/m . Le proiezioni ortogonali dei dati di smagnetizzazione (ZIJDERVELD, 1967) indicano generalmente l'esistenza di due componenti (Fig. 59). La prima componente, caratterizzata da temperature di bloccaggio minori di $\sim 250^\circ\text{C}$ e inclinazioni relativamente alte, è interpretata come una magnetizzazione recente, probabilmente indotta durante il carotaggio. La seconda componente, rimossa in un intervallo di temperature compreso tra 350°C e 680°C , è interpretata come magnetizzazione caratteristica. Declinazione e inclinazione della componente caratteristica sono state calcolate utilizzando il metodo dei minimi quadrati (KIRSCHVINK, 1980). Dal momento che le carote non erano orientate secondo l'azimuth, la magnetostratigrafia di ciascun sondaggio è stata delineata utilizzando la sola inclinazione magnetica della componente caratteristica.

Le inclinazioni positive sono state acquisite durante periodi a polarità magnetica normale, come quello attuale. Le inclinazioni negative sono state invece acquisite durante periodi a polarità magnetica inversa.

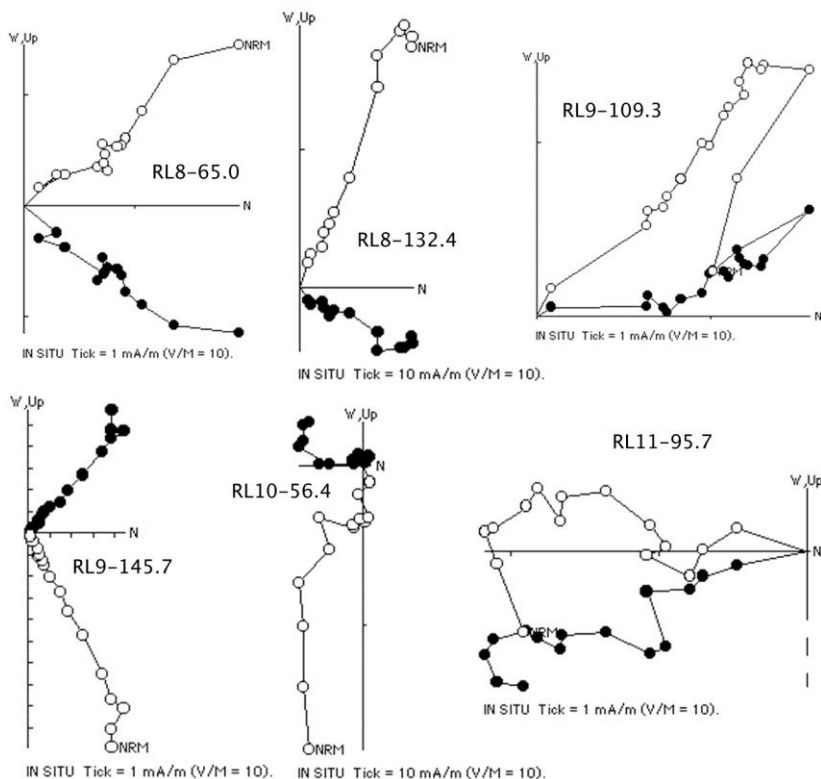


Fig. 59 – Proiezioni ortogonali dei dati di smagnetizzazione di campioni rappresentativi dei sondaggi analizzati. Ogni campione è identificato dal codice del sondaggio e dalla profondità a cui è stato prelevato.

2.1 - PESCHIERA BORRAMEO RL8

Nel sondaggio Peschiera Borromeo RL8 tutti i 25 campioni studiati hanno mostrato una magnetizzazione analizzabile (Fig. 60).

La magnetostratigrafia interpretata è la seguente:

30,3–57,8 m: magnetozona a polarità normale. Inclinazione magnetica media: $60^\circ \pm 7^\circ$.

64,9–151,2 m: magnetozona a polarità inversa. Questa magnetozona soffre di un'importante lacuna di dati ed è stata interpretata sulla base dei campioni con inclinazioni negative alla sommità ed alla base della lacuna. Inclinazione magnetica media: $-54^\circ \pm 12^\circ$.

154,8–176,8 m: magnetozona a polarità normale. Inclinazione magnetica media: $61^\circ \pm 15^\circ$.

Il campione analizzato più basso (178,7 m) mostra un'inclinazione di $-56,4^\circ$ e potrebbe rappresentare l'inizio di una successiva magnetozona a polarità inversa, anche se non è possibile affermarlo con certezza.

PESCHIERA BORRAMEO RL8

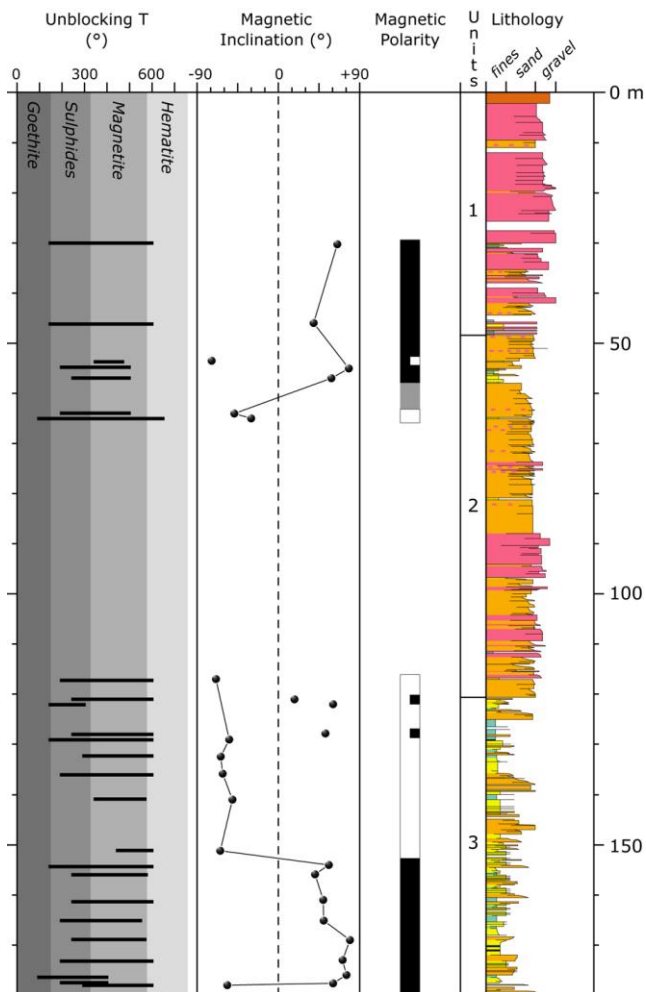


Fig. 60 – Temperature di bloccaggio della componente caratteristica, inclinazione magnetica, magnetostratigrafia e litologia del sondaggio RL8. La magnetostratigrafia è stata ottenuta dall'inclinazione magnetica della componente caratteristica, espressa in gradi rispetto all'orizzontale. Nella colonna della stratigrafia magnetica il nero rappresenta la polarità normale, il bianco è la polarità inversa.

2.2 - GAGGIANO RL9

Nel sondaggio Gaggiano RL9, 13 campioni sui 17 studiati hanno mostrato una magnetizzazione analizzabile (Fig. 61).

La magnetostratigrafia interpretata è la seguente:

55,3–87,5 m: magnetozona a polarità normale. Inclinazione magnetica media: $61^\circ \pm 6^\circ$.

87,8–110,3 m: magnetozona a polarità inversa. Inclinazione magnetica media: $-51^\circ \pm 15^\circ$.

141,6–146,3 m: magnetozona a polarità normale. Inclinazione magnetica media: $60^\circ \pm 13^\circ$.

La mancanza di materiale idoneo all'analisi paleomagnetica tra 110,3 m e 141,6 non ha permesso di risolvere il limite tra la magnetozona a polarità inversa e quella inferiore a polarità normale.

2.1 - MILANO C.na TRIULZA RL10

Nel sondaggio Milano C.na Triulza RL10 sono stati prelevati 33 campioni, dei quali 29 hanno fornito una magnetizzazione analizzabile (Fig. 62). È possibile identificare con certezza un'unica magnetozona a polarità inversa tra 62,1 m e 97,5 m, caratterizzata da 10 campioni e da un'inclinazione media pari a $-49^\circ \pm 19^\circ$. La parte superiore del sondaggio sembra caratterizzata da una polarità normale riscontrata nei campioni prelevati a 29,0 m e a 44,8. L'intervallo tra 45,4 m e 56,4 m presenta magnetizzazioni contrastanti di difficile interpretazione.

A 21 m è interessante la presenza di un campione con inclinazione negativa ($-73,3^\circ$), proveniente da un paleosuolo ben preservato. Tuttavia, in assenza di vincoli cronologici non è possibile per ora associarlo con sicurezza ad una particolare escursione magnetica.

2.1 - MILANO PARCO NORD RL11

Il sondaggio Milano Parco Nord RL11 è caratterizzato da prevalenti depositi grossolani che non ne hanno permesso uno studio paleomagnetico dettagliato. I campioni prelevati ed analizzati provengono dagli unici due livelli fini identificati nel sondaggio (Fig. 63).

Il campione prelevato a 42,2 m ha fornito un'inclinazione positiva di $80,4^\circ$ mentre i 3 campioni prelevati nell'intervallo tra 95,7 m e 98,8 m hanno fornito inclinazioni negative tra $-8,4^\circ$ e $-69,5^\circ$.

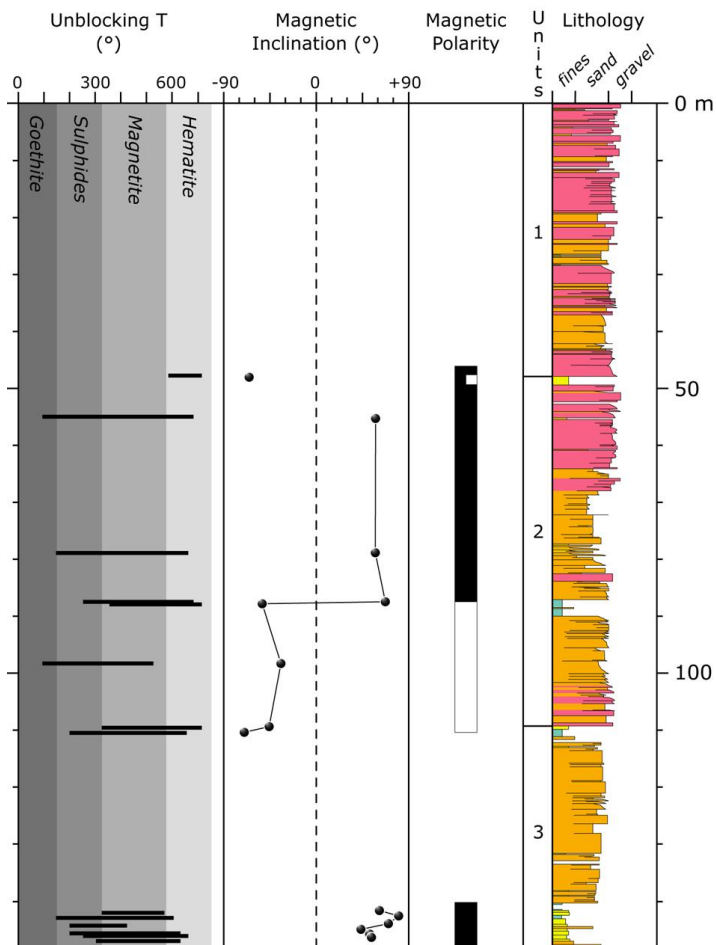
GAGGIANO RL9

Fig. 61– Temperature di bloccaggio della componente caratteristica, inclinazione magnetica, magnetostratigrafia e litologia del sondaggio RL9. La magnetostratigrafia è stata ottenuta dall'inclinazione magnetica della componente caratteristica, espressa in gradi rispetto all'orizzontale. Nella colonna della stratigrafia magnetica il nero rappresenta la polarità normale, il bianco è la polarità inversa.

Milano TRIULZA RL10

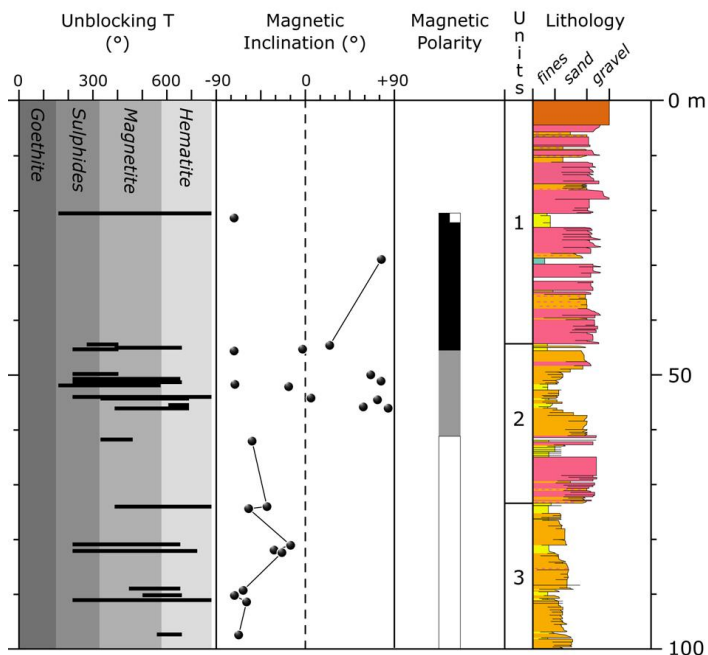


Fig.62 - Temperature di bloccaggio della componente caratteristica, inclinazione magnetica, magnetostratigrafia e litologia del sondaggio RL10. La magnetostratigrafia è stata ottenuta dall'inclinazione magnetica della componente caratteristica, espressa in gradi rispetto all'orizzontale. Nella colonna della stratigrafia magnetica il nero rappresenta la polarità normale, il bianco è la polarità inversa.

Milano PARCO NORD RL11

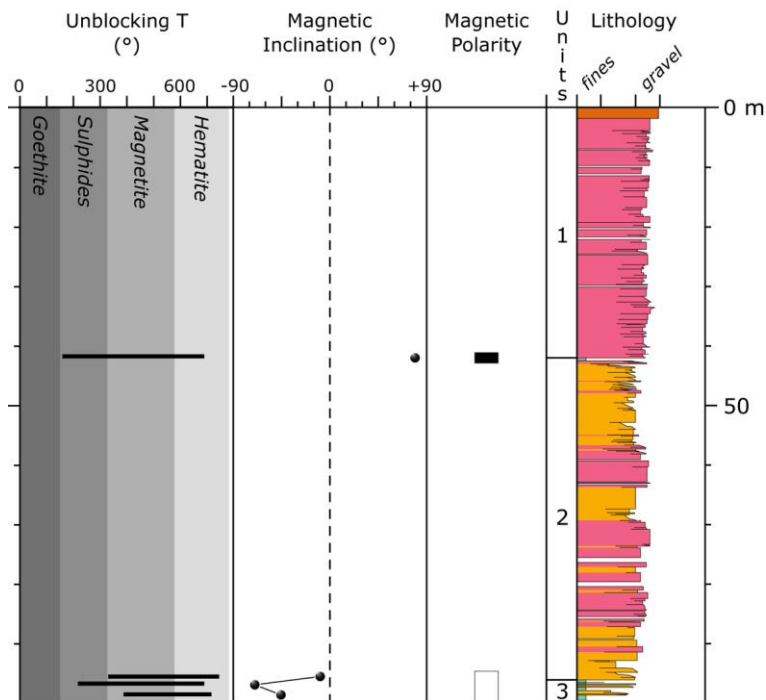


Fig. 63 – Temperature di bloccaggio della componente caratteristica, inclinazione magnetica, magnetostratigrafia e litologia del sondaggio RL11. La magnetostratigrafia è stata ottenuta dall'inclinazione magnetica della componente caratteristica, espressa in gradi rispetto all'orizzontale. Nella colonna della stratigrafia magnetica il nero rappresenta la polarità normale, il bianco è la polarità inversa.

2.2 - SINTESI DEI RISULTATI

Nel complesso tutti i sondaggi mostrano una magnetizzazione a polarità normale nella parte superiore, che sulla base dei dati pollinici e del contesto stratigrafico regionale delineato in altri sondaggi (MUTTONI *et alii*, 2003; SCARDIA *et alii*, 2006) è possibile riferire al *chron Brunhes*. La sottostante magnetozona a polarità inversa, anch'essa riscontrata in tutti i sondaggi, è riferibile al *chron Matuyama*. Il limite *Brunhes/Matuyama* è datato a 0,78 Ma (CANDE & KENT, 1995). Nei sondaggi Peschiera Borromeo RL8 e Gaggiano RL8 è stato possibile identificare un'ulteriore magnetozona a polarità normale sottostante a quella inversa, riferibile al *subchron Jaramillo* (0,99–1,07 Ma; CANDE & KENT, 1995).

3. - ANALISI PALINOLOGICHE

I campioni per le analisi palinologiche sono stati prelevati solo dai livelli a sedimentazione fine (i sedimenti grossolani infatti non sono favorevoli per la conservazione del polline) che non mostravano evidenze d'ossidazione. Per questo motivo i campionamenti non sono distribuiti in modo omogeneo su tutta la lunghezza dei sondaggi.

I campioni sono stati preparati secondo le metodologie standard in uso presso il Laboratorio di Palinologia e Paleoecologia del CNR-IDPA di Milano che prevedono una serie di trattamenti con reagenti (HCl, HF e KOH) al fine di eliminare il sedimento e gran parte della sostanza organica, liberando così i granuli pollinici dalla matrice in cui sono contenuti; ciò è possibile grazie al fatto che il polline è praticamente inerte ad ogni attacco chimico per la particolare resistenza della sporopollenina presente nella parete.

I sedimenti argilloso-limosi sono stati quindi sottoposti a ripetuti i lavaggi con HF e HCl oppure filtrati a 18 µm per eliminare la frazione più fine. Al termine della preparazione, quando il sedimento è sufficientemente ridotto, i campioni sono stati acetolizzati, ovvero trattati a caldo con una miscela di anidride acetica e acido solforico, previa disidratazione con acido acetico; l'acetolisi permette di colorare il polline (altrimenti trasparente) per una adeguata osservazione al microscopio.

Per poter stimare la concentrazione pollinica per unità di volume, sono state usate tavolette di *Lycopodium*, aggiunte ai campioni prima di iniziare la preparazione (STOCKMARR, 1971).

L'osservazione al microscopio ottico è stata condotta a 400, 630 e 1000 ingrandimenti. La nomenclatura utilizzata segue la lista dei tipi pollinici ALPADABA (Alpine Palynological Database) depositata presso l'*Institute of Plant Sciences* dell'Università di Berna, basata sulla *Northwest European pollen flora* (PUNT *et alii*, 1976-2003) integrata con i tipi pollinici derivati da MOORE *et alii* (1991) e dalla flora pollinica alpina.

L'analisi pollinica non si limita solo all'identificazione e al conteggio del polline, ma comprende anche lo studio di altri palinomorfi di varia natura (ovvero microfossili quali spore, alghe, funghi, parti chitinee di animali, ecc. che rimangono nei preparati) che possono fornire informazioni utili per le ricostruzioni paleoambientali e paleoclimatiche. In particolare le analisi polliniche svolte riguardano:

- identificazione del polline;

- identificazione delle spore di felci e di altre pteridofite (equiseti);
- cisti di dinoflagellati: solo conteggio totale degli individui;
- foraminiferi: conteggio totale delle parti tectiniche conservate nei preparati;
- identificazione delle alghe d'acqua dolce;
- identificazione di altri extrafossili: in prevalenza tipi riferibili a spore di funghi;
- calcolo della concentrazione pollinica (granuli/cm³);
- calcolo della concentrazione delle particelle di microcarbone >18 µm (particelle/cm³);
- determinazione della somma pollinica;
- calcolo delle somme % di alberi, arbusti, erbe terrestri e xerofite;
- calcolo delle somme di piante acquatiche e di ambienti palustri, fuori dalla somma pollinica.

La definizione della somma pollinica è uno dei passaggi fondamentali per procedere ad una corretta interpretazione dei dati. Normalmente i dati pollinici vengono espressi sotto forma di % rispetto ad un totale di granuli pollinici conteggiati (somma pollinica), che dovrebbe mantenersi al di sopra di 400 granuli per garantire una corretta valutazione statistica dei dati. La somma pollinica comprende alberi, arbusti, erbacee terrestri e xerofite, ovvero solo tipi pollinici legati ad ambienti drenati e influenzati da variazioni esterne all'ambiente di sedimentazione; le piante acquatiche e di ambienti palustri sono escluse da tale somma. In questo modo si evitano artefatti legati a forti variazioni di abbondanza di piante locali (connesse all'ambiente di sedimentazione), in corrispondenza dei livelli organici e le percentuali dei due gruppi non si influenzano. Sono inoltre fuori somma anche i granuli rimaneggiati, distinti da quelli di deposizione primaria in base al diverso stato di conservazione.

Sono stati elaborati diagrammi pollinici per i sondaggi di Peschiera Borromeo (RL8) e Milano Parco Nord (RL11). Per il sondaggio di Gaggiano (RL9) solo due campioni hanno dato risultati, pertanto i dati ottenuti vengono presentati in una tabella di conteggio; i campioni analizzati provenienti dal sondaggio di Milano C.na Triulza (RL10) sono risultati sterili o con concentrazioni polliniche insufficienti a fini statistici.

Nei diagrammi pollinici (Figg. 65 e 66) sull'asse delle ordinate è indicata la profondità in metri dei tratti campionati, mentre su quella delle ascisse l'abbondanza dei tipi pollinici è espressa come % rispetto alla somma. Per i palinomorfi presenti con continuità lungo la successione è stata utilizzata una rappresentazione a curva continua: l'area in grigio indica la stessa curva con fattore di esagerazione x 5, necessario per una migliore visualizzazione quando le percentuali sono basse.

Il simbolo • è utilizzato per i tipi sporadici e indica la sola presenza, spesso anche di un solo granulo.

Le categorie di palinomorfi identificati sono indicate nei diagrammi pollinici nel seguente ordine:

- conifere
- latifoglie arboree e arbustive
- erbacee terrestri
- xerofite (piante erbacee e arbustive di ambienti particolarmente aridi);
- erbacee acquatiche/palustri
- extrafossili (sec. VAN GEEL, 1978).

Nella parte terminale dei diagrammi sono riportate le curve relative a:

- concentrazione pollinica (granuli/cm³);
- concentrazione del microcarbone (particelle/cm³);
- somma % di alberi, arbusti, erbacee terrestri e xerofite;
- somma pollinica, ovvero numero di granuli contati per ogni campione.

L' interpretazione palinostratigrafica degli spettri pollinici ottenuti si basa su due tipi di evidenze:

1. la presenza di polline di piante esotiche, ovvero di piante che oggi hanno una distribuzione extraeuropea ma che erano frequenti in Europa nel Pliocene e/o Pleistocene, considerate buoni *marker* biostratigrafici;
2. il confronto con siti di riferimento per i quali è certa la posizione geocronologica.

1. La palinoflora pliocenica dell'area mediterranea annovera numerose entità esotiche, tra le più significative si ricordano: *Cathaya*, *Sciadopitys*, diversi generi di *Taxodiaceae*, *Symplocos*, *Liquidambar*, *Nyssa*, *Engelhardtia* e *Magnolia*. Di queste piante sono stati rinvenuti sia granuli pollinici sia macroresti in diversi siti dell'Italia settentrionale al margine delle Alpi riferibili al Pliocene marino e continentale (MARTINETTO & RAVAZZI, 1997). La loro importanza stratigrafica è legata al fatto che molte di esse non vengono rinvenute in depositi quaternari, mentre altre vi compaiono ma solo con basse frequenze.

Per quanto riguarda la flora pleistocenica (Fig. 64), di particolare rilevanza sono i ritrovamenti di *Tsuga*, *Carya* e *Pterocarya*, piante che hanno oggi una distribuzione naturale extraeuropea e sono presenti solo in America del Nord e nell'Est asiatico. Fino al tardo Pleistocene Inferiore erano ampiamente diffuse durante le fasi temperato-calde in Europa centro-meridionale, scomparendo poi all'inizio del Pleistocene medio.

In Europa centrale la *Last Occurrence* di *Tsuga*, pianta di climi temperato-fresco-umidi, risale all'interglaciale Leerdam, tra la fine dello Jaramillo e il passaggio Brunhes/Matuyama circa 850.000 anni fa (ZAGWIJN & DE JONG, 1984), mentre nel bacino del Mediterraneo scompare tra 900.000 e 750.000 anni fa (MULLENDERS *et alii*, 1996; KENT *et alii*, 2002; VAN DER WIEL & WIJMSTRA, 1987; MOMMERSTEEG *et alii*, 1995; COLTORTI *et alii*, 1998; BERTINI, 2000). *Tsuga* raggiunge la sua massima espansione durante l'interglaciale Bavel, circa 900.000 anni fa, in Olanda (ZAGWIJN & DE JONG, 1984) e durante le fasi calde dello Jaramillo in Europa meridionale.

Analogamente anche *Carya* e *Pterocarya*, diffuse in Europa nelle fasi più calde del Quaternario e legate a climi temperato-caldo-umidi o tropicali, scompaiono tra la fine del Pleistocene Inferiore e l'inizio del Pleistocene medio; nella successione lacustre di Pianico-Sèllere, nell'intervallo attribuito al passaggio Brunhes/Matuyama, si rinvenivano solo granuli sporadici di *Carya* (MOSCARIELLO *et alii*, 2000). In Italia centrale *Carya* è assente già all'inizio del Brunhes (FICCARELLI *et alii*, 1997), mentre in Italia meridionale persiste sporadicamente fino alla prima parte del Pleistocene medio (RUSSO ERMOLLI, 1994). Peculiare è il record pollinico pleistocenico di *Pterocarya*: alcuni diagrammi pollinici da siti nord- e centro-europei ne annoverano la presenza, seppur con granuli sporadici, nel MIS 11 (DE BEAULIEU & REILLE, 1989; REILLE *et alii*, 1998; DE BEAULIEU *et alii*, 2001). Più complesso è il record di questo *taxon* in ambiente mediterraneo. Il record pollinico di Kopais (OKUDA *et alii*, 2001) attribuisce al MIS 11c la zona pollinica KP3, in cui è registrata la *LO* di *Pterocarya*: il diagramma di Valle di Castiglione (FOLLIERI *et alii*, 1988) annovera la presenza di *Pterocarya* fino al MIS 7c.

Anche il cedro è un buon *marker* palinostratigrafico per il Pleistocene: comune sui rilievi prealpini fino al tardo Pleistocene Inferiore, come testimoniato nelle successioni di Leffe e Ranica (RAVAZZI & ROSSIGNOL STRICK, 1995; RAVAZZI *et alii*, 2005), successivamente scompare dal Nord Italia e persiste più a S solo sui rilievi appenninici, in Italia meridionale e in Africa del Nord.

2. Siti di riferimento per l'Italia settentrionale:

- per il Pliocene: studi integrati sulle successioni del torrente Stirone e del Marecchia (Appennino), Rio Cà Viettone (Piemonte), Valle Fornace (Varese), Castel di Sotto (Canton Ticino);
- per il Pleistocene: Leffe, Ranica e Pianico-Sèllere (Bergamo), Azzano Decimo (Pordenone).

Per il Pleistocene superiore sono, inoltre, termini di confronto utili anche successioni polliniche del settore glacializzato dell'avampaese

alpino, quali Mondsee (Austria), Füramoos (Germania), Les Echets e Lac du Bouchet (Francia), nonostante siano in un'altra provincia biogeografica.

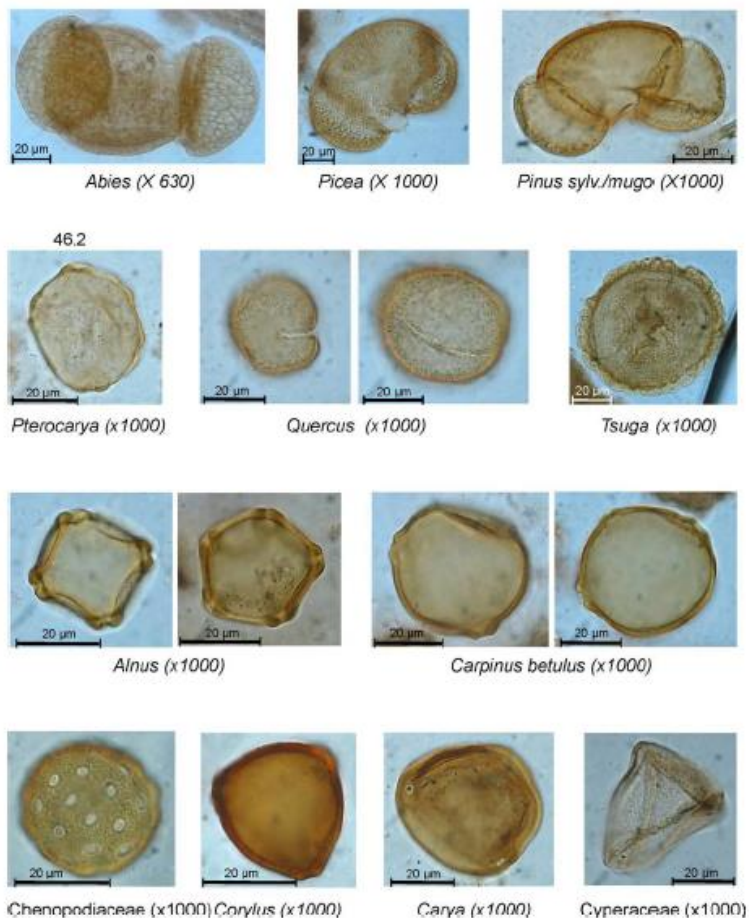


Fig. 64 – Tavola fotografica dei principali tipi pollinici (foto M. Donegana).

3.1 - PESCHIERA BORROMEO RL8

Nel sondaggio Peschiera Borromeo RL8 sono stati analizzati 23 campioni, distribuiti come riportato nella tabella 19.

Tab. 19 – Campioni analizzati nel sondaggio RL8.

PROFONDITA' (m)	POLLINIFERI	STERILI
30,40	X	
30,50	X	
30,70	X	
46,50		X
55,80		X
56,10		X
57,25		X
57,55		X
115,30		X
122,15	X	
122,86		X
125,25	X	
127,60	X	
129,10	X	
130,95	X	
135,10	X	
139,44	X	
141,75	X	
148,50	X	
154,55	X	
162,60	X	
169,50	X	
176,60	X	
TOTALE 23	16	7

I campioni analizzati provengono da livelli di argilla o silt, ricchi di sostanza organica, con concentrazioni polliniche dell'ordine delle migliaia o decine di migliaia di granuli/cm³, tranne il campione a 30,70 m di profondità in cui la concentrazione è < 300 granuli/cm³.

3.1.1. - Spettri pollinici

Il polline di piante arboree è sempre dominante lungo l'intera sequenza, anche se è evidente un aumento della componente erbacea tra 130,95 m e 125,25 m. Sono stati identificati: 28 piante arboree o arbustive, 20 erbacee terrestri, 5 xerofite e 11 piante acquatiche/palustri (Fig. 65).

Campioni 176,60 m e 169,50 m

Pterocarya è il *taxon* meglio rappresentato (25%) e si accompagna a *Pinus*, *Tsuga*, *Abies*, *Picea* e a sporadiche latifoglie; le erbacee si mantengono su valori molto bassi.

Campioni 162,60 m e 154,55 m

Ad una diminuzione nei valori % di *Pinus*, rispetto ai campioni sottostanti, si accompagna una fase di espansione di querce e carpini seguita da un aumento dei valori di Juglandaceae e *Tsuga*.

Campioni 148,50 m, 141,75 m e 139,44 m

I tre spettri mostrano un moderato aumento di pino e betulla e una forte riduzione delle latifoglie, comprese le Juglandaceae; sono inoltre presenti *Alnus glutinosa* type e *Salix* insieme a piante palustri o acquatiche.

Campioni 135,10 m e 130,95 m

Aumentano i valori di Juglandaceae, *Abies*, *Tsuga* e latifoglie termofile mentre il pino si riduce di molto.

Campioni 129,10 m, 127,60 m, 125,25 m e 122,15 m

Il pino mostra un *trend* in costante e marcato aumento fino all'80%, mentre le latifoglie tendono a scomparire, tranne nel campione a 125,25 m. *Tsuga* e Juglandaceae sono assenti nei campioni a 127,60 m e 122,15 m.

Nell'intervallo c'è una buona variabilità di piante erbacee e quelle di ambienti umidi o acquatici, soprattutto Cyperaceae e *Typha*, raggiungono elevati valori.

Campioni 30,70 m, 30,50 m e 30,40 m

È un breve intervallo con spettri a dominanza di *Pinus* (>60%) con *Betula*, Graminaceae e xerofite (*Artemisia* e *Hippophae*) che aumentano leggermente nei due campioni sommitali, nei quali sono abbondanti anche piante palustri come Cyperaceae ed *Equisetum*; quello basale, invece, si differenzia per l'assenza di erbacee terrestri e la presenza di *Abies* (15%).

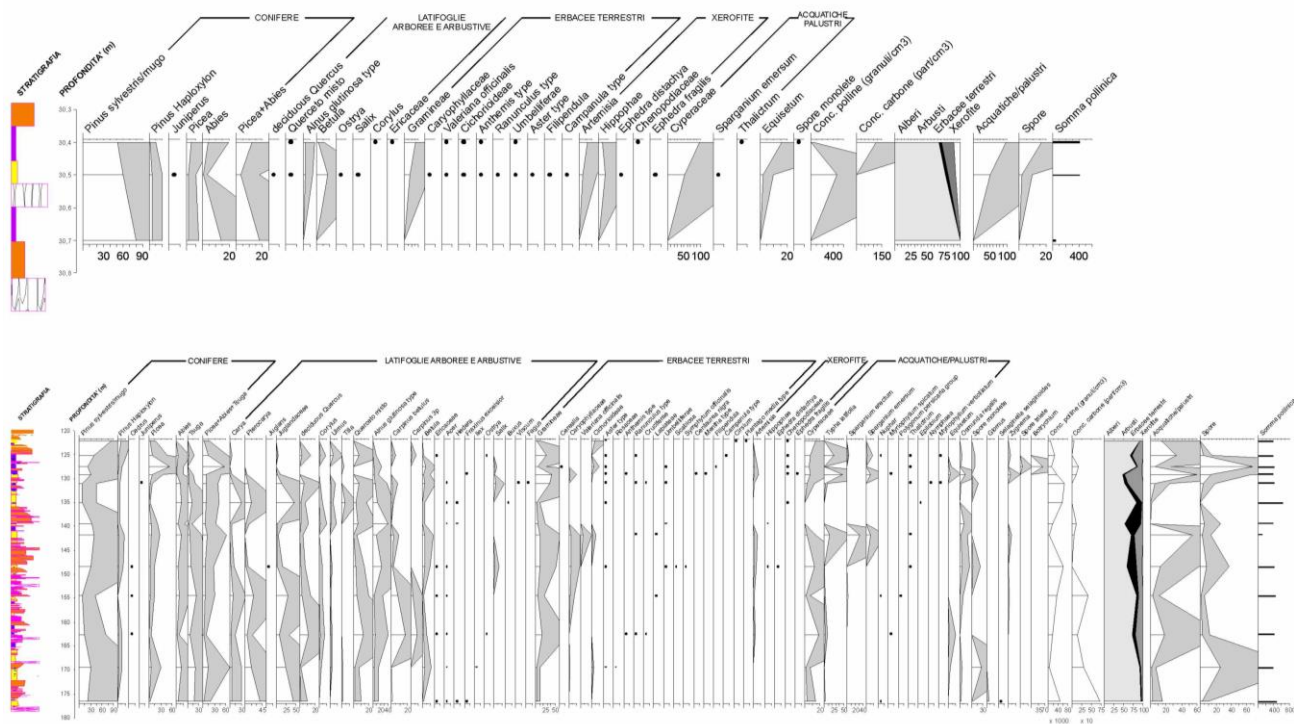


Fig. 65 – Diagrammi pollinici del sondaggio Peschiera Borromeo RL8.

3.1.2. - Interpretazione palinostratigrafica, paleoclimatica e paleoambientale

Nella parte bassa della sequenza è evidente l'alternarsi di diverse tipologie forestali e più precisamente: tre fasi, molto evidenti, in cui erano diffusi boschi con Juglandaceae dominanti (176,60 m, 154,55 m e 135,10 m) e tre fasi con boschi misti di latifoglie (162,60 m, 130,95 m e 125,25 m). In questo intervallo si alternano quindi periodi con clima temperato-caldo (quer ceti) e temperato-caldo con marcata umidità (Juglandaceae).

Al contrario vegetazioni aperte con pino e betulla, nell'intervallo 30,40-30,70 m e nel campione 122,15 m indicano un clima temperato-freddo-secco.

La forte riduzione nei valori % sia di *Tsuga* che di Juglandaceae, tra 129,10 m e 125,25 m e la loro assenza a 122,15 m sembrano indicare che questi alberi fossero prossimi all'estinzione e ciò collocherebbe l'intervallo nel tardo Pleistocene inferiore (Calabriano). Tuttavia, per avere maggiore certezza, sarebbe necessario ricostruire la vegetazione nei livelli soprastanti ma questo non è possibile perché da 121 m a 117 m i sedimenti sono ghiaie e sabbie grossolane.

3.2 - GAGGIANO RL9

Nel sondaggio Gaggiano RL9 sono stati analizzati 8 campioni, distribuiti come riportato nella tabella 20.

Tab. 20 – Campioni analizzati nel sondaggio RL9.

PROFONDITA' (m)	POLLINIFERI	STERILI
11.50	X	
49.10		X
109.85		X
110.90		X
142.95	X	
144.95		X
145.50		X
146.60		X
TOTALE 8	2	6

Degli 8 campioni preparati in laboratorio solamente due contengono polline (Tab. 21):

- 11,50 m, limo sabbioso ricco di sostanza organica ma con concentrazione pollinica molto bassa (280 granuli/cm³);

- 142,95 m, argilla organica grigio scuro con una discreta concentrazione pollinica (8435 granuli/cm³).

3.2.1. - Spettri pollinici e interpretazione palinostratigrafica, paleoclimatica e paleoambientale

Campione 142,95 m

Tra le piante arboree è evidente l'assoluta dominanza di *Carya* (> 50%) cui si accompagnano, nell'ordine, *Pinus sylvestris/mugo*, *Tsuga*, *Tilia*, *Pterocarya* e *Alnus glutinosa* type; altre arboree sono presenti in modo sporadico, mentre le uniche erbacee terrestri non xerofite sono Graminaceae.

Lo spettro indica quindi la presenza di estese foreste di latifoglie, in prevalenza Juglandaceae, in pianura e foreste di conifere sui rilievi circostanti.

In base a queste evidenze il campione può essere attribuito ad una fase temperato-calda e umida, favorevole allo sviluppo di Juglandaceae e *Tsuga*, riferibile genericamente al Pleistocene Inferiore.

Campione 11,50 m

Oltre il 50% della somma pollinica è rappresentato da piante erbacee e xerofite con un contributo importante di Graminaceae, Cichorioideae e *Artemisia*; tra le arboree compaiono *Pinus* e *Betula* insieme a *Picea* e *Carpinus b.* in basse %. Erano quindi presenti vegetazioni aperte (tipo steppa) con radi pini e betulle e paludi a Cyperaceae nelle zone depresse, in condizioni di clima temperato-freddo e arido.

Tab. 21- Pozzo Gaggiano RL9 - Spettri pollinici

	SPETTRI POLLINICI			
	11,50 m		142,95 m	
	N° granuli	%	N° granuli	%
CONIFERE				
<i>Pinus sylvestris/ mugo</i>	36	35,6	59	14,4
<i>Picea</i>	1	1,0	1	0,2
<i>Abies</i>			2	0,5
<i>Tsuga</i>			33	8,0
Totale	37	36,6	95	23,1
LATIFOGLIE ARBOREE E ARBUSTIVE				
<i>Acer</i>			4	1,0
<i>Alnus glutinosa type</i>	6	5,9	19	4,6
<i>Betula Carya</i>				
<i>Pterocarya</i>	1	1,0	217	52,8
<i>Carpinus betulus</i>			20	4,9
<i>Ulmus</i>			2	0,5
<i>Tilia</i>			1	0,2
<i>Salix</i>			24	5,8
			1	0,2
Totale	7	6,9	288	70,1
ERBACEE TERRESTRI				
<i>Gramineae Aster type</i>	19	18,8	28	6,8
<i>Cichorioideae Caryophyllaceae</i>	2	2,0		
<i>Plantago media type</i>	21	20,8		
<i>Umbelliferae</i>	2	2,0		
	1	1,0		
	3	3,0		
Totale	48	47,5	28	6,8
XEROFITE				
<i>Artemisia</i>	9	8,9	1	0,2
ACQUATICHE / PALUSTRI				
<i>Cyperaceae</i>	20	19,8	4	1,0
<i>Sparganium emersum</i>	1	1,0	2	0,5
<i>Typha latifolia type</i>				
Totale	21	20,8	6	1,5
EXTRAFOSSILI				
<i>Osmunda regalis</i>			18	4,4
Spore monolete			16	3,9
Somma pollinica	101		411	
Conc. Polline (granuli/cm ³)	280		8435	
Conc. Microcarbone (part./cm ³)	39		425	

3.3 - MILANO C.NA TRIULZA RL10

Nel sondaggio Milano C.na Triulza RL10 sono stati analizzati 20 campioni, distribuiti come riportato nella tabella 22. Tutti e 20 i campioni sono risultati sterili.

Tab. 22 – Campioni analizzati nel sondaggio RL10.

PROFONDITA' (m)	POLLINIFERI	STERILI
16.55		X
34.75		X
44.75		X
45.30		X
46.65		X
49.75		X
51.80		X
54.30		X
60.45		X
64.20		X
64.60		X
73.50		X
74.90		X
77.05		X
81.95		X
89.30		X
91.00		X
92.45		X
97.50		X
99.80		X
TOTALE 20	0	20

3.4 - MILANO PARCO NORD RL11

Nel sondaggio Milano Parco Nord RL11 sono stati analizzati 7 campioni, distribuiti come riportato nella tabella 23, dei quali 4 sono risultati sterili.

Tab. 23 – Campioni analizzati nel sondaggio RL11.

PROFONDITA' (m)	POLLINIFERI	STERILI
42,30		X
95,45		X
95,85		X
97,35		X
98,65	X	
99,10	X	
99,30	X	
TOTALE 7	3	4

3.4.1. - Spettri pollinici

I tre campioni polliniferi provengono da sedimenti argillosi (98,65 m) e limoso sabbiosi (99,10 m e 99,30 m) presenti nei 70 cm più profondi del sondaggio (Fig. 66).

Campione 99,30 m

La curva cumulativa di alberi, arbusti e erbacee mostra che queste tre componenti sono ugualmente rappresentate; tra le arboree sono presenti *Pinus*, *Picea* e *Tsuga* insieme a latifoglie termofile e Juglandaceae, mentre tra gli arbusti *Alnus glutinosa* type è molto abbondante. Le erbacee terrestri sono ben rappresentate e mostrano una certa ricchezza floristica. I discreti valori di Cyperaceae (10%) e spore di Pteridofite, insieme alla presenza di ontano, indicano la presenza di aree paludose e boscaglie a suoli umidi. La vegetazione era formata da foreste miste di latifoglie con conifere sui rilievi.

Campione 99,10 m

La componente erbacea rappresenta oltre il 50% della somma pollinica e annovera 11 *taxa* con abbondanti Graminaceae, Compositae e Caryophyllaceae. Le arboree comprendono *Betula* e *Alnus* con poche altre latifoglie sporadiche, insieme a *Pinus* e *Tsuga*. Lo spettro è quindi indicativo di condizioni temperato-fresche favorevoli allo sviluppo di vegetazioni aperte con alberi molto radi.

Campione 98,65 m

Lo spettro ha una composizione molto povera con soli tre *taxa* ben espressi, *Pinus*, *Picea* e *Abies* a cui si accompagnano sporadici granuli di *Tsuga* e Graminaceae. L'area era occupata da dense foreste di conifere che si estendevano fino alla pianura.

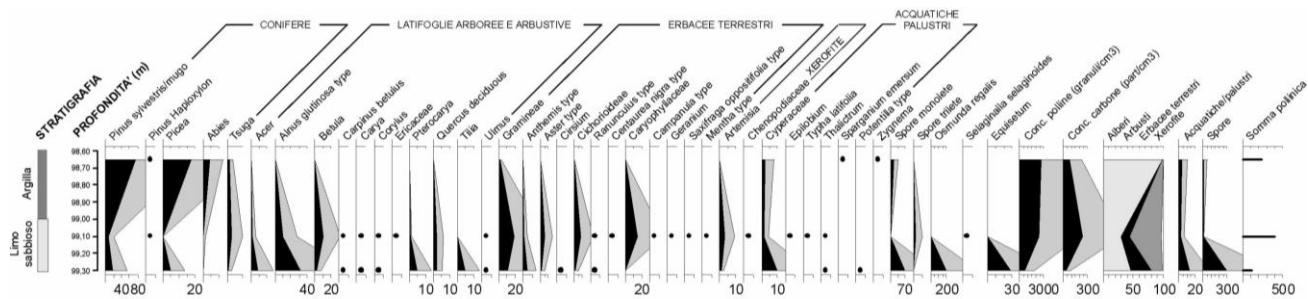


Fig. 66 - Diagrammi pollinici del sondaggio Milano Parco Nord RL11.

3.4.2. - Interpretazione palinostratigrafica, paleoclimatica e paleoambientale

Marker biostratigrafici per il Pleistocene Inferiore (*Tsuga*, *Carya* e *Pterocarya*) sono stati rinvenuti nei due campioni più profondi con valori <5 % e sono assenti nel campione a 98,65 m. Come suggerito nell'interpretazione palinostratigrafica del sondaggio di Peschiera Borromeo, anche in questo caso i bassi valori % potrebbero indicare le ultime fasi di persistenza di questi elementi nel tardo Pleistocene Inferiore, prima della loro scomparsa definitiva, ma il record è troppo frammentario.

4. - ANALISI PETROGRAFICHE

Allo scopo di individuare i bacini di provenienza dei sedimenti ed eventuali variazioni degli stessi, possibilmente in relazione con l'evoluzione stratigrafica di questo settore di bacino, sono state effettuate analisi petrografiche sulle carote dei sondaggi, sia per la frazione ghiaiosa (valutazione speditiva delle percentuali litologiche) che per quella sabbiosa (analisi mineralogica dei granuli, con separazione e concentrazione dei minerali pesanti). Di seguito si forniscono indicazioni sulle metodologie impiegate e sui risultati ottenuti.

4.1 - ANALISI DELLE GHIAIE

All'interno dei cicli individuati con l'analisi stratigrafica delle carote, sono stati prelevati campioni della frazione ghiaiosa medio-grossolana per ogni intervallo rappresentativo; sono state quindi riconosciute, tramite esame macroscopico, le diverse litologie e valutata la relativa presenza percentuale sul totale dei granuli esaminati per singolo campione (mediamente, circa 30 granuli/campione). Data la finalità di individuazione dei possibili bacini di provenienza dei sedimenti, sono state utilizzate le categorie litologiche più frequenti nella catena alpina centrale (ad es. carbonati, granitoidi, micascisti, quarziti etc.), talvolta con connotazione formazionale (ad es. Verrucano). Di seguito (Figg. 67-70) per ogni sondaggio, si riporta il grafico rappresentativo di tutti i campioni analizzati, la cui legenda riporta le categorie effettivamente riscontrate.

Sondaggio Peschiera Borromeo - RL8

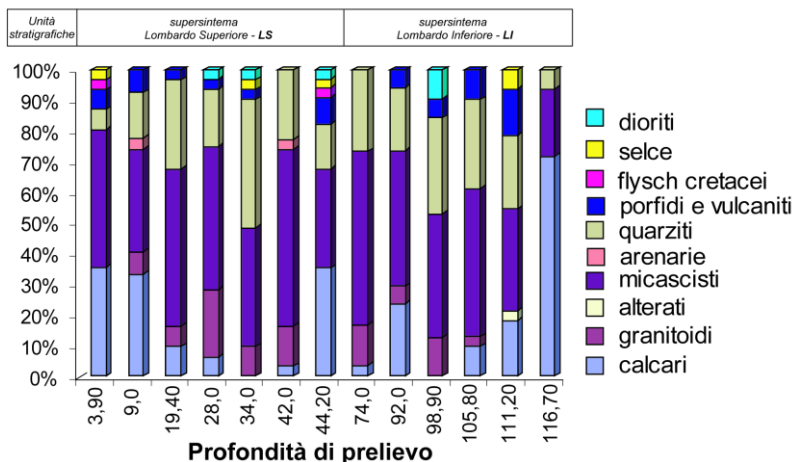


Fig. 67– Grafico della composizione delle ghiaie analizzate nel Sondaggio Peschiera Borromeo RL8.

Sondaggio Gaggiano - RL9

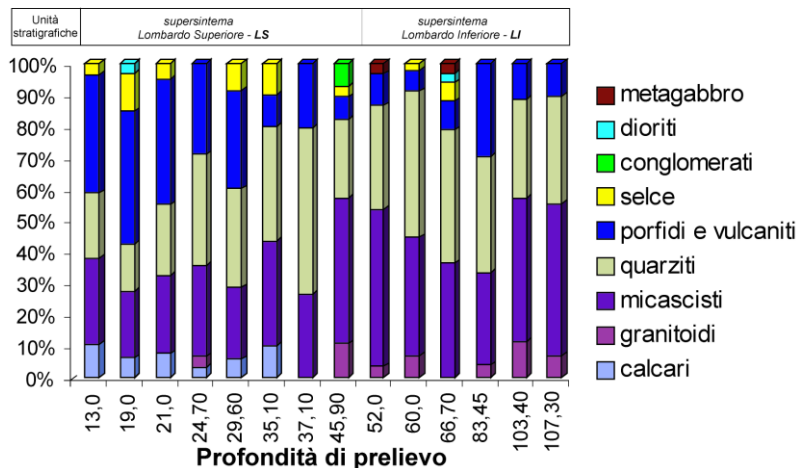
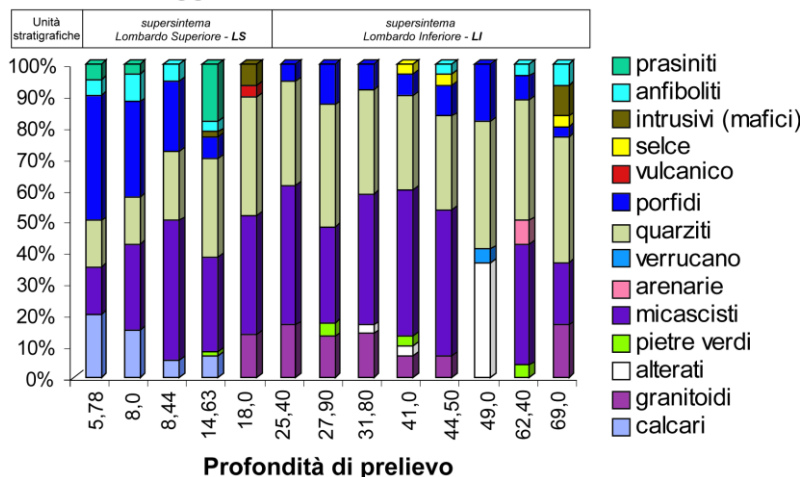
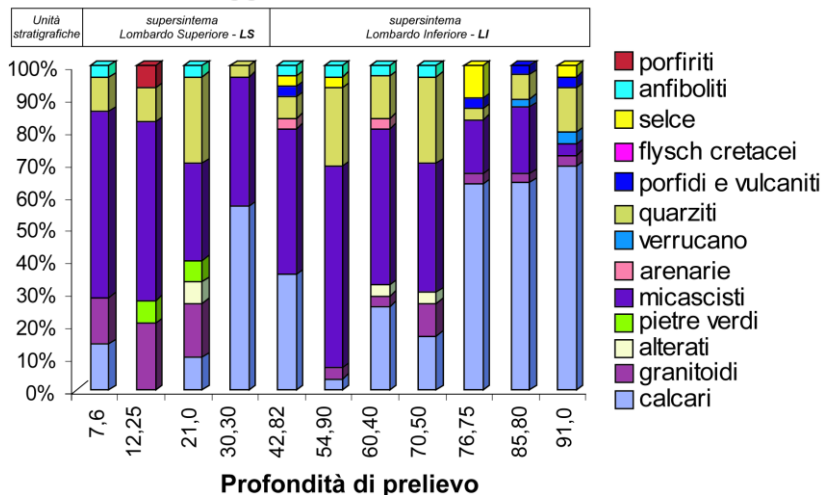


Fig. 68 – Grafico della composizione delle ghiaie analizzate nel Sondaggio Gaggiano RL9.

Sondaggio Milano C.na Triulza - RL10



Sondaggio Milano Parco Nord - RL11



Gli spettri composizionali di RL11 Milano Parco Nord e RL8 Peschiera Borromeo, sondaggi localizzati nel settore centro orientale del foglio,

mostrano una significativa presenza di granuli carbonatici, anche se con percentuali variabili in funzione della profondità; gli stessi sono invece praticamente assenti negli spettri di RL10 Milano C.na Triulza e RL11 Gaggiano, dove si rinvengono in tracce solamente nei campioni più superficiali, riferiti alla parte medio alta del supersintema Lombardo Superiore. Al contrario, la presenza di porfidi e vulcaniti (affioranti nel settore occidentale del sudalpino lombardo - Varesotto) è significativa negli spettri di RL10 Milano C.na Triulza e RL11 Gaggiano, mentre è decisamente ridotta negli spettri di RL11 Milano Parco Nord e RL8 Peschiera Borromeo. Tali elementi sembrano coerenti con uno scenario di apporti alluvionali del sistema Adda-Lambro-Seveso per i due sondaggi più orientali, RL11 Milano Parco Nord e RL8 Peschiera Borromeo mentre per i sondaggi RL10 Milano C.na Triulza e RL11 Gaggiano, la provenienza sembra essere attribuibile al Fiume Olona e, forse, in parte al Ticino (area del Varesotto). La comparsa di carbonati negli spettri composizionali di RL10 e RL11, poco al di sopra della base del supersintema Lombardo Superiore, può essere riferibile ad apporti più marcatamente derivanti dal margine sudalpino.

4.2 - ANALISI DELLE SABBIE

Su campioni selezionati provenienti dai quattro sondaggi a carotaggio continuo realizzati entro l'area del foglio è stata svolta una indagine petrografica e mineralogica quantitativa con lo scopo di ottenere nuove informazioni sulla evoluzione dei sistemi deposizionali attraverso le seguenti fasi:

- descrizione per ciascun sondaggio degli intervalli petrologici incontrati, individuando cambiamenti composizionali che possano costituire dei *marker* stratigrafici e dunque fornire un elemento indipendente di correlazione tra i diversi sondaggi;

- verifica della corrispondenza dei cambiamenti composizionali osservati in sondaggio con i limiti di sequenza tettono-eustatici riconosciuti dall'analisi sedimentologica e stratigrafico-sequenziale, fornendo informazioni complementari indispensabili per chiarire il significato geologico e i cambiamenti di scenario paleogeografico corrispondenti a tali discordanze maggiori;

- comparazione delle segnature petrografiche e mineralogiche dei campioni di ciascun sondaggio con quelle dei sedimenti dei fiumi attuali per tentare di ricostruire nel tempo i cambiamenti nei paleodrenaggi e le geometrie dei corpi sabbiosi nel sottosuolo.

4.2.1. - Metodologia di campionamento e analisi

Sono stati scelti 25 campioni, così distribuiti sui quattro sondaggi: Peschiera Borromeo RL8 (5 campioni su 180 metri di sondaggio), Gaggiano RL9 (6 campioni su 150 m di sondaggio), Milano C.na Triulza RL10 (10 campioni su 100 m di sondaggio), Milano Parco Nord RL11 (4 campioni su 99 m di sondaggio).. Il lavoro analitico è stato svolto completamente all'oscuro delle relazioni stratigrafiche precedentemente elaborate, in modo da garantire la massima oggettività possibile dei risultati.

Tutti i campioni sono stati trattati e setacciati, in modo da eliminare le frazioni siltoso-argillose e ghiaiose, inadatte all'analisi petrografica

Per l'analisi petrografica sono state utilizzate le frazioni granulometriche da medie a grossolane (250-1000 μm) per i sondaggi di Peschiera Borromeo, Gaggiano, C.na Triulza e Parco Nord. Costituisce eccezione un campione del sondaggio Milano C.na Triulza (prelevato a 64,3 m di profondità) in cui, per scarsità o completa assenza delle frazioni medio-grossolane, si sono dovute analizzare anche o esclusivamente, le frazioni sabbiose molto fini e fini (63-250 μm). Tale effetto granulometrico è stato comunque considerato nell'interpretazione dei dati.

La frazione sabbiosa è stata poi impregnata con resine (araldite) e consolidata, per ottenere sezioni sottili adatte allo studio al microscopio. Le sezioni sottili sono state quindi trattate con coloranti organici (alizarina rossa) per aiutare la distinzione al microscopio tra calcite e dolomite.

Per ogni sezione sottile, al microscopio sono stati conteggiati 400 punti secondo il metodo Gazzi-Dickinson (GAZZI, 1966; DICKINSON, 1970; INGERSOLL *et alii*, 1984; ZUFFA, 1985). Per ricavare dall'analisi petrografica tutte le informazioni possibili è stata utilizzata una scheda di conteggio molto dettagliata, che riconosce quasi cento tra categorie e sub-categorie di granuli e consente di registrare anche le singole specie mineralogiche che costituiscono i frammenti di roccia a grana grossolana, consentendo così di ricalcolare parametri petrografici confrontabili a quelli ottenuti sia con il metodo di conteggio tradizionale sia con il metodo Gazzi-Dickinson, conciliando in tal modo ogni tipo di esigenza (e.g., DECKER & HELMOLD, 1985; SUTTNER & BASU, 1985).

Per non limitare l'analisi dei dati ai parametri canonici presi a tre a tre e plottati su diagrammi triangolari (e.g., DICKINSON, 1985; INGERSOLL *et alii*, 1984), l'individuazione degli intervalli petrologici e le diagnosi di provenienza sono state effettuate in base all'intera gamma dei dati ottenuti. Per ottenere una sintesi efficace e completa, invece dei tre parametri classici Q (quarzo), F (feldspati) e L (litici) è stato utilizzato uno spettro

esteso fino a diciotto parametri chiave (Tab. 24a, Qz= quarzo; KF= Kfeldspato; Pl= plagioclasio; Lvf= litici vulcanici e subvulcanici felsici; Lvm= litici vulcanici e subvulcanici intermedi e mafici; Lcc= litici calcitici; Lcd= litici dolomitici; Lp= litici pelitici terrigeni (argilliti, siltiti, arenarie molto fini); Lch= selce; Lms= litici metasedimentari di grado molto basso; Lmv= litici metavulcanici di grado molto basso; Lmf= litici metapelitici, metapsammitici e metafelsitici di grado più elevato; Lmb= litici metabasitici di grado più elevato; Lu= litici ultramafici (serpentino); Ms= muscovite; Bt= biotite;; &HM= altri minerali pesanti.

Tali indici sono indispensabili per discriminare tra i vari tipi di arenarie orogeniche, che contengono un'ampia gamma di frammenti litici (e.g., provenienze da *collision orogen*, *foreland uplift* e *subduction complex* di DICKINSON & SUCZEK, 1979). Oltre a questi parametri primari, si possono anche utilizzare parametri secondari, e cioè i rapporti Qp/Q (quarzo policristallino/quarzo totale), P/F (plagioclasio/totale feldspati), Rcd/Rc (frammenti di dolomie/totale frammenti di rocce carbonatiche), utile a discriminare gli apporti da rocce dolomitiche (diffuse nel Domino Sudalpino essenzialmente nel Triassico) e calcaree (predominanti nel Giurassico e nel Cretacico), il rapporto Rim/Ri (frammenti di rocce intrusive intermedie e mafiche/totale frammenti di rocce intrusive), il rapporto Rvm/Rv (frammenti di rocce vulcaniche intermedie e mafiche/totale frammenti di rocce vulcaniche), e il rapporto Rmb/Rm (frammenti di metabasiti/totale frammenti di rocce metamorfiche). Il rapporto P/F viene calcolato seguendo la logica Gazzi-Dickinson (contando quindi anche i feldspati presenti nei frammenti di roccia a grana grossolana). Gli altri rapporti sono invece calcolati con logica tradizionale, in modo da poter prendere in considerazione il maggior numero di granuli possibile e dunque ottenere dei rapporti significativi.

I dati ottenuti sono stati poi elaborati mediante l'uso di fogli elettronici standard per ricalcolare tutta la possibile gamma di parametri primari e secondari, opportuni per elaborare confronti con i dati modali dei sistemi fluviali attuali.

Confrontando ciascun intervallo petrologico individuato con la composizione attuale dei sedimenti trasportati dagli affluenti alpini del Po, è possibile verificare in chiave attualistica e indipendente le ipotesi formulate sulle modificazioni subite dalla rete idrografica nel tempo (per. es. migrazione dei paleoalvei) e sui rapporti tra idrografia ed evoluzione tettonica, climatica ed eustatica. Tali metodologie, messe a punto dall'Università di Milano-Bicocca, consentono di ottenere una notevole risoluzione, soprattutto se integrate dallo studio dei minerali a elevata densità ("pesanti"), nel discriminare tra le diverse provenienze del detrito orogenico (GARZANTI *et alii*, 2004).

Per la separazione dei minerali pesanti si è utilizzata, per tutti i campioni, la stessa frazione granulometrica molto fine e fine (63 - 250 μm), trattata con acido ossalico e acido acetico per eliminare rispettivamente ossidi di ferro e carbonati. I minerali pesanti sono stati concentrati per via gravimetrica mediante metatungstato di sodio. Almeno 200 minerali pesanti trasparenti per ciascun campione sono stati identificati e conteggiati utilizzando il metodo per campi (*ribbon counting*) o - nei campioni con maggiore scarsità di pesanti - contando tutti i granuli (*Flett method*) (PARFENOFF *et alii*, 1970; MANGE & MAURER, 1992).

Nella tabella 24b sono indicati il peso e la frequenza percentuale sul totale del sedimento sia per il totale dei minerali pesanti che per i soli minerali pesanti trasparenti; sono rappresentati anche alcuni indici utili per la diagnosi di provenienza (per es. HCI - *Hornblende Color Index* e MMI - *Metasedimentary Mineral Index* di GARZANTI & ANDÒ 2007a,b).

4.2.2. - Risultati

I quattro sondaggi Peschiera Borromeo RL8, Gaggiano RL9, Milano C.na Triulza RL10 e Milano Parco Nord RL11 mostrano una sostanziale omogeneità composizionale. Lo scheletro è costituito per metà di quarzo, con abbondanti plagioclasti, K-feldspati, e litici gneissici (metapsammiti e metafelsiti di rango elevato). Diffuse sono anche le miche (biotite prevalente sulla muscovite) e quasi sempre presente, seppure in piccole quantità, il serpentino (serpentinocisti metamorfici antigoritici). Le associazioni a minerali pesanti trasparenti, piuttosto ricche (tHM quasi sempre superiore a 3 e con picchi fino a 18), sono dominate da orneblenda blu-verde, epidoto e granato, associati a staurolite e più rare sillimanite fibrolitica, cianite o andalusite. Tale composizione mostra una dominante provenienza da rocce metamorfiche in facies anfibolitica, e dunque possibilmente un contributo prevalente dai sedimenti fluviali e proglaciali dell'Adda.

Le particolarità di ciascuno dei singoli sondaggi sono descritte nei quattro paragrafi successivi.

4.2.2.1. - Peschiera Borromeo RL8

Del sondaggio di Peschiera Borromeo sono stati analizzati 5 campioni (progressive 9,8, 51,8, 102,8, 124,2, 179,7 m), a composizione petrografica piuttosto uniforme. Le associazioni a minerali pesanti mostrano una notevole varietà in concentrazione (tHM da 1,6 a 12). I due campioni più antichi contengono un poco di andalusite. Gli anfiboli sembrano calare leggermente verso l'alto stratigrafico rispetto al granato.

4.2.2.2. - Gaggiano RL9

Del sondaggio di Gaggiano sono stati analizzati 6 campioni (progressive 19,4, 44,5, 69,7, 101,3, 117,3, 140,2 m). Il campione più giovane è più ricco in quarzo e K-feldspato e povero in litici. Le associazioni a minerali pesanti trasparenti (tHM da 1,6 a 18) mostrano anche qui una leggera tendenza alla diminuzione di orneblenda verso l'alto. Nei due campioni più giovani è presente cianite. Localmente diffusa la sillimanite fibrolitica.

4.2.2.3. - Milano C.na Triulza RL10

Del sondaggio Milano C.na Triulza sono stati analizzati 10 campioni (progressive 6,1, 20,5, 22,2, 38,5, 47,2, 57,0, 64,3, 69,5, 79,5, 99,3 m). La composizione è piuttosto monotona nella parte medio-bassa del sondaggio. I tre campioni più giovani contengono invece anche selce e litici vulcanici, indicando un maggior contributo dalla successione sudalpina. Litici vulcanici e rari litici carbonatici si trovano anche nel campione prelevato a 79,5 m. Le associazioni a minerali pesanti variano in concentrazione da tHMC 1,3 a 8, e non mostrano variazioni sistematiche in senso verticale.

Il campione 22,2 ha composizione anomala rispetto a tutti gli altri e mostra in modo evidente gli effetti della alterazione pedogenetica, con eliminazione selettiva di minerali instabili e concentrazione dei granuli più stabili (per es. selce). Il plagioclasio è del tutto assente, mentre l'associazione di minerali pesanti, parzialmente impoverita, include solo pochissimi anfiboli, mentre mancano del tutto i pirosseni, come pure, sorprendentemente, il granato. È invece dominante l'epidoto, associato a diffusa staurolite, fibrolite, tormalina, rutilo e brookite. La discordanza riconosciuta alla profondità 20,5 è dunque associata a un *gap* temporale significativo, con sviluppo di un importante profilo di alterazione.

4.2.2.4. - Milano Parco Nord RL11

Del sondaggio Milano Parco Nord sono stati analizzati 4 campioni (progressive 24,1, 43,4, 77,2, 96,6 m). Il campione 77,2 contiene significative quantità di litici calcarei e selce. Le concentrazioni di minerali pesanti trasparenti sono sensibilmente costanti (tHM 3,3 - 5,1), come costante è la presenza di staurolite e sillimanite fibrolitica. Nei due campioni più recenti tendono a crescere gli anfiboli, a spese del granato.

Tab. 24a - Petrografia delle sabbie.

Sondaggio	profondità da p.c. (m)	GSZ	Qz	KF	Pl	Lvf	Lvm	Lcc	Lcd	Lp	Lch	Lms	Lmv	Lmf	Lmb	Lu	Ms	Bt	HM	MI
Peschiera Borromeo Rl8	9.8	334	53.3	9.2	19.4	0.3	0.0	2.2	1.3	0.6	1.6	1.0	1.3	7.5	0.2	0.3	0.8	0.2	1.0	355
Peschiera Borromeo Rl8	51.8	370	50.9	4.3	16.5	0.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	2.2	16.6	0.5	0.3	2.8	2.8	0.6	357
Peschiera Borromeo Rl8	102.8	256	54.1	6.6	14.5	0.3	0.3	0.0	0.0	0.9	0.3	0.9	3.5	9.4	0.0	2.5	1.3	3.1	2.2	333
Peschiera Borromeo Rl8	124.2	334	53.7	8.0	17.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.9	11.3	0.9	2.5	0.8	1.4	2.1	380
Peschiera Borromeo Rl8	179.7	189	47.2	11.3	15.9	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	1.6	0.3	0.3	7.5	0.3	0.0	4.4	9.1	1.6	370
Gaggiano Rl9	19.4	228	63.6	16.6	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.9	387
Gaggiano Rl9	44.5	445	52.4	13.6	17.4	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.9	6.0	0.6	0.0	0.5	0.5	5.4	338
Gaggiano Rl9	69.7	287	48.9	5.2	16.8	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	1.6	2.9	17.3	0.8	0.0	2.3	2.6	1.0	347
Gaggiano Rl9	101.3	256	42.1	10.9	13.7	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.3	7.5	0.0	0.3	7.8	16.2	0.3	410
Gaggiano Rl9	117.3	244	49.4	11.7	15.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.6	11.6	0.5	3.5	0.8	1.7	2.2	365
Gaggiano Rl9	140.2	354	50.9	9.7	18.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.6	5.2	1.7	0.9	1.3	0.6	8.1	378
Milano C.na Triulza Rl10	6.1	177	54.8	5.6	11.2	8.1	9.3	0.0	0.0	0.0	3.7	1.6	0.9	2.2	0.3	0.0	0.0	0.0	2.2	109
Milano C.na Triulza Rl10	20.5	95	61.3	3.5	18.6	0.6	0.9	0.0	0.0	0.0	2.8	0.9	1.9	5.3	0.3	0.3	0.6	0.9	1.9	350

Sondaggio	profondità da p.c. (m)	GSZ	Qz	KF	PI	Lvf	Lvm	Lcc	Lcd	Lp	Lch	Lms	Lmv	Lmf	Lmb	Lu	Ms	Bt	HM	MI
Milano C.na Triulza RI10	22.2	60	58.9	4.3	0.3	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	1.5	2.8	9.5	0.0	0.3	2.1	12.0	0.0	314
Milano C.na Triulza RI10	38.5	489	55.0	3.2	18.9	0.4	0.8	0.0	0.0	0.3	0.3	3.4	0.0	13.6	1.1	0.3	0.5	0.8	1.3	358
Milano C.na Triulza RI10	47.2	315	55.6	5.2	17.6	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	2.4	8.8	0.6	0.9	0.8	3.5	0.6	326
Milano C.na Triulza RI10	57.0	406	49.7	6.6	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.3	13.8	0.3	0.9	2.7	5.8	3.1	380
Milano C.na Triulza RI10	64.3	79	42.2	8.7	14.5	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	8.4	0.6	1.5	7.8	9.9	5.1	351
Milano C.na Triulza RI10	69.5	445	50.2	10.0	11.9	1.1	0.4	0.0	0.3	0.0	1.3	1.3	1.6	11.8	0.5	1.9	2.4	3.3	2.2	337
Milano C.na Triulza RI10	79.5	244	47.3	6.3	12.5	2.5	1.9	0.6	0.0	0.0	0.0	1.9	0.5	10.9	0.1	0.0	5.7	9.8	0.0	305
Milano C.na Triulza RI10	99.3	281	53.7	12.7	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.5	0.6	8.3	0.0	0.6	0.8	5.7	0.0	367
Milano Parco Nord RI11	24.1	512	46.8	9.5	20.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.9	1.3	11.4	0.3	2.2	1.3	2.8	1.6	392
Milano Parco Nord RI11	43.4	239	51.3	7.2	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.9	12.0	0.2	1.3	1.9	4.1	3.1	383
Milano Parco Nord RI11	77.2	262	45.8	8.0	15.8	0.0	0.0	9.2	0.4	1.5	1.5	0.9	0.3	11.1	0.0	0.0	1.2	2.2	1.9	344
Milano Parco Nord RI11	96.6	185	52.2	12.8	15.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.6	9.4	0.3	1.6	1.1	2.3	3.1	376

Legenda alla tabella.24a: GRZ= dimensione dei grani; Qz= quarzo; KF= Kfeldspato; Pl= plagioclasio; Lv= litici vulcanici e subvulcanici felsici; Lvm= litici vulcanici e subvulcanici intermedi e mafici; Lcc= litici calcitici; Lcd= litici dolomitici; Lp= litici pelitici terrigeni (argilliti, siltiti, arenarie molto fini); Lch= selce; Lms= litici metasedimentari di grado molto basso; Lmv= litici metavulcanici di grado molto basso; Lmf= litici metapelitici, metapsammitici e metafelsitici di grado più elevato; Lmb= litici metabasitici di grado più elevato; Lu= litici ultramafici (serpentino); Ms= muscovite; Bt= biotite; &HM= altri minerali pesanti, MI= Indice Metamorfico (GARZANTI & VEZZOLI, 2003).

Tab. 24b - Minerali pesanti nelle sabbie.

Sondaggio	profondità da p.c. (m)	GSZ	HM %w	tHM %w	% tra	% op	% turb	Zrn	Tur	Rt	Ttn	TiOx	Hb	NaA	&A	Cpx	Hy	Ep	Clid	Grt	St	And	Ky	Sl	&	HCL	MMI
Peschiera Borromeo Rl8	9.8	33 4	6.7	4.7	71	7	22	0	0	0	2	0	35	0	10	0	1	20	0	26	3	0	0	0	1	22	35
Peschiera Borromeo Rl8	51.8	37 0	2.2	1.6	73	7	19	0	2	0	1	1	39	0	6	1	0	24	0	22	2	0	0	0	1	2	n.d. .
Peschiera Borromeo Rl8	102.8	25 6	7.7	5.5	72	6	22	0	0	1	2	0	42	0	4	3	0	16	0	24	4	1	1	1	1	7	49
Peschiera Borromeo Rl8	124.2	33 4	16. 2	12. 2	75	6	18	0	0	1	1	0	41	0	14	1	0	20	0	18	2	2	0	0	0	9	42
Peschiera Borromeo Rl8	179.7	18 9	4.1	3.0	74	5	21	0	3	1	1	0	40	0	9	2	0	22	0	17	2	2	1	0	0	5	52
Gaggiano Rl9	19.4	22 8	8.9	7.7	86	5	9	0	0	1	2	0	35	0	3	1	0	24	0	28	1	0	3	2	0	8	69
Gaggiano Rl9	44.5	44 5	10. 3	7.7	74	11	14	1	0	0	1	0	37	0	3	0	0	16	0	36	2	0	3	0	0	17	58
Gaggiano Rl9	69.7	28 7	6.0	4.0	67	5	28	0	2	1	1	0	39	0	6	0	0	26	0	12	5	0	0	7	0	12	74
Gaggiano Rl9	101.3	25 6	2.0	1.6	76	5	19	0	0	0	1	0	30	0	6	1	0	24	0	36	0	0	0	2	0	16	n.d. .
Gaggiano Rl9	117.3	24 4	11. 0	8.3	76	4	20	0	0	1	2	0	42	0	0	0	0	25	0	26	0	0	0	3	0	18	10 0
Gaggiano Rl9	140.2	35 4	20. 7	18. 1	87	6	6	0	0	0	2	0	48	0	6	0	0	31	0	10	0	0	0	1	0	7	n.d. .
Milano Triulza Rl10	6.1	17 7	4.1	2.9	70	6	24	1	1	1	0	0	31	0	2	1	0	23	0	30	8	0	0	1	0	7	44

Sondaggio	profondità da p.c. (m)	GSZ	HM %w	tHM %w	% tra	% op	% turb	Zrn	Tur	Rt	Tm	TiOx	Hb	NaA	&A	Cpx	Hy	Ep	Cld	Grt	St	And	Ky	Sl	&	HCL	MMI
Milano Triulza RI10	20.5	95	5.4	3.8	70	5	25	0	0	1	1	1	45	0	5	0	0	33	0	5	3	4	0	2	0	13	54
Milano Triulza RI10	22.2	60	2.4	2.0	82	8	10	0	6	3	0	2	2	2	5	0	0	63	0	0	11	1	1	6	0	n.d.	57
Milano Triulza RI10	38.5	48 9	9.4	6.1	64	17	19	0	2	2	3	3	28	0	1	0	0	33	0	15	10	0	1	2	0	20	46
Milano Triulza RI10	47.2	31 5	4.0	3.0	74	4	21	0	1	1	3	1	40	0	4	1	0	24	0	6	6	0	0	10	1	11	74
Milano Triulza RI10	57.0	40 6	11. 4	8.2	72	10	17	0	2	0	0	0	22	0	0	1	0	13	0	37	21	0	0	2	0	8	40
Milano Triulza RI10	64.3	79	6.7	5.4	80	5	15	0	2	1	1	2	34	0	5	0	0	22	0	26	3	1	0	2	0	4	56
Milano Triulza RI10	69.5	44 5	10. 7	6.4	60	10	31	1	2	0	1	1	34	0	8	0	0	36	0	6	8	1	1	3	0	12	50
Milano Triulza RI10	79.5	24 4	1.9	1.3	70	7	23	0	3	1	1	4	27	0	0	1	0	23	0	20	10	1	5	6	1	7	59
Milano Triulza RI10	99.3	28 1	6.9	5.8	83	2	15	0	1	0	1	1	33	0	3	0	0	24	0	25	7	0	0	3	0	9	53
Milano Parco Nord RI11	24.1	51 2	6.6	5.1	78	4	18	0	1	0	0	0	43	0	8	1	0	26	0	15	2	0	0	2	0	12	67
Milano Parco Nord RI11	43.4	23 9	4.7	3.3	71	7	22	1	0	0	1	1	38	0	8	1	0	29	0	9	9	0	0	3	0	2	49
Milano Parco Nord RI11	77.2	26 2	5.9	4.9	83	4	14	0	1	3	0	0	40	0	3	0	0	17	0	24	7	0	0	6	0	8	64
Milano Parco Nord RI11	96.6	18 5	4.9	4.0	81	4	15	0	0	1	0	0	40	0	4	1	0	25	0	25	0	0	1	2	0	3	83

Legenda alla tabella 24b - GSZ= dimensione dei grani, HM%w e tHM%w= percentuale di minerali pesanti e di minerali pesanti trasparenti in peso, %tra, %op, %turb = percentuale di minerali pesanti trasparenti, opachi e torbidi, Zrn= zirconio, Tur= tormalina; Rt= rutilo; Ttn= titanite; TiOx= aghi di sagenite, brookite, anatasio; Hb= orneblenda; NaA= anfibi sodici; &A= altri anfibi; Cpx= clinopirosseno; Hy= hypersthene; Ep= epidoti (zoisite, clinozoisite, allanite, piemontite), Cld= cloritoide; Grt= granato, St= staurolite, And= andalusite; Ky= cianite, Sil= sillimanite; &= altri minerali pesanti (principalmente apatite), HCI= hornblende-color index (GARZANTI et alii, 2004), MMI= Metasedimentary Minerals Index (media pesata con peso 0 per cloritoide, 1/3 per staurolite, 1/2 per andalusite, 2/3 per cianite, 1 per sillimanite di GARZANTI & ANDÒ, 2007a,b); n.d.= non determinato.

5. - INDAGINI SISMICHE IN FORO

A completamento della perforazione dei sondaggi realizzati per il progetto CARG (RL8, 9, 10, 11) è stata eseguita della sismica in foro con il metodo *down-hole*, fino ad una profondità di 50 m. Questo metodo viene utilizzato per misurare le velocità delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s), che si propagano nel terreno in seguito ad una energizzazione superficiale realizzata tramite una massa battente.

L'interpretazione dei dati ha permesso di definire alcuni intervalli in base al parametro di velocità sismica. Nella tabella 25 vengono evidenziate tali suddivisioni per ogni sondaggio, attribuendo ad ogni strato un valore di velocità medio per le onde di compressione (V_p) e per le onde di taglio (V_s).

Tab. 25 - Velocità medie di propagazione delle onde P ed S per orizzonti ricavate dalle prove Down Hole eseguite nei sondaggi CARG del Foglio 118–Milano.

Sondaggio Milano Cascina Triulza - RL 10

Profondità m da p.c.		Velocità sismica onde P (m/sec)	Velocità sismica onde S (m/sec)
da m	a m		
0.0	4.5	360	180
4.5	7.0	540	200
7.0	9.0	920	260
9.0	14.5	1250	440
14.5	21.0	1800	780
21.0	23.5	2020	800
23.5	32.5	2090	830
32.5	38.0	1970	800
38.0	44.0	2500	915
44.0	50.0	2300	895

Sondaggio Milano Parco Nord - RL 11

Profondità m da p.c.		Velocità sismica onde P (m/sec)	Velocità sismica onde S (m/sec)
da m	a m		
0.0	4.0	430	200
4.0	6.5	690	280

6.5	13.0	1210	420
13.0	17.5	1520	525
17.5	24.5	1680	590
24.5	30.0	1580	700
30.0	34.5	1640	760
34.5	44.0	1800	790
44.0	46.0	2400	850
46.0	50.0	2730	950

Sondaggio Gaggiano - RL 9

Profondità m da p.c.		Velocità sismica onde P (m/sec)	Velocità sismica onde S (m/sec)
da m	a m		
0.0	2.0	360	180
2.0	5.5	540	200
5.5	7.5	920	260
7.5	12.0	1250	440
12.0	19.0	1800	780
19.0	28.5	2020	800
28.5	37.0	2090	830
37.0	42.0	1970	800
42.0	47.0	2500	915
47.0	50.0	2300	895

Sondaggio Peschiera Borromeo - RL 8

Profondità m da p.c.		Velocità sismica onde P (m/sec)	Velocità sismica onde S (m/sec)
da m	a m		
0.0	4.0	445	200
4.0	9.0	830	270
9.0	12.5	1230	330
12.5	21.5	1400	400
21.5	24.0	1750	430
24.0	28.0	1520	400
28.0	30.5	1800	500
30.5	40.5	2050	770
40.5	44.0	2220	850
44.0	48.0	1830	800
48.0	50.0	2200	945

I valori di velocità medie di propagazione delle onde P ed S dei diversi orizzonti (cfr. Tab. 25) sono rappresentati graficamente a fianco delle colonne stratigrafiche dei sondaggi nell'Appendice 2.1

XII. APPENDICE 3 - ANALISI GEOSTATISTICHE DEI DATI IDROGEOLOGICI

Durante la fase di elaborazione dei dati idrogeologici, al fine di procedere alla redazione della relativa cartografia, è stato necessario interpolare l'informazione disponibile in forma discreta in alcune localizzazioni dello spazio, tramite analisi geostatistiche. Questo tipo di analisi risulta di fondamentale interesse sia per riconoscere l'affidabilità del *set* di dati a disposizione nel rappresentare le grandezze idrogeologiche, sia per riconoscere zone in cui è necessario inserire nuovi punti di indagine per diminuirne l'incertezza.

In sintesi, l'analisi geostatistica si è articolata attraverso le seguenti fasi:

- organizzazione dei dati grezzi disponibili;
- analisi statistica dei dati, in termini di comportamento e caratteristiche medie, con individuazione di eventuali valori anomali;
- analisi strutturale della variabile tramite la stima del variogramma sperimentale per l'identificazione del modello di comportamento spaziale della variabile stessa;
- ricerca di un modello teorico per descrivere tale correlazione spaziale;
- stima della variabile nelle localizzazioni non campionate con il metodo di interpolazione stocastica (*kriging*);
- costruzione di carte di isovalore.

1. - DISTRIBUZIONE DEI DATI

Per quanto riguarda, in particolare, l'andamento dei livelli acquiferi, la distribuzione dei dati a disposizione (circa 360 per il II Acquifero e oltre 1000 per il I Acquifero) risulta essere a *cluster* e presenta caratteri di uniformità (verificata tramite Test del χ^2) solo considerando una griglia avente dimensioni 10x10km (Fig. 71a,b). Vista l'estensione del dominio di studio, il campione dei dati a disposizione appare incompleto, ma la sua numerosità lo rende significativo ai fini di un'analisi statistica. L'analisi statistica preliminare dei dati ha evidenziato la presenza di valori anomali, spesso derivanti da errori di misura o di trascrizione, fuori scala, ecc.; quando è stato possibile, gli errori sono stati corretti; altrimenti se ne è demandata la spiegazione (o l'eventuale esclusione) alla fase di analisi spaziale.

2. - COSTRUZIONE DELL'ESTIMATORE

Per le variabili aventi una maggiore numerosità del campione ed una sua più uniforme distribuzione, l'analisi strutturale sembra suggerire una sorta di bimodalità, evidenziata dalla presenza di due diverse strutture sovrapposte; tale struttura spaziale è probabilmente dovuta alla contemporaneità di due (o più) fenomeni che incidono sulla variabile in esame.

A titolo di esempio si riporta il variogramma relativo alla base del II Acquifero (o Acquifero Tradizionale) (Fig. 72), che evidenzia un andamento complessivamente lineare, tipico di una variabile regionalizzata continua quale è quella in esame e della presenza di un *trend*. Se poi si analizzano con maggiore dettaglio gli andamenti locali, si rileva la presenza di strutture sovrapposte, ciascuna caratterizzata da una propria scala (Fig. 73).

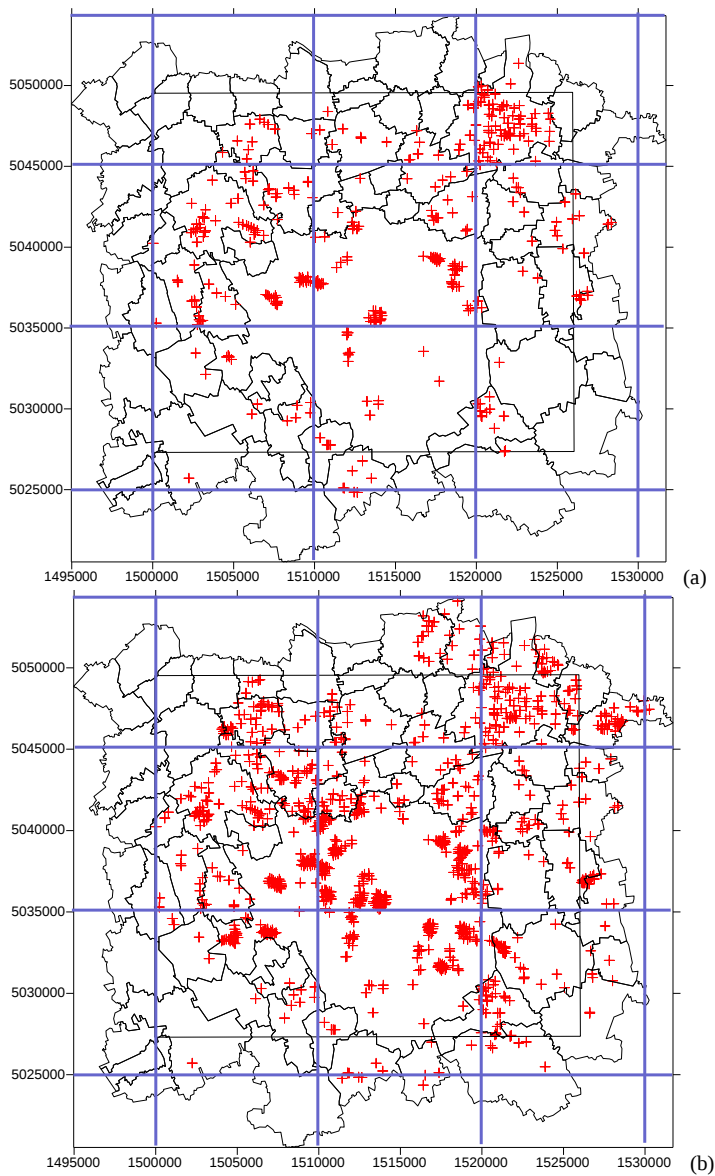


Fig. 71 - Distribuzione dei dati per la base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale) (a) e per quella del I Acquifero (b). In blu è evidenziata la griglia per la quale il Test del χ^2 ha evidenziato caratteri di uniformità.

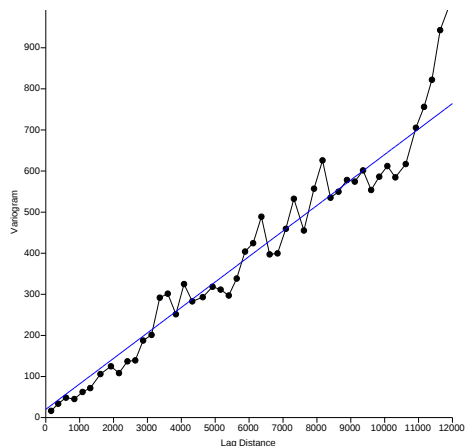
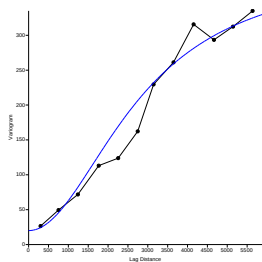
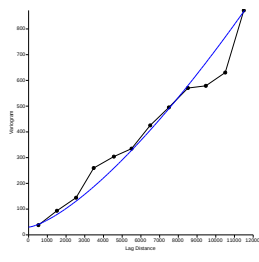


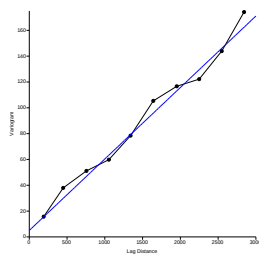
Fig. 72- Variogramma sperimentale (in nero) e modello di variogramma lineare (in azzurro) che interpola la variabile regionalizzata "base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale).



(a)



(b)



.. (c)

Fig. 73- Modelli di variogrammi della "base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale)" a diverse scale: (a) origine (lag=3km), (b) scala intermedia (lag=6km) e (c) infinito (lag=12km).

La possibilità di individuare le singole strutture di una variabile complessa deriva dalla notevole numerosità del campione di dati a disposizione e dal grado di dettaglio che questo è in grado di offrire. In genere, al diminuire della numerosità del campione di dati (a parità di uniformità nella distribuzione) il variogramma assume un andamento decisamente parabolico (Fig. 74); in relazione alla struttura della variabile, ciò rispecchia una netta preponderanza del *trend* su tutte le altre componenti precedentemente evidenziate. Le differenze osservate nell'estimatore trovano un riscontro nei risultati dell'interpolazione (Figg. 75 e 76).

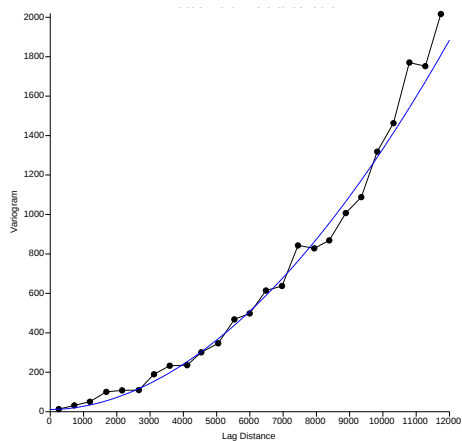


Fig. 74 - Variogramma sperimentale (in nero) e relativo modello teorico (in azzurro) della variabile regionalizzata "base del II Gruppo Acquifero (Acquifero Tradizionale)" relativo ai dati caratterizzati da una maggiore affidabilità (circa 200 dei 360 totali).

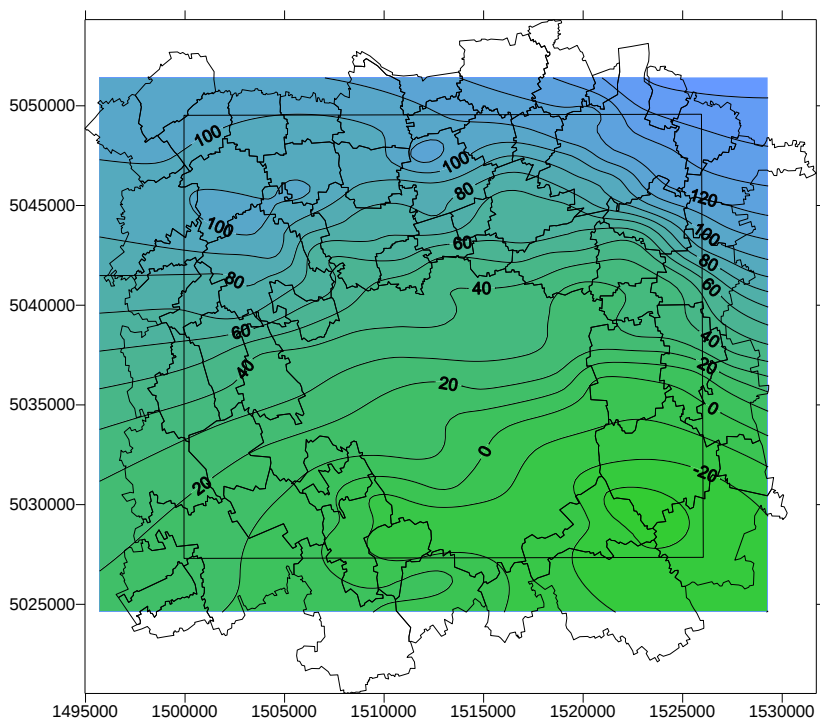
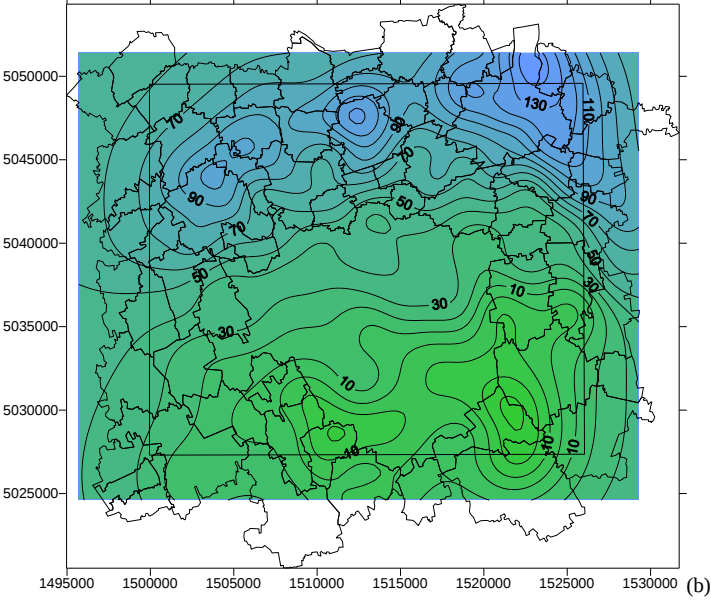
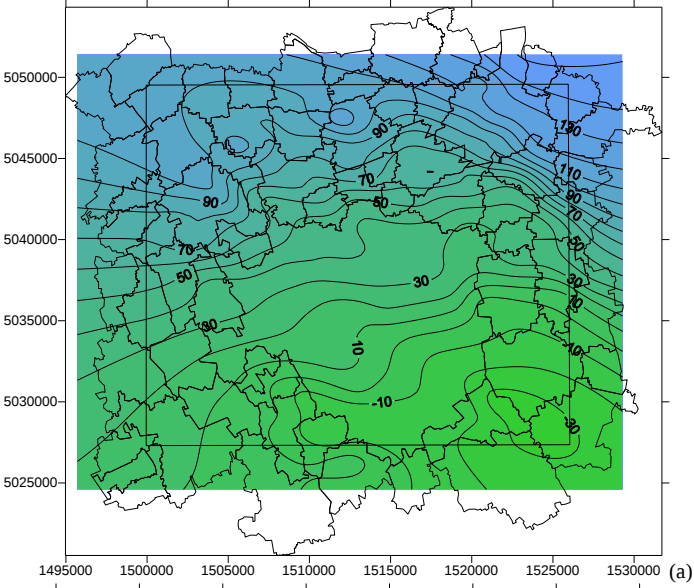


Fig. 75 - Carta della base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale)(in m s.l.m.) ricostruita sulla base di circa 200 dati aventi ottima affidabilità.



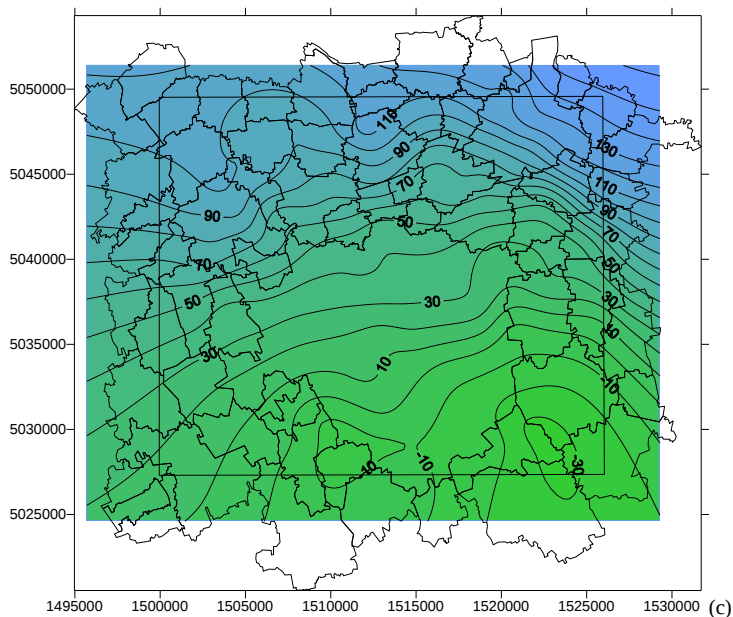


Fig. 76 - Risultati dell'interpolazione sui dati relativi alla base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale) coi diversi modelli di variogramma (Fig. 73).

Analogamente, si sono elaborati i dati relativi alla base del I Acquifero; grazie alla numerosità del campione a disposizione, è stato possibile individuare ancora più chiaramente nel variogramma sperimentale (Fig. 77) varie componenti corrispondenti a diversi modelli teorici:

- all'origine ($\text{lag}=800\text{m}$) il variogramma è di tipo lineare (Fig. 78a), in ragione del carattere continuo della variabile in studio;
- all'infinito il variogramma è di tipo parabolico (Fig. 78c), a testimonianza dell'esistenza di un *trend*;
- ad una scala intermedia ($\text{lag}=3\text{km}$) il variogramma evidenzia un andamento di tipo sferico (Fig. 78b).

Per la realizzazione della cartografia relativa alle basi del I e II Acquifero (Acquifero Tradizionale) riportata nella Cartografia di sottosuolo del Foglio 118-Milano, l'interpolazione dei dati è stata effettuata utilizzando l'estimatore all'infinito, in grado di riprodurre l'andamento complessivo della variabile in esame.

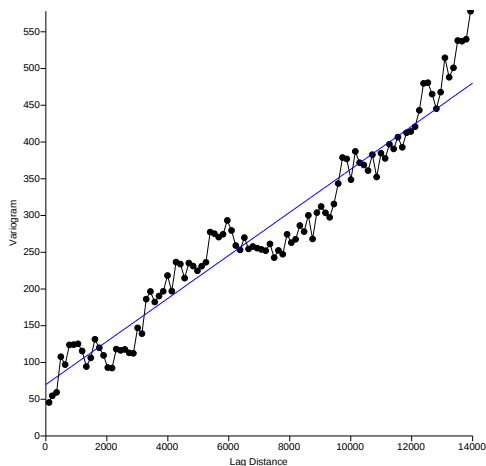


Fig. 77 - Variogramma sperimentale (in nero) e modello di variogramma lineare (in azzurro) che interpola la variabile regionalizzata "base del I Acquifero".

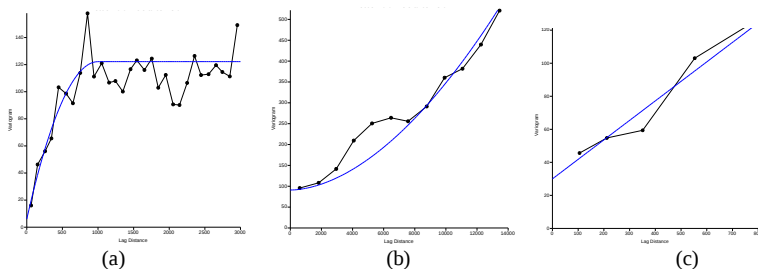


Fig. 78 - Modelli di variogrammi della "base del I Gruppo Acquifero" a diverse scale: (a) origine (lag=800m), (b) scala intermedia (lag=3km) e (c) infinito.

3. - DEDUZIONI CIRCA LA STRUTTURA SPAZIALE DELLA VARIABILE "BASE DEL I ACQUIFERO"

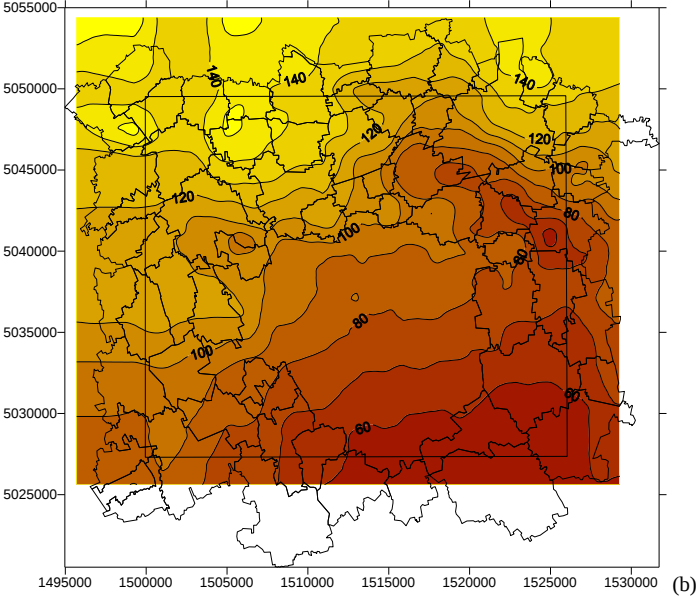
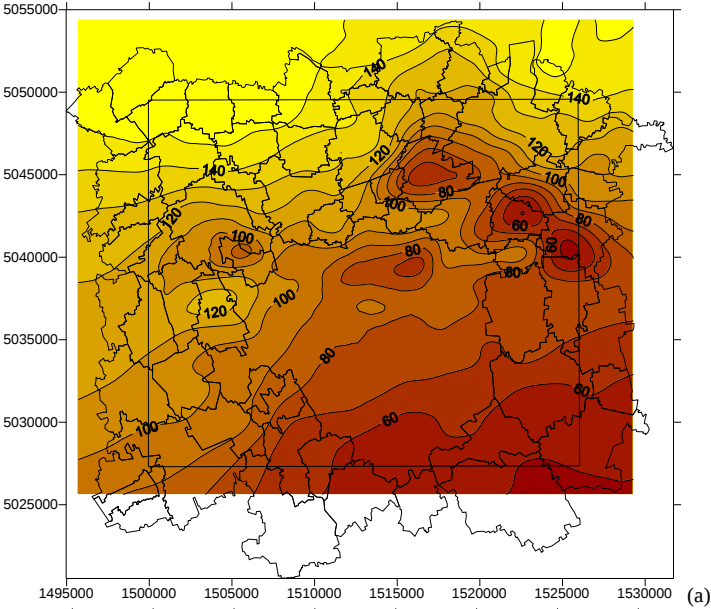
L'analisi delle diverse componenti del variogramma consente di ricavare interessanti informazioni circa la struttura geologica e idrogeologica dell'area.

Innanzitutto, il fatto che l'andamento del variogramma all'origine, seppure lineare, presenti un effetto pepita (Fig. 78a) ci fornisce una indicazione circa l'errore di stima della grandezza in esame; trattandosi di dati campionari di una variabile continua, la variabilità su piccole distanze non viene rappresentata in modo completo; infatti, le reti di monitoraggio (o di campionamento) presentano necessariamente una distanza di campionamento minima ed alcuni effetti locali possono non essere evidenziati alla scala di osservazione del campione (Fig. 79a). L'estimatore

parabolico (andamento all'infinito, Fig. 78c) consente invece di ricostruire con una buona continuità il *trend* della variabile (Fig. 79c), perdendo però parte dell'informazione circa la variabilità locale della struttura. Di notevole interesse, inoltre, è il modello sferico evidenziato ad una scala intermedia (Fig. 78b), dove al *trend* primario già evidenziato dal modello parabolico si vanno a sommare i *trend* secondari, indicativi della presenza di particolari strutture geologiche, quali nel caso specifico i paleoalvei (Fig. 79b).

Le interpolazioni che si ottengono con i diversi estimatori (Fig. 79) presentano quindi differenze piuttosto rilevanti, che consentono di ricavare informazioni di un certo interesse circa la struttura che si sta indagando. In particolare, confrontando l'interpolazione all'infinito con quella all'origine (Fig. 80a) si riescono ad individuare quei settori del territorio dove gli errori di stima connessi alla variabilità locale della grandezza in esame o dalla mancanza di dati rendono necessaria l'esecuzione di ulteriori indagini, arricchendo così i dati di campionamento.

Nel confronto tra interpolatore all'infinito ed a scala intermedia, al suddetto errore di campionamento si va a sommare quello connesso alla presenza di una struttura secondaria della variabile regionalizzata. In tal modo, si evidenziano efficacemente le zone “di alto” e “di basso” (Fig. 80b) della base dell'acquifero; tali zone sono riconducibili, per esempio, alla presenza di paleoalvei (i bassi) ed interfluvi (gli alti) e costituiscono, evidentemente, un elemento di fondamentale importanza per la ricostruzione del modello idrogeologico del sottosuolo, soprattutto ai fini applicativi.



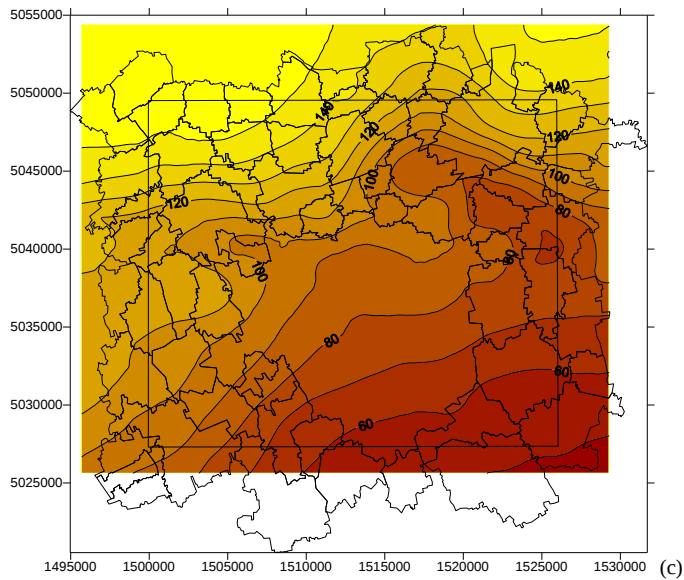


Fig. 79 - Risultati dell'interpolazione sui dati relativi alla base del I Acquifero coi diversi modelli di variogramma (Fig. 78).

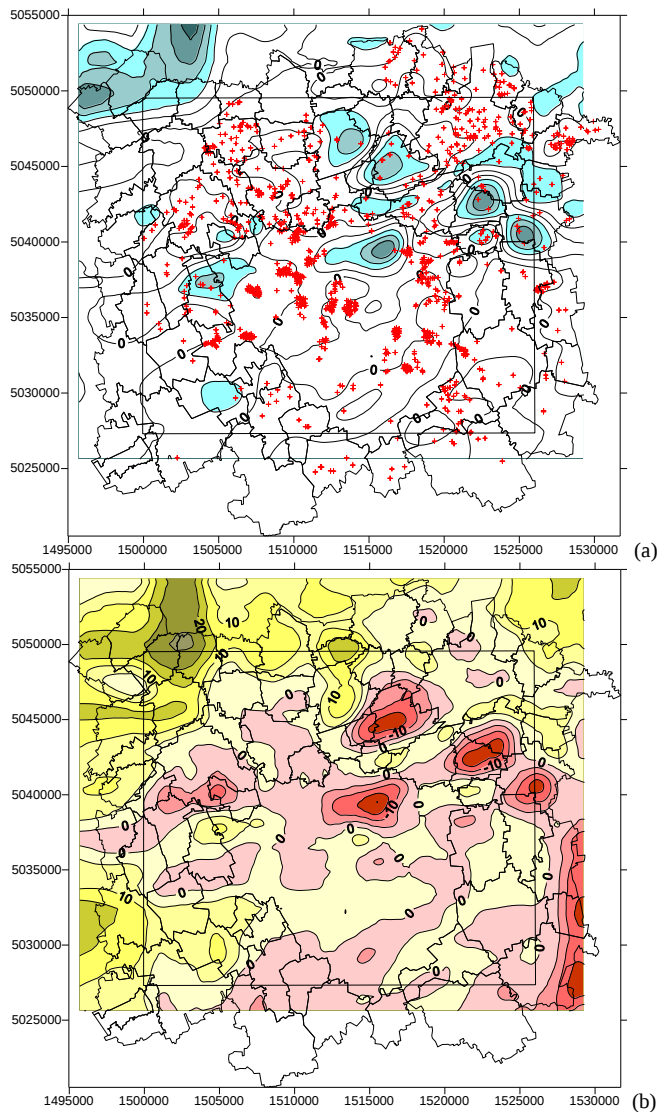


Fig. 80 - (a) In azzurro sono evidenziate le aree nelle quali sarebbe necessario disporre di ulteriori dati ai fini di ridurre l'errore di stima (espresso in m) commesso nell'interpolazione; (b) In giallo e rosso sono evidenziati, rispettivamente, gli alti ed i bassi della base dell'acquifero individuati a partire dal confronto tra interpolazione con estimatore parabolico (all'infinito) ed interpolazione con estimatore sferico.

XIII. APPENDICE 4 –ACQUISIZIONE DI UNA LINEA SISMICA AD ALTA RISOLUZIONE NELL’AREA URBANA DI MILANO: L’ESPERIMENTO IN BOSCO IN CITTÀ

Nella realizzazione dei fogli geologici in aree urbane uno dei problemi è costituito dal reperimento di informazioni geologiche, sia di superficie sia di sottosuolo, che risulta essere spesso molto difficoltoso a causa dell’interazione antropica. Le informazioni normalmente disponibili sono derivate da perforazioni (spesso pozzi a distruzione o più raramente sondaggi) o scavi di piccola profondità, disomogenei ed eseguiti a scopo ingegneristico e/o idrico.

Uno dei metodi che può essere utilizzato per la ricostruzione delle strutture geologiche del sottosuolo in aree urbane è rappresentato dalle prospezioni geofisiche ad alta risoluzione (DE FRANCO *et alii*, 2009). L’uso estensivo di questi metodi (e di conseguenza la qualità dei risultati ottenibili) può essere reso complesso da rumore ambientale, problemi di accesso alle aree e limiti all’utilizzo delle sorgenti, che devono avere basso impatto ambientale. L’esplorazione geofisica in aree urbane, a scopo di esplorazione profonda, non è usuale; ad esempio, nell’area di Milano uno studio geofisico a relativamente bassa profondità è stato realizzato nell’area del Parco Lambro da FRANCESE *et alii* (2005). I parchi delle aree urbane metropolitane possono costituire una importante “finestra” attraverso cui è possibile esplorare il sottosuolo. Essi infatti generalmente presentano la caratteristica di aver subito nel corso della storia una bassa interazione antropica preservando così, sin dai primi metri, le caratteristiche

geologiche ed ambientali frutto dell'evoluzione dei processi che si sono instaurati nel tempo in tali aree.

Nell'ambito del rilevamento del Foglio 118-Milano, un esperimento sismico per valutare la fattibilità logistica, riducendo al minimo l'impatto ambientale della prospezione, e studiare e dimensionare i parametri di acquisizione ottimali in aree urbane è stato effettuato nel marzo 2004 dall'Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali del CNR a Bosco in Città. Si tratta di un parco situato nella periferia occidentale di Milano all'interno del quale si trova una stazione di pompaggio idrico costituita da una rete di 22 pozzi di profondità variabile tra 90 e 200 m circa.

La linea sismica si estendeva per 710 m con direzione NNO-SSE e corrispondeva al massimo allineamento di pozzi (Fig. 81).

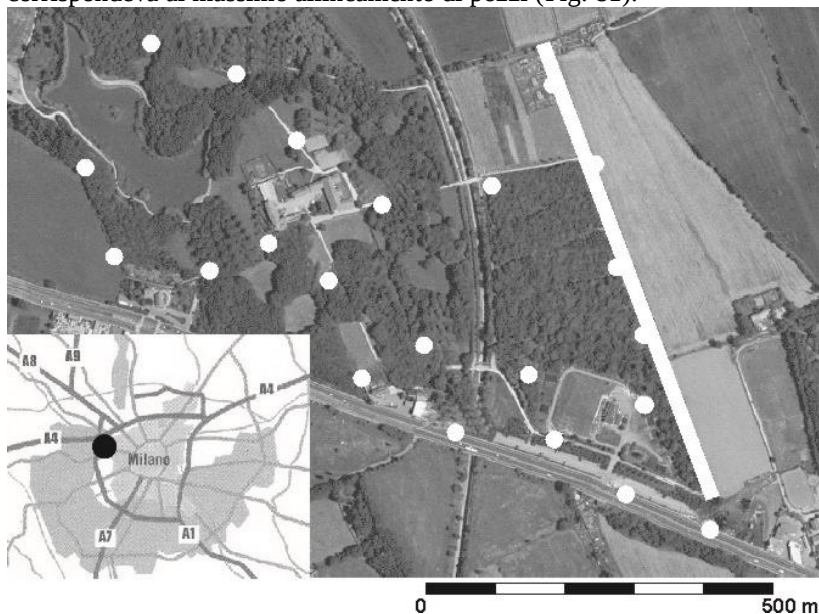


Fig. 81 – Mappa di posizionamento della linea sismica. I cerchi bianchi indicano i pozzi presenti nell'area di indagine.

Per l'acquisizione della linea sismica sono state utilizzate spaziature diverse di sorgenti e geofoni: la prima parte della linea (48 canali) è stata acquisita utilizzando una spaziatura dei geofoni di 5 m e come acquisitore un sistema digitale Geometrics Geode/Stratavisor NZ con dinamica a 24 bit; la seconda (48 canali) con spaziatura dei geofoni 10 m e come acquisitore un sistema digitale Geometrics Strataview a 20 bit. La spaziatura delle sorgenti è stata rispettivamente di 2,5 m per la prima e 5 m per la seconda parte della linea. I dati sono stati acquisiti con frequenza

di campionamento di 1 ms e lunghezza di registrazione di 1.024 s per entrambi i sistemi. La sincronizzazione dei due acquisitori e della sorgente è stata garantita da un geofono *trigger* posizionato alla sorgente e collegato via cavo agli acquisitori. La geometria di acquisizione è stata effettuata con cavo fisso esteso per acquisire sia il campo d'onda riflesso a piccolo e grande angolo sia quello rifratto. Ogni punto di registrazione era costituito da due geofoni verticali con frequenza propria di 14 Hz.

Come sorgente si è utilizzato un sistema idraulico a mazza battente ‘*minipulse*’ con energia tale da consentire registrazioni fino a 1200 m di distanza. Una sequenza di 5-10 energizzazioni per ogni punto sorgente e una procedura di *stack* manuale con selezione delle singole energizzazioni ha consentito l’acquisizione dei dati, con un buon rapporto segnale/disturbo.

I dati acquisiti sono stati processati utilizzando procedure standard sia a riflessione che a rifrazione. Il *processing* dei dati a riflessione è stato effettuato utilizzando i programmi di *processing* sismico PROMAX e Visual SUNT 7 ed è consistito nel filtraggio dei singoli CDP (*Common Depth Point*) con applicazione di filtri passa banda la cui banda (35-45/105-125 Hz) è stata scelta dopo l’analisi spettrale. In seguito sono stati attenuati gli effetti del colpo in aria e del *ground roll* con l’applicazione di filtri FK. È stato successivamente applicato il *mute* manuale degli arrivi rifratti e un AGC (*Automatic Gain Control*) con operatore di 200 ms. Lungo la linea si è effettuata l’analisi di velocità mediante *semblance* con passo di 25 CDP e infine è stata applicata una statica residuale previa correzione di NMO (tempo di spostamento d’onda). La sezione *stack* finale in tempi è stata convertita in profondità usando il campo di velocità di *stack*.

Entrambe le porzioni di linea (Fig. 82), campionate con diverse geometrie sperimentali, appaiono ben risolte. Gli eventi principali sono ben riconoscibili lungo tutta la linea e fino a 1s TWT (*Two Way Time*). Come atteso, si osserva una diminuzione della risoluzione sismo-stratigrafica nella parte con spaziatura dei geofoni 10 m. Sono presenti chiari eventi riflessi tra la superficie e circa 1,0 s TWT: tra questi i più evidenti e caratterizzati da una chiara continuità laterale lungo tutta la linea sono quelli a 60 ms, 110 ms, 210 ms e 950 ms (rispettivamente circa 33 m, 90 m, 190 m e 900 m di profondità - Fig.82).

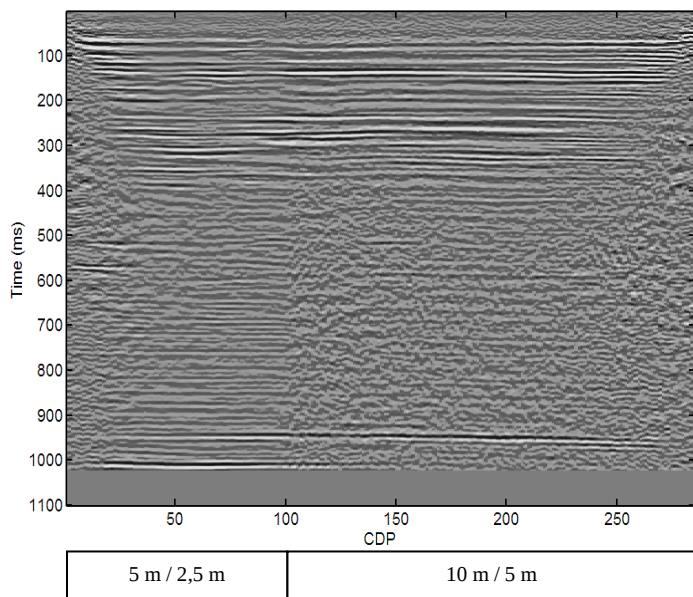


Fig. 82 – Sezione sismica in tempi a due vie composta. Si osservi la diversa risoluzione sismo stratigrafica in funzione dei parametri geometrici di acquisizione a destra e a sinistra del CDP 100. I valori riportati in basso per le due parti si riferiscono rispettivamente alla spaziatura geofonica e a quella di energizzazione.

I risultati del *processing* del dato sismico a riflessione sono stati inoltre integrati con quelli derivanti dal *processing* dei dati a rifrazione: il modello a rifrazione ottenuto non permette tuttavia di investigare profondità maggiori di 50 m e quindi l'analisi dei dati rifratti ha permesso la ricostruzione dell'immagine a rifrazione (DE FRANCO, 2005) solo di un chiaro evento riflesso a 60 ms TWT, che corrisponde al primo evento individuato dalla riflessione (c.a. 30 m di profondità).

La risoluzione dell'immagine sismica ha consentito un'interpretazione sismo-stratigrafica, correlata alle stratigrafie dei pozzi presenti lungo lo stendimento (Fig. 83) che raggiungono la profondità massima di circa 200 m. In generale si osserva una buona continuità dei principali eventi riflessi in concomitanza di strati attribuibili ad argille o intercalazioni di esse a strati sabbiosi.

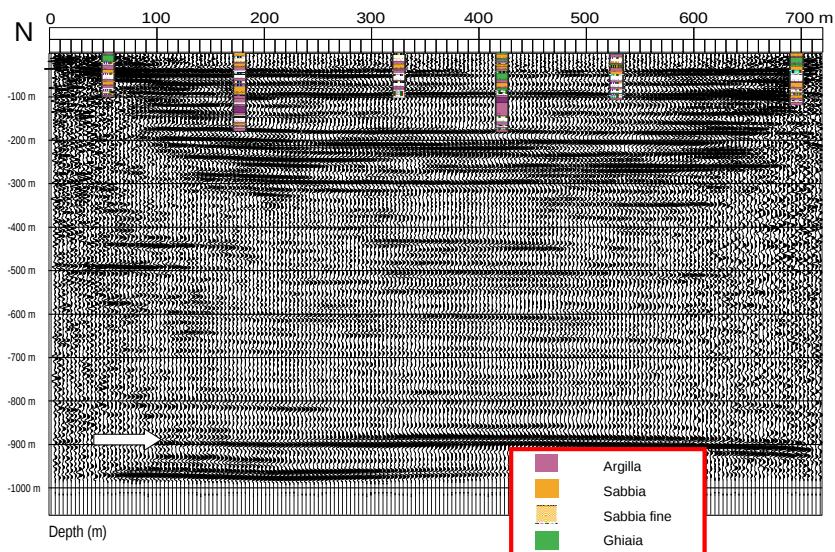


Fig. 83 – Sezione sismica in profondità e stratigrafie dei pozzi lungo la linea. La freccia indica l'evento riflesso riferibile ai livelli ghiaiosi alla base dell'unità PLMa (Gelasiano).

L'analisi della linea sismica integrata con i dati di pozzo ha permesso di ricostruire la geometria delle superfici presenti nello spessore investigato. La caratteristica principale delle superfici riconoscibili nei primi 1000 metri è la notevole continuità laterale. Le superfici attraversano l'intera linea sismica e non sono visibili superfici erosionali significative. Nella parte superficiale, dove sono presenti numerosi pozzi, è possibile osservare come i riflettori siano dati da passaggi tra sedimenti argillosi e facies arenacee in corrispondenza del tetto di cicli *fining upward*, che caratterizzano generalmente i primi 100 m del sottosuolo di Milano.

Questa geometria suggerisce una successione di eventi in un contesto di episodi sedimentari successivi, senza evidenti momenti di erosione. La variazione delle facies sismiche nelle aree comprese tra le diverse superfici è generalmente limitata, sufficientemente vincolata dai dati ottenuti dalle stratigrafie dei pozzi. Le variazioni di facies più evidenti sono presenti tra le superfici ubicate a 90 e 190 metri. In questo intervallo sono disponibili solo due stratigrafie di pozzi dalle quali si evince un aumento della componente argillosa verso la parte centrale della linea sismica, dovuto alla chiusura di livelli arenacei presenti nel settore settentrionale.

L'esperimento di Bosco in Città ha quindi permesso di verificare la fattibilità operativa delle indagini sismiche in aree metropolitane, anche grazie all'uso di una sorgente sismica a basso impatto ambientale.

L'interpretazione dei profili sismici ha inoltre evidenziato la possibilità di indagare il sottosuolo fino a 1000 m di profondità, con stendimenti di lunghezza limitata e consente di avere informazioni sui depositi neogenico-quadernari fino, in questo caso, almeno alla discontinuità gelasiana. La qualità dei dati ha inoltre evidenziato la possibilità di ottenere informazioni ad alta risoluzione sulle geometrie dei corpi sedimentari, utili per l'interpretazione dei processi deposizionali.

ABSTRACT

Sheet N. 118 Milano of the 1:50.000 Geological Map of Italy comprises an intensely urbanized part of the central Po Plain, the largest and most populated plain area in Italy. It is settled between two main rivers flowing southward from the alpine chain, Ticino in the west and Adda in the east, while minor flows (Olona, Seveso and Lambro) contributed, with their alluvial fans, to build up this area. The sheet is centered on the wide metropolitan area of Milan, surrounded by several minor towns and, particularly in the southern sector, by some rural areas. Within this context, the geological approach is forced to consider also anthropogenic aspects, such as ground remodelling and underground water pollution.

While the classic geological survey was therefore limited to the rural or semi-rural areas (sometimes urban parks areas), using also geological and topographic maps or aerial photographs dating before the urban sprawling occurred in the second half of 20th Century, most of the analysis was devoted to collect and digitize geological subsurface data: water wells and cores stratigraphy, geo-archaeological data, geotechnical and hydrogeological data. The deep underground geology has been studied by means of seismic reflection data interpretation and hydrocarbon well logs.

The resulting maps and legends are presented in two different sheets.

The first one concerns the surface geological map and represents the Pleistocene and Holocene evolution by means of Unconformity Bounded Stratigraphic Units (UBSU), coherent with the glacial and alluvial history of the Central Southern Alps. Glacial deposits outcrop some kilometers north of the area, but their fluvio-glacial and alluvial correspondents are represented by the Bozzente supersynthem (BO, middle Pleistocene) in the northern sector, with a multilayer loessic complex covering terraced fluvio-glacial deposits ("Pianalto delle Groane"). Relatively younger fluvio-glacial deposits (Binago synthem BIN and Venegono supersynthem VE), bearing simpler and discontinuous loessic cover, surrounds the Bozzente deposits in the northern sector, while the rest of the area is dominated by fluvio-glacial deposits of different Besnate supersynthem units (middle-upper Pleistocene). The western sector, belonging to the Olona river alluvial plane, is marked by Minoprio (BMI) and Bulgarograsso (BXE) units; the central sector, referring to Seveso river, by Guanzate unit (BEZ), while the eastern sector, belonging to the Lambro River domain, is marked by Cadorago (BEE) and again Minoprio (BMI) units. Fluvio-glacial deposits related to the Last Glacial Maximum event (Cantù Synthem LCN, upper Pleistocene) surround the flows of Olona, Seveso and Lambro rivers, while

the Holocene alluvial deposits (Po synthem POI) are confined within the smooth incised valleys of the three rivers or within minor incisions cutting the former units. The intensely urbanized areas of Great Milan must be considered almost completely remodeled (*landscaped*, sensu ROSENBAUM *et alii*, 2003), but areas with significant *worked ground* have been mapped, as well as *infilled* or *made ground* areas. A detailed geo-archaeological map of the Milan downtown is also present as a side-sketch, reporting the main Roman (4th Century) and Spanish (17th Century) structures, as well as the average thickness of the reworked ground.

The second sheet refers to subsurface geology and hydrogeological aspects, highlighting some relationships between the two. Subsurface units (Calabrian to upper Pleistocene-Holocene) were defined using a seismo-stratigraphic approach, integrated with a lot of well and core stratigraphies, while older units, Oligocene to Calabrian in age, were briefly described by means of hydrocarbon well logs interpretation (see Fig. 15 within Chapter V.1) and the base of Pliocene units is mapped in a sketch map within the sheet. The main map represents the base of Lower Lombardo supersynthem (m a.s.l.), also corresponding to the base of the so called 2nd Aquifer. The three deep geological sections represent the relationships among the three defined subsurface units: Padano supersynthem (**PD**, Calabrian), made of marine (platform) to transitional (delta, beach and lagoon) up to continental (alluvial plain) deposits, organized in a wholly regressive sequence; Lower Lombardo supersynthem (**LI**, Calabrian-Middle Pleistocene), made of mainly fluvial deposits (distal and intermediate braided alluvial plain), its upper part tentatively correlated with Bozzente supersynthem; Upper Lombardo supersynthem (**LS**, Middle Pleistocene – Holocene) made of mainly fluvio-glacial deposits (proximal braided plain), correlated with the remaining surface units younger than Bozzente (see also Stratigraphic scheme within the sheet). Five continuous cores have been realized within the area, analyzed with different approaches (magnetostratigraphy, facies analysis, palynology, petrography), correlated and reported in a stratigraphic sketch in order to describe **LS**, **LI** and, partially, **PD** units. In the two N-S deep geological sections, the subsurface geometries show a moderate tilting of the top surfaces of **LI** and **PD** units, related to the middle Pleistocene climate-driven flexural uplift of the Alps (see SCARDIA *et alii*, 2012).

Sketch maps within this sheet illustrate some hydrogeological aspects: 1st aquifer piezometric surface; 1st aquifer base surface; presence and thickness of the aquitard between 1st and 2nd aquifers; 1st aquifer permeability; geognostic data distribution.

XIV. ENGLISH LEGEND

QUATERNARY CONTINENTAL DEPOSITS

PO SYNTHEM (POI)

Clast- and matrix- supported gravel; sand, silt and slightly clayey silt (fluvial deposits). Upper boundary surface marked by slightly evolved soils (Entisols and Inceptisols); prevailing colours 10YR and 2.5Y.

UPPER PLEISTOCENE – HOLOCENE

LAKE SUPERSYNTHEM: CANTÙ SYNTHEM (LCN)

Mainly clast- supported gravel with sandy matrix; massive pebbly sand; sand, silty sand, silt, clayey-sandy silt (fluvio-glacial deposits). Upper boundary surface marked by moderately evolved soils (Inceptisols and Alfisols); thickness close to 1 m; colours 10YR and 2.5Y; poor hydromorphism in the southern sector; loessic cover absent.

UPPER PLEISTOCENE

RONCHETTO DELLE RANE SUBSYNTHEM (LCN₄)

Sand, from massive to laminated, silty sand and silt; massive silt and clayey silt (low energy fluvio-glacial deposits). Thickness from 2 m up to 5 m. Upper boundary surface marked by slightly evolved soils (Alfisols); colours from 10YR to 2.5Y; common hydromorphism.

UPPER PLEISTOCENE

VENEGONO SUPERSYNTHEM (VE)

Sandy clayey silt, clayey silt with sparse and weathered clasts (slope deposits); sandy silt, silty sand and polygenic, poorly weathered gravel (fluvial deposits). Upper boundary surface marked by acid and desaturated soils, originated from the eroded soils of Pianalto delle Groane. Either lacking of proper shape within slopes, or well preserved shape within fluvial terraces are present. Polyphasic unit, younger than Bozzente glacial event.

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

BESNATE SUPERSYNTHEM

BULGAROGRASSO UNIT (BXE)

Mainly clast supported gravel with sandy or sandy-silty matrix (fluvio-glacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved to slightly evolved soils with variable thickness; prevailing colours: 7.5YR and 10YR. Colluvial cover present, loessic-colluvial in the Groane area (north-western sector).

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

MINOPRIO UNIT (**BMI**)

Clast- and matrix- supported gravel with sandy or sandy-silty matrix; pebbly silt; sand, silty sand and silt (fluvio-glacial deposits). Upper boundary surface marked by soils of 1,5 m average thickness; colours 10YR and 7.5YR; buried soils present in the southern sector. Loessic cover not observed.

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

CADORAGO UNIT (**BEE**)

Clast- or matrix- supported gravel, with sandy matrix and intercalated sandy beds; silty clayey sand; silt with sparse clasts (fluvio-glacial deposits). Upper boundary surface marked by soils from 1,5 m up to over 2 m thick. Simple loessic-colluvial cover locally preserved (west from Groane).

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

GUANZATE UNIT (**BEZ**)

Clast-supported gravel, with sandy or sandy-silty matrix; locally silty sand with residual clasts (fluvio-glacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved to slightly evolved soils, less than 2 m thick; colours from 10YR to 7.5YR. No evident loessic cover.

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

SUMIRAGO UNIT (**SUM**)

Mainly clast supported gravel, with sandy or sandy-silty matrix (fluvio-glacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved soils, from 1,5 m up to 2 m thick, with colour 7.5YR. Sporadic loessic-colluvial cover.

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

BINAGO SYNTHEM (**BIN**)

Clast-supported sandy matrix gravel (fluvio-glacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved soils, minimum thickness greater than 2 m; matrix colour 7.5YR and 10YR. Simple loessic-colluvial cover present everywhere.

MIDDLE PLEISTOCENE

BOZZENTE SUPERSYNTHEM (**BO**)

Massive weathered gravel (fluvio-glacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved soils; matrix colour from 10YR to 7.5YR. Complex loessic-colluvial cover, with *glossae* and *fragipan* horizons.

MIDDLE PLEISTOCENE

BIBLIOGRAFIA

- ANDRONI G. & ANGERETTI S. (2002) – *Studio geologico degli aquitard dell'area milanese*. Tesina di Laurea inedita. Rel. Prof. V. Francani. Politecnico di Milano.
- ARCA S. & BERETTA G.P. (1985) - *Prima sintesi geodetico-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia Settentrionale (1987-1957)*. Boll. Di Geodesia e Scienze Affini, 2. IGM, Firenze.
- ARCHIVIO MACROSISMICO GNDT (1995) - *Studi preliminari di terremoti attraverso i repertori sismologici*. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
- AVANZINI M., BERETTA G., FRANCAI V. & NESPOLI M. (1995) - *Indagine preliminare sull'uso sostenibile delle falde profonde nella Provincia di Milano* - CAP MILANO (Consorzio per l'Acqua Potabile).
- BERETTA G.P., FRANCAI V. & SCESI L. (1983) - *Struttura idrogeologica della Provincia di Milano* in: Studio idrogeologico della pianura compresa tra Adda e Ticino, a cura di CAVALLIN A., FRANCAI V., MAZZARELLA S., Costruzioni **326-327**, Milano.
- BERTINI A. (2000) – *Pollen record from Colle Curti and Cesi: Early and Middle Pleistocene mammal sites in the Umbro-Marchean Apennine Mountains (Central Italy)*. Journal of Quaternary Sciences **15** (8): 825-840.
- BIGI G., COSTANTINO D., PAROTTO M., SARTORI R. & SCANDONE P. (1990) – *Structural model of Italy*. Firenze, Società Elaborazioni Cartografiche (S.EL.CA.), Consiglio Nazionale delle Ricerche progetto Finalizzato Geodinamica, scala 1:500.000, 9 fogli.
- BILLARD A. (1973) – *Paleosols quaternaires de l'Alta Pianura de Milan, interpretation stratigraphique et paleoclimatique*. Bollettino A.F.E.Q., **37**: 267-286, Paris.
- BILLARD A. (1980) – *Sols lessivés dégradés à glosses et a fragipan. Genèse et régionalisation*. AfDP, Fascicule V, Paris
- BILLARD A. (1995) – *Le mythe du grand interglaciaire Mindel-Riss d'après l'étude des sols du Nord de Turin (Italie)*. Antropozoikum, **22**: 5-62, Prague.
- BILLARD A. & FEDEROFF N. (1977) – *Interglacial-periglacial pedogenetic cycle in Northern Italy and France*. X INQUA Congress, Abstracts, Birmingham, vol. 10, 35.
- BINI A. (1987) - *L'Apparato Glaciale Würmiano di Como*. Tesi di dottorato di ricerca, Università degli Studi di Milano.
- BINI A. (1997) - *Stratigraphy, chronology and palaeogeography of quaternary deposits of the area between the Ticino and Olona rivers (Italy-Switzerland)*. Geol. Insubr. **2/2** (1997): 21-46, Lugano.
- BOSCHI E., GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., VALENSISE G. & GASPERINI P. (EDS.), (2000) - *Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1980*. Ann. Geofis., **43**, 609-868, Roma.
- BOSCHI E., GUIDOBONI E., FERRARI G., VALENSISE G. & GASPERINI P. (EDS.) (1997) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*, vol. 2. ING-SGA, Bologna, 644 pp.
- BRAGA G. & RAGNI U. (1969) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 44 - Novara e 58 - Mortara*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- BREISLACK S. (1822) - *Descrizione geologica della Provincia di Milano*. Regia Stamperia: 260, Milano.
- BRYAN & JONES, (1997) – *The significance of soil piping processes: inventory and prospect*. Geomorphology, **20**, n° 3-4: 209-218, Elsevier, Amsterdam.
- BRONK RAMSEY C., (2009) – *Bayesian analysis of radiocarbon dates*. Radiocarbon, **51(1)**: 337-360, Tucson.
- CANDE S.C. & KENT D.V. (1995) - *Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic*. Journal of Geophysical Research, **100**: 6093-6095, AGU.
- CAPORUSSO D. (1990) – *Scavi MM3 Ricerche di Archeologia urbana a Milano durante la costruzione della linea 3 della Metropolitana 1982-1990*. Edizioni ET.

- CASATI P. & VIGANÒ P. (1974) - *Le acque sulfuree dell'arena di Milano* Atti Soc. Ital. Sci. Nat., Milano, 251-266.
- CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R. & CAPPELLI V. (1986) - *Pianura Padana. Interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*. 73° Congresso Soc. Geol. It., 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/>.
- CAVALLIN A., FRANCANI V. & MAZZARELLA S. (1983) - *Studio idrogeologico della pianura compresa fra Adda e Ticino*. Costruzioni **326-327**, Casa Editrice La Fiaccola, Milano.
- CERESA MORI A. (1992) - *La zona del Foro e l'urbanistica di Mediolanum alla luce dei recenti scavi*, in *Felix Temporis Reparatio*, a cura di G. SENA CHIESA e E.A. ARSLAN, Atti del convegno Archeologico Internazionale "Milano Capitale dell'Impero Romano" (Milano 8-11 marzo 1990), Milano, pp. 27-43.
- COHEN K.M., FINNEY S.C., GIBBARD P.L. & FAN J.X. (2013; updated) - *The ICS International Chronostratigraphic Chart*. Episodes **36**: 199-204.
- COLTORTI M., ALBIANELLI A., BERTINI A., FICCARIELLI G., LAURENZI M.A., NAPOLEONE G. & TORRE D. (1998) - *The Colle Curti mammal site in the Colfiorito area (Umbria-Marchean Apennine, Italy): geomorphology, stratigraphy and palynology*. Quaternary International **47/48**: 107-116.
- COMIZZOLI G., GELATI R., PASSERI L.D. & DESIO A. (1969) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Fogli 45 - Milano e 46 - Treviglio*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- CREMASCHI M. (1987) - *Paleosols and vetusols in the Central Po plain (Northern Italy)*. Unicopli, Milano.
- CURIONI G. (1877) - *Geologia applicata alle Province Lombarde*. Ed. Hoepli, Milano, 714p.
- DA ROLD O. (1990) - *L'Apparato glaciale del Lago Maggiore, settore orientale*. Tesi di dottorato di ricerca, Università degli Studi di Milano.
- DE BEAULIEU J. L. & REILLE M. (1989) - *The transition from temperate phases to stadials in the long Upper Pleistocene sequence from Les Echets (France)*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **72**: 147-159.
- DE BEAULIEU J.-L., ANDRIEU-PONEL V., REILLE M., GRÜGER E., TZEDAKIS C. & SVOBODOVA H. (2001) - *An attempt at correlation between the Velay pollen sequence and the Middle Pleistocene stratigraphy from central Europe*. Quaternary Science Reviews, **20**: 1593-1602.
- DE FRANCO R. (2005) - *Multi-refractor imaging with stacked refraction convolution section*. Geophysical Prospecting, **53**: 335-348, Wiley – Blackwell.
- DE FRANCO R., BIELLA G., CAIELLI G., BERRA F., GUGLIELMIN M., LOZEJ A., PICCIN A. & SCIUNNACH D. (2009) - *Overview of high resolution seismic prospecting in pre-Alpine and Alpine basins*. Quaternary International, **204**, 65-75
- DE MORTILLET G. (1861) - *Carte des anciens glaciers du versant italien des Alpes*. Atti Soc. It. Sc. Nat. **3**: 44-81, Milano.
- DECKER J. & HELMOLD K.P. (1985) - *The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method - Discussion*. Journ. Sedim. Petrol., **55**: 618-621.
- DICKINSON W.R. (1970) - *Interpreting detrital modes of graywacke and arkose*. Journ. Sedim. Petrol., **40**: 695-707.
- DICKINSON W.R. (1985) - *Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones*. In: Zuffa G.G. (Ed.), *Provenance of arenites*, Reidel Publishing Company, Nato ASI Series, Dordrecht, **148**: 333-361.
- DICKINSON W.R. & SUZCEK C.A. (1979) - *Plate tectonics and sandstone composition*. Am. Ass. Petrol. Geol. Bull., **63**: 2164-2172.
- 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.
- ERSAL (1993) - *I suoli del Parco Agricolo Sud Milano*. SSR 15, Milano.
- ERSAL (1999a) - *I suoli della pianura milanese settentrionale*. SSR 27, Milano.

- ERSAL (1999b) - *I suoli della pianura e collina varesina*. SSR 26, Milano.
- FANTONI R. & FRANCIOSI R. (2010) – *Tectono sedimentary setting of the Po Plain and Adriatic foreland*. Rend. Fis. Acc. Lincei, **21** (Suppl. 1): 197-209.
- FICCARELLI G., ABBAZZI L., ALBIANELLI A., BERTINI A., COLTORTI M., MAGNATTI M., MASINI F., MAZZA P., MEZZABOTTA C., NAPOLEONE G., ROOK L., RUSTIONI M. & TORRE D. (1997) - *Cesi, an early Middle Pleistocene site in the Colfiorito Basin (Umbro-Marchean Apennine), Central Italy*. Journal of Quaternary Science **12** (6): 507-518.
- FINCKH P., KELTS K. & LAMBERT A. (1984) - *Seismic stratigraphy and bedrock forms in perialpine Lakes*. Geological Society of America Bulletin, vol. **95**, GSA, Boulder, Colorado.
- FOLLIERI M., MAGRI D. & SADORI L. (1988) – *250,000-year pollen record from Valle di Castiglione (Roma)*. Pollen et Spores, **30**: 329-356.
- FRANCANI V. (1997) – *Idrogeologia generale e applicata*. CittaStudiEdizioni, Milano.
- FRANCANI V. & POZZI R. (1981) - *Condizioni di alimentazione delle riserve idriche del territorio milanese*. La Rivista della strada, L 303, Milano.
- FRANCESE R., GIUDICI M., SCHMITT D.R. & ZAJA A. (2005) - *Mapping the geometry of an aquifer system with a high-resolution reflection seismic profile*. Geophysical Prospecting, **53**: 817–828, Wiley – Blackwell.
- GALLOWAY W.E. (1989) - *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I. Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units*. AAPG Bulletin, **73**: 125-142, Tulsa.
- GARZANTI E. & ANDÒ S. (2007a) - *Heavy-mineral concentration in modern sands: implications for provenance interpretation*. In: M. Mange e D. Wright (Eds.), “Heavy Minerals in Use”, Developments in Sedimentology Series, **58**: 517-545, Elsevier, Amsterdam.
- GARZANTI E. & ANDÒ S. (2007b) - *Plate tectonics and heavy-mineral suites of modern sands*. In: M. Mange e D. Wright (Eds.), “Heavy Minerals in Use”, Developments in Sedimentology Series, **58**: 741-763 Elsevier, Amsterdam.
- GARZANTI E. & VEZZOLI G. (2003) - *A classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade*. J. Sediment. Res. **73**: 830-837.
- GARZANTI E., VEZZOLI G., LOMBARDO B., ANDÒ S., MAURI E., MONGUZZI S. & RUSSO M. (2004) - *Collision-Orogen Provenance (Western and Central Alps): Detrital Signatures and Unroofing Trends*. Journal of Geology, **112**: 145-164.
- GARZANTI E., VEZZOLI G. & ANDÒ S. (2011) - *Paleogeographic and paleodrainage changes during Pleistocene glaciations (Po Plain, Northern Italy)*. Earth Science Rev. **105**, 25-48.
- GAZZI P. (1966) - *Le arenarie del flysch sopracretaceo dell' Appennino modenese: correlazioni con il flysch di Monghidoro*. Miner. Petrogr. Acta, **12**: 69-97.
- GHIELMI M., MINERVINI M., NINI C., ROGLEDI S., ROSSI M. & VIGNOLO A. (2010) - *Sedimentary and tectonic evolution in the eastern Po-Plain and northern Adriatic Sea area from Messinian to Middle Pleistocene (Italy)*. In: Sassi, F.P. (Ed.), Nature and Geodynamics of the Lithostere in Northern Adriatic. Rend. Fis. Acc. Lincei, **21** (Suppl.1): 131 - 166.
- GHIELMI M., MINERVINI M., NINI C., ROGLEDI S. & ROSSI M. (2012) - *Late Miocene-Middle Pleistocene sequences in the Po Plain e Northern Adriatic Sea (Italy): The stratigraphic record of modification phases affecting a complex foreland basin*. Marine and Petroleum Geology, **XXX**: 1-32
- GIBBARD P.L., HEAD M.J., WALKER M.J.C. & THE SUBCOMMISSION ON QUATERNARY STRATIGRAPHY (2010) - *Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma*. J. Quaternary Sci., **25**: 96-102. ISSN0267-8179, Wiley.
- GRUPPO DI LAVORO CPTI (2004) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>
- GUIDOBONI E. & COMASTRI A. (2005) - *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*. INGV-SGA, Bologna, 1037 pp.

- GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G. & VALENSISE G. (2007) - *Catalogo dei forti terremoti 461 a.C.-1997*. <http://storing.ingv.it/cfti4med/>
- HIGGINS C.G. (1984) - *Piping and sapping: development of landforms by groundwater outflow*. In: LaFleur R.G., *Groundwater as a Geomorphic agent*. Ed. Allen and Unwin, London.
- INGERSOLL R.V., BULLARD T.F., FORD R.L., GRIMM J.P., PICKLE J.D. & SARES S.W. (1984) - *The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method*. Journ. Sedim. Sedim. Petrol., **54**: 103-116.
- INGV (ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA). *Bollettino sismico mensile*. <http://legacy.ingv.it/roma/reti/rms/bollettino/index.php?lang=it>
- ISPRA (2015) - *Modello geologico 3D e geopotenziali della Pianura Padana centrale (Progetto GeoMol)*. Rapporti 234. ISBN 978-88-448-0753-5.
- KENT DV., RIO D., MASSARI F., KUKLA G. & LANCI L. (2002) - *Emergence of Venice during the Pleistocene*. Quaternary Science Review, **21**: 1718-1727.
- KIRSCHVINK, J.L.(1980). *The least squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data*. Royal Astronomical Society Geophysical Journal **62**: 699-718, Oxford.
- MANGE M. A. & MAURER H.F.W. (1992) - *Heavy minerals in colour*. Springer Netherlands.
- MARRAZZO M. (2003) - *I depositi quaternari superficiali compresi tra i fiumi Lambro ed Adda, nell'area ad est di Milano*. Tesi di Laurea, relatore Bini A. Università di Milano.
- MARTINETTO E. & RAVAZZI C. (1997) - *Plant biochronology of the Valle della Fornace succession (Varese) based on the plio-pleistocene record in northern Italy*. Geologia Insubrica **2/2**: 81-98.
- MARTINIS B. & MAZZARELLA S. (1971) - *Prima ricerca idrica profonda nella pianura lombarda*. Mem. Ist. Geol. e Min. Univ. Padova, Vol. XXVIII, Padova.
- MEZZOTTI M.C. (1840) - *Il cronista monzese. Cronichetta dal 1337 al 1517 rinvenute fra le carte Mezzotti da Castellambro*. Milano.
- MINERVINI M., GHIELMI M., ROGLEDI S. & ROSSI M. (2008) - *Tectono-stratigraphic framework of the Messinian-to-Pleistocene succession in the Western Po Plain Foredeep (Italy)*. In: 84° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana, Sassari (Italy), 15 e 17 September: 562-563.
- MONTRASIO A., BIGIOGGERO B., BRIGO L., CASATI P., CREMASCHI M., FERRARIO A., GAETANI M., GELATI R., GREGNANIN A., JADOUL F., OROMBELLI G., ROSSI P.M. & ZUFFARDI P. (1990) - *Carta geologica della Lombardia - scala 1:250.000*. Servizio Geologico Nazionale, Roma.
- MOORE P.D., WEBB J.A. & COLLINSON M.E. (1991) - *Pollen analysis*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- MOMMERSTEEG H.J.P.M., LOUTRE M.-F., YOUNG R., WIJMSTRA T.A. & HOOGHIEIMSTRA H. (1995) - *Orbital forced frequencies in the 975.000 year pollen record from Tenaghi Philippon (Greece)*. Climate Dynamics **11**: 4-24.
- MOSCARIELLO A., RAVAZZI C., BRAUER A., ROGLEDI S., MANGILI C., DE BEAULIEU J.L., REILLE M. & ROSSI S. (2000) - *A long lacustrine record from the Pianico-Séllere Basin (Middle-Late Pleistocene, Northern Italy)*. Quaternary International, Special Issue "Mediterranean Lacustrine Records" **73/74**: 47-78.
- MULLENDERS W., FAVERO V., COREMANS M. & DIRICKX M. (1996) - *Analyses polliniques de sondages à Venise*. In: Gullentops F. (Ed.), *Pleistocene Palynostratigraphy*, Vol. 7. Aardkundige Mededelingen pp. 8-117.
- MUTTONI G., CARCANO C., GARZANTI E., GHIELMI M., PICCIN A., PINI R., ROGLEDI S. & SCIUNNACH D. (2003) - *Onset of major Pleistocene glaciations in the Alps*. Geology **31**: 989-992, GSA, Boulder, Colorado.
- NANGERONI G. (1940) - *Considerazioni sul Quaternario dell'alta pianura lombarda*. Boll. Com. Glac. Ital. **20**: 63-72, Torino.
- NORDIO E. (1957) - *Il sottosuolo di Milano*. Comune di Milano - Servizio acqua potabile, Milano.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (1983) - *North American Stratigraphic Code*. AAPG Bulletin, **67**: 841-875, Tulsa

- ORI G.G. (1993) – *Continental deposition systems of the Quaternary of the Po plain (northern Italy)*. Sedimentary Geology **83**:493-444, Elsevier.
- ORI G.G., ROVERI M. & VANNONI F. (1986) – *Plio - Pleistocene sedimentation in the Apenninic – Adriatic foredeep (Central Adriatic Sea, Italy)*. Spec. Publs. int. Ass. Sediment, **8**:183-198, Oxford.
- OROMBELLI G. (1979) - *Il Ceppo d'Adda: revisione stratigrafica*. – Riv. It. Paleont. Strat., Vol. **85**, Milano.
- PARFENOFF A., POMEROL C. & TOURENQ J. (1970) – *Les minéraux en grains: Méthodes d'études ed détermination*. Paris, pp.567.
- PENCK A.& BRÜCKNER E. (1909) – *Die Alpen im Eiszeitalter*. Bd 3: 772-789, Leipzig.
- PIERI M. & GROPPI G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain*. Progetto Finalizzato Geodinamica/Sottoprogetto 'Modello Strutturale', Pub. CNR N. **414**: 278-286.
- POAG C.W. & WARD L.W. (1993) - *Allostratigraphy of the U.S. Middle Atlantic Continental Margin - Characteristics, distribution, and depositional history of principal unconformity-bounded Upper Cretaceous and Cenozoic sedimentary units*. U.S. Geological Survey Professional Paper, **1542**: pp. 81, Washington DC.
- POSAMENTIER H.W., JERVEY M.T. & VAIL P.R. (1988) - *Eustatic controls on clastic deposition I: Conceptual framework*. In: *Sea Level Changes: An Integrated Approach* (Ed. by C.K. WILGUS, B.S. HASTINGS, C.G.St.C. KENDALL, H.W. POSAMENTIER, C.A. ROSS & J.C. VAN WAGONER), Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., **42**: 109-124, Tulsa.
- PROVINCIA DI MILANO – DIREZIONE CENTRALE AMBIENTE (2002) - *Fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee nella Provincia di Milano. Indagini per l'individuazione dei focolai*, Provincia di Milano.
- PROVINCIA DI MILANO – ASSESSORATO ALL'AMBIENTE (1996) – *Valutazioni sull'innalzamento della falda nella città di Milano nei primi anni '90*. Provincia di Milano.
- PUNT W., BLACKMORE S., HOEN P.P. & STAFFORD P.J. (1976-2003) - *The Northwest European pollen flora*. Vol. I-VIII, Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- RAVAZZI C. & ROSSIGNOL STRICK M. (1995) – *Vegetation change in a climatic cycle of Early Pleistocene age in the Leffe Basin (Northern Italy)*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **117**: 105-122.
- RAVAZZI C., PINI R., BREDA M., MARTINETTO E., MUTTONI G., CHIESA S., CONFORTINI F. & EGLI R. (2005) – *The lacustrine deposits of Fornaci di Ranica (late Early Pleistocene, Italian Pre-Alps): stratigraphy, palaeoenvironment and geological evolution*. Quaternary International, **131**: 35-58.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. Bologna.
- REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002) - *Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia*. A cura di C. CARCANO & A. PICCIN, Ed. S.e.l.c.a. (Firenze).
- REGIONE LOMBARDIA (2006) - *Programma di Uso e di Tutela delle Acque della Regione Lombardia*.
- REILLE M., ANDRIEU V., DE BEAULIEU J.-L., GUENET P. & GOEURY C. (1998) – *A long pollen record from lac du Bouchet, Massif Central, France, for the period ca. 325 to 100 ka BP (OIS 9c to OIS 5e)*. Quaternary Science Reviews, **17**: 1107-1123.
- REIMER PJ, BAILLIE MGL, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BLACKWELL PG, BRONK RAMSEY C, BUCK CE, BURR GS, EDWARDS RL, FRIEDRICH M, GROOTES PM, GUILDERSON TP, HAJDAS I, HEATON TJ, HOGG AG, HUGHEN KA, KAISER KF, KROMER B, MCCORMAC FG, MANNING SW, REIMER RW, RICHARDS DA, SOUTHON JR, TALAMO S, TURNEY CSM, VAN DER PLICHT J & WEYHENMEYER CE. (2009) - *IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP*. Radiocarbon **51**(4):1111–50, Tucson.
- RIVA A. (1957) - *Gli anfiteatri morenici a Sud del Lario e le pianure diluviali tra Adda e Olona*. Atti dell'Istituto Geologico dell'Università di Pavia, vol. **VII**.

- ROSENBAUM M.S., McMILLAN A.A., POWELL J.H., COOPER A.H., CULSHAW M.G. & NORTHMORE K.J. (2003) – *Classification of artificial (man-made) ground*. Engineering geology **69**: 399-409, Elsevier.
- RUSSO ERMOLLI E. (1994) - *Analyse pollinique de la succession lacustre pléistocène du Vallo di Diano (Campaine, Italie)*. Annales Société géologique de Belgique, **117** (2): 333-354.
- SACCO F. (1893) – *Gli anfiteatri morenici del Lago di Como*. Atti R. Accad. Agric. Torno, **36**.
- SALVADOR A. (1994) – *International stratigraphic guide: a guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. 2nd edition. International Union of Geological Sciences and the Geological Society of America, Boulder, Colorado, 214 pp.
- SCARDIA G., MUTTONI G. & SCIUNNACH D. (2006) - *Subsurface magnetostratigraphy of Pleistocene sediments from the Po Plain (Italy): constraints on rates of sedimentation and rock uplift*. Geological Society of America Bulletin **118**: 1299-1312, GSA, Boulder, Colorado.
- SCARDIA G., DE FRANCO R., MUTTONI G., ROGLEDI S., CAIELLI G., CARCANO C., SCIUNNACH D. & PICCIN A. (2012) - *Stratigraphic evidence of a Middle Pleistocene climate driven flexural uplift in the Alps*. Tectonics, v. 31, TC6004, doi: 10.1029/2012TC003108.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1965) - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000*, F. 45 Milano, II edizione. Roma
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1992) - *Carta Geologica d'Italia 1:50.000: Guida al rilevamento, Quaderni Serie III, 1* - Roma, 1-203.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2009) - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 181 - Parma nord*. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- SILEO G., GIARDINA F., LIVIO F., MICHETTI A.M., MUELLER K. & VITTORI E. (2007) – *Remarks on the Quaternary tectonics of the Insubria Region (Lombardia, NW Italy and Ticino, SE Switzerland)*. Boll. Soc. Geol. It (Ital. J. Geosci.) Vol. **126** n° 2, pp. 411-425, Roma.
- SOLEILHAVOUP F. & CAILLEUX A. (1979) – *Formes de suffosion actuelle près de Tamanrasset (Hoggard, Sahara)*. Zeitschrift für Gromorphologie, **23**, n°1:13-26, Stuttgart
- STELLA A. (1895) – *Sui terreni quaternari della valle del Po in rapporto alla Carta Geologica d'Italia*. Boll. R. Comit. Geol. **26**(1): 108-136, Roma.
- STOCKMARR J. (1971) – *Tablets with spores used in absolute pollen analysis*. Pollen et Spores, **13**: 615-621.
- STOPPANI A. (1874) – *Il mare glaciale ai piedi della Alpi*. Congresso Geologico di Roma. Riv. It.: 3-54, Milano.
- STRINI A. (2001) – *Gli “Occhi Pollini” nella Brianza Orientale: genesi ed evoluzione nel quadro geologico regionale*. Tesi di dottorato di ricerca, Università degli Studi di Milano: 1-550
- STUCCHI M., ALBINI P. & BELLETTATI D. (EDS.) (1993) - *Valutazione della attendibilità dei dati sismologici di interesse per il territorio della Regione Lombardia*. Rapporto tecnico per la Regione Lombardia, IRRS-CNR, Milano, 185 pp.
- STUCCHI M., CAMASSI R., ROVIDA A., LOCATI M., ERCOLANI E., MELETTI C., MIGLIAVACCA P., BERNARDINI F. & AZZARO R. (EDS.) (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, INGV, 38 pp, Roma.
- SUTTNER L.J. & BASU A. (1985) - *The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method* - Discussion. Journ. Sedim. Petrol., **55**: 616-618.
- TARAMELLI T. (1903) – *I tre laghi*. Tip. Artaria, Milano.
- VAIL P.R. (1987) - *Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure*. In: *Atlas of Seismic Stratigraphy*, vol. **1** (Ed. by A.W. BALLY). AAPG Stud. Geol., **27**, 1-10, Tulsa.
- VAN DER WIEL A.M. & WUMSTRA T.A. (1987) - *Palynology of the 112.8-197.8 m interval of the core Tenaghi Philippon III, Middle Pleistocene of Macedonia*. Review of Palaeobotany and Palynology, **52**: 89-117.

- VAN GEEL B. (1978) – *A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands, based on the analysis of pollen, spore and macro- and microremains of fungi, algae, cormophytes and animals*. Review of Palaeobotany and Palynology, 25: 1-120.
- ZAGWIJN W.H. & DE JONG J. (1984) - *Die Interglaziale von Bavel und Leerdam und ihre stratigraphische Stellung im niederlanddischen Früh-Pleistozän*. Mededelingen Rijks Geologische Dienst, 37: 155-159.
- ZIJDERVELD, J.D.A. (1967) - *A.C. demagnetization of rocks: Analysis of results*. In: Collinson, D.W., Creer, K.M., Runcorn, S.K. (Eds.), *Methods in Palaeomagnetism*. Elsevier, Amsterdam, pp. 254-286.
- ZUCCOLI L. (1997) – *Geologia dell'Alta Pianura lombarda tra i pianalti di Castelseprio e Tradate-Appiano Gentile*. Tesi di dottorato di ricerca, Università degli Studi di Milano: 1-453.
- ZUFFA G.G. (1985) - *Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results*. In: Zuffa G.G. (Ed.), *Provenance of arenites*, Reidel Publishing Company, NATO-ASI Series, Dordrecht: 165-189.