

BOZZA

**ISPR A**

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

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

NOTE ILLUSTRATIVE**della****CARTA GEOLOGICA D'ITALIA****alla scala 1:50.000****foglio 118****MILANO**

a cura di:

V. Francani⁽²⁾, A. Piccin⁽¹⁾, F. Berra⁽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^(6,7), E. Garzanti⁽⁴⁾, G. Muttoni⁽³⁾, R. Pini⁽⁶⁾, S. Rossi⁽⁵⁾, A. Rovida⁽⁶⁾, G. Scardia^(5,6), D. Sciunnach⁽¹⁾

⁽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**

BOZZA

Direttore del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA: A. Todisco, L. Serva

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

Direttori della Direzione Generale competente – Regione Lombardia: M. Presbitero, M. Rossetti, M. Nova, B. Mori

Dirigenti della struttura competente – Regione Lombardia: M. Presbitero, B. Mori, R. Laffi, A. De Luigi

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

Per il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA

Revisione Scientifica:

E. Chiarini, L. Martarelli, R.M. Pichezzi

Coordinamento editoriale ed allestimento per la stampa:

M. Cosci, S. Falcetti

Revisione informatizzazione dei dati geologici:

L. Battaglini, V.Campo, R.M. Pichezzi (ASC)

Per Regione Lombardia

Coordinamento editoriale e allestimento cartografico:

G.B. Siletto, M. Credali, S. Racchetti, F. Torri

Informatizzazione dei dati geologici:

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

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

Racchetti, F. Torri.

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

Allestimento cartografico per la stampa della Banca Dati

Gestione tecnico-amministrativa del Progetto CARG:

M.T. Lettieri (Servizio Geologico d'Italia - ISPRA)

N. Padovan, A. Piccin, G.B. Siletto, M. Credali (Regione Lombardia)

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

I.....INTRODUZIONE	10
II....STUDI PRECEDENTI.....	12
1. - LE CONOSCENZE GEOLOGICHE DEL XIX SECOLO	12
2. - LE CONOSCENZE GEOLOGICHE DEL XX SECOLO.....	13
3. - SVILUPPI RECENTI.....	17
4. - STUDI PEDOLOGICI	18
5. - CARTOGRAFIE TEMATICHE	24
6. - CENNI STORICI SULL'IDROGEOLOGIA DELLA ZONA	24
III. .INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO GENERALE	30
1. - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	30
2. - INQUADRAMENTO MORFOLOGICO.....	31
3. - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	32
4. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	33
4.1 - Geologia di sottosuolo.....	34
IV. .DATI E METODI DI STUDIO.....	38
1. - CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE E BANCA DATI UTILIZZATA	40
1.1 - Studio dell'evoluzione antropica	41
2. - CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO.....	45
2.1 - Analisi dei dati pregressi	45
2.2 - Banca dati geologica di sottosuolo	46
3. - CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA	48
3.1 - Acquisizione ed organizzazione dei dati idrogeologici	48
3.2 - Implementazione di un data-base idrogeologico	48
3.3 - Analisi ed elaborazione dei dati idrogeologici	50
V. ..STRATIGRAFIA	52

1. - CRITERI DI RILEVAMENTO DEL QUATERNARIO	52
2. - SUPERSINTEMA DEL BOZZENTE (BO)	53
3. - SINTEMA DI BINAGO (BIN)	56
4. - SUPERSINTEMA DI VENEGONO (VE)	57
5. - SUPERSINTEMA DI BESNATE.....	59
5.1 - Unita' di Sumirago (SUM).....	60
5.2 - Unita' di Guanzate (BEZ)	61
5.3 - Unita' di Cadorago (BEE).....	63
5.4 - Unita' di Minoprio (BMI).....	65
5.5 - Unita' di Bulgarograsso (BXE).....	71
6. - SINTEMA DI CANTÙ (LCN)	72
6.1 - Area Lura-Olona.....	73
6.2 - Settore NE di milano	73
6.3 - Area del fiume Lambro Meridionale	74
6.4 - Area del fiume Lambro.....	74
6.5 - SubsinTEMA di Ronchetto delle Rane (LCN₄).....	75
7. - SINTEMA DEL PO (POI) (UNITÀ POSTGLACIALE)	76
7.1 - Area del Fiume Olona.....	77
7.2 - Fiume Seveso.....	77
7.3 - Fiume Lambro Meridionale e Cavo Vettabbia	78
7.4 - Fiume Lambro	78
7.5 - Aree non associate a valli fluviali.....	81
8. - STRATIGRAFIA DELLE UNITA' DI SOTTOSUOLO.....	81
8.1 - Supersintema Lombardo Superiore – SLS.....	83
8.2 - Supersintema Lombardo Inferiore – SLI	84
8.3 - Supersintema del Quaternario marino – Q ₁	84
VI. ASPETTI DI MODIFICAZIONE ANTROPICA.....	87
1. - ATTIVITA' ANTROPICA	87
2. - CLASSIFICAZIONE DELLE ATTIVITÀ ANTROPICHE	88
3. - DEPOSITI ANTROPICI DEL CENTRO DI MILANO	92
3.1 - Scavi archeologici ed evoluzione storica.....	92
3.2 - Carta geoarcheologica del centro storico di Milano	96
VII. ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA	99

1. - ATTIVITA' ESTRATTIVE.....	99
1.1 - La pianificazione provinciale in tema di cave	101
2. - PROBLEMATICHE DI GEOLOGIA APPLICATA	101
VIII. ASPETTI IDROGEOLOGICI	107
1. - PREMESSA	107
2. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	107
2.1 - Gruppo Acquifero A.....	108
2.2 - Gruppo acquifero B.....	109
2.3 - Gruppo acquifero C.....	109
3. - RICOSTRUZIONE DELLA STRUTTURA IDROGEOLOGICA DI DETTAGLIO.....	110
3.1 - Analisi preliminare della struttura idrogeologica.....	110
3.2 - elaborazione delle carte tematiche.....	113
4. - BASE DELL'ACQUIFERO TRADIZIONALE (BASE DEL GRUPPO ACQUIFERO B)	114
5. - BASE DEL I ACQUIFERO	115
6. - ANDAMENTO E SPESSORE DELL'AQUITARD DI SEPARAZIONE TRA IL I ACQUIFERO ED IL II ACQUIFERO.....	116
7. - CARTA DELLA PERMEABILITÀ DEL I ACQUIFERO.....	116
8. - PIEZOMETRIA	117
8.1 - Piezometria del I Acquifero.....	117
8.2 - I fontanili	117
8.3 - Piezometria del II Acquifero	118
8.4 - Oscillazioni piezometriche stagionali	119
IX. .PROBLEMATICHE DI DISSESTO IDROGEOLOGICO	122
1. - L'INNALZAMENTO DELLA FALDA.....	123
2. - I CEDIMENTI DEL SUOLO.....	125
2.1 - L'esempio di Monza.....	126
3. - ESONDAZIONE DEI CORSI D'ACQUA.....	130
3.1 - Il Lambro.....	132
3.2 - Il Seveso	133
3.3 - L'Olna	134

4. - DISPONIBILITA' E GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE	135
4.1 - Produttività degli acquiferi	136
4.2 - Sostenibilità dello sfruttamento	136
4.3 - Qualità delle acque e tutela della risorsa idrica	137
4.4 - Distribuzione dei composti organoalogenati	138
4.5 - Distribuzione dei nitrati	139
4.6 - Distribuzione del cromo	140
4.7 - Impatto sulla disponibilità della risorsa.....	141
4.8 - Lo stato qualitativo dei corsi d'acqua	141
5. - SISMICITA'	142
APPENDICE 1 - ORGANIZZAZIONE DELLA BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO.....	148
1. - INTRODUZIONE	148
2. - LA BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO	148
2.1 - Dati relativi al Foglio 118 - Milano.....	150
APPENDICE 2 - SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	156
1. - STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI.....	156
2. - ANALISI PETROGRAFICHE.....	159
3. - ANALISI MAGNETOSTRATIGRAFICA.....	159
3.1 - PESCHIERA BORROMEO RL8.....	161
3.2 - GAGGIANO RL9	162
3.3 - MILANO TRIULZA RL10	163
3.4 - MILANO PARCO NORD RL11.....	165
3.5 - SINTESI DEI RISULTATI.....	165
APPENDICE 3 - ANALISI GEOSTATISTICHE DEI DATI IDROGEOLOGICI.....	168
4. - DISTRIBUZIONE DEI DATI	169
5. - COSTRUZIONE DELL'ESTIMATORE.....	169
6. - DEDUZIONI CIRCA LA STRUTTURA SPAZIALE DELLA VARIABILE "BASE DEL GRUPPO ACQUIFERO A"	175

APPENDICE 4 – NOTA SULL’ACQUISIZIONE DI UNA LINEA
SISMICA AD ALTA RISOLUZIONE NELL’AREA URBANA DI
MILANO: L’ESPERIMENTO IN BOSCO IN CITTÀ..... 178

BIBLIOGRAFIA 186

ANNEX I – ENGLISH LEGEND 191

BOLZA

BOZZA

I. INTRODUZIONE

(a cura di A. Piccin e D. Battaglia)

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 (DIAR).

La Direzione del rilevamento è stata curata dal Dott. Andrea Piccin, Regione Lombardia – Infrastruttura per l'Informazione Territoriale (I.I.T.) e dal Dott. Fabrizio Berra, Ricercatore presso il Dipartimento di Geologia Ardito Desio dell'Università degli Studi di Milano.

Il Rilevamento è stato effettuato dal Dott. Daniele Battaglia (depositi e modificazioni antropiche e geologia e geotecnica del primo sottosuolo), dal Dott. Ivo Rigamonti (depositi superficiali quaternari), dalla Dott.ssa Silvia Rosselli (geologia del sottosuolo), consulenti di Regione Lombardia, e

dall'Ing. Paola Gattinoni, ricercatrice presso il Politecnico di Milano – DIAR (aspetti idrogeologici).

Contributi specialistici sono stati forniti da: Dott. Dario Sciunnach, Regione Lombardia – IIT (analisi dei sondaggi - petrografia delle ghiaie); Dott. Giancarlo Scardia, INGV - Milano e Dott. Giovanni Muttoni, Dipartimento di Geologia Università di Milano (analisi dei sondaggi – paleomagnetismo), Dott. Andrea Rovida, INGV – Milano (sismicità); Prof. Eduardo Garzanti e Prof. Paolo Vezzoli, Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie, Università di Milano – Bicocca (Analisi dei sondaggi – petrografia delle sabbie); Dott.ssa Roberta Pini, CNR-IDPA Milano (Analisi dei sondaggi – Palinologia); Dott. Roberto de Franco, CNR-IDPA Milano (Linea sismica a rifrazione); Dott.ssa Adriana Ceresa Mori, Soprintendenza ai Beni Archeologici della Lombardia (Ricerche e dati archeologici).

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).

Le caratteristiche del Foglio Milano, costituito da un territorio pianeggiante intensamente urbanizzato, ha reso necessaria 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. 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.

I criteri del rilevamento hanno seguito le linee guida nazionali (Serie III Quaderni S.G.N.) e successive modificazioni, adattandosi alle necessità e opportunità poste dai problemi geologici incontrati. Il rilevamento è stato eseguito alla scala 1:10.000 sulla Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia.

II. STUDI PRECEDENTI

(a cura di V. Francani, P. Gattinoni & I. Rigamonti)

L'ingente produzione scientifica che ha riguardato il territorio compreso nel Foglio 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 & BRUCKNER (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 nel foglio allegato di Sottosuolo.

1. - LE CONOSCENZE GEOLOGICHE DEL XIX SECOLO

Fra i primi Autori che si sono occupati del territorio compreso nell'area del Foglio Milano va ricordato innanzitutto BREISLAK (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, delle argille, cercando anche di

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

E' in questo periodo storico che si dividono i depositi glaciali da quelli periglaciali e dalle 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.

2. - LE CONOSCENZE GEOLOGICHE DEL XX SECOLO

All'inizio del XX secolo PENCK & BRUCKNER (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 inter-glaciali 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 fa riferimento anche la Carta Geologica d'Italia (in scala 1:100.000) redatta 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).

Le conoscenze sviluppate nel XX secolo, fino agli inizi degli anni '80, relativamente alla geologia di superficie, possono essere così sintetizzate: il Foglio 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 ("Wurm" *Auct.*), localmente incisi dagli alvei olocenici dei principali corsi d'acqua.

Per quanto riguarda invece la geologia di sottosuolo, nell'area esaminata si rinvenivano unità riferibili al substrato litoide, diagenizzato e tettonizzato, i cui termini più recenti risalgono all'Oligocene, su cui poggiano varie unità 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 *et alii*, 1981; CASSANO *et alii*, 1986).

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

a) **Fase di ritiro del mare e di sedimentazione** dei depositi continentali fluvio-lacustri, 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 Wurm.

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

I depositi fluvio-glaciali e fluviali würmiani costituiscono i terreni del cosiddetto “livello fondamentale della pianura”: sono caratterizzati dall'associazione di ghiaie e sabbie con intercalazioni di lenti e livelli di limi e di argille. Al limite inferiore di tale corpo sedimentario compare un livello argilloso, che segna il passaggio all'unità litologica sabbioso-argillosa. Questa situazione rispecchia bene la già nota struttura dei depositi della pianura lombarda, al cui interno sono state individuate tre unità litologiche a granulometria crescente da argillosa a sabbioso-argillosa, fino a ghiaioso-sabbiosa, testimoniando il passaggio dall'ambiente marino, o marino-marginale, a quello continentale. Il limite tra la prima e la seconda unità è posto in corrispondenza del primo livello argilloso, che per l'area in esame si trova ad una profondità media di 20-25 m dal piano campagna.

Le alluvioni attuali e recenti sono rappresentate da un complesso sedimentario di origine continentale fluviale, costituito da ghiaie e sabbie generalmente prive di frazione fine, che occupano la depressione fluviale del Lambro Meridionale.

Di seguito vengono descritte le varie unità presenti nel sottosuolo milanese 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).

Substrato roccioso indifferenziato

Il substrato, che comprende varie formazioni sedimentarie e cristalline con età dal Paleozoico al Terziario, risulta coperto dai terreni quadernari 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 denominata “Unità Villafranchiana”, è costituita da 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, contenuti lenti sabbiose.

Questa unità è rappresentata nel sottosuolo da una potente successione di sedimenti argillosi passanti verso l'alto a depositi sabbioso-argillosi che vanno inspessendosi verso S. In corrispondenza di Milano essi hanno 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 deposizionale 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 pliocenici nella valle dell'Olona, depositi lacustri nel settore nord-orientale, ed in alcuni casi orizzonti argillosi nell'ambito del Ceppo.

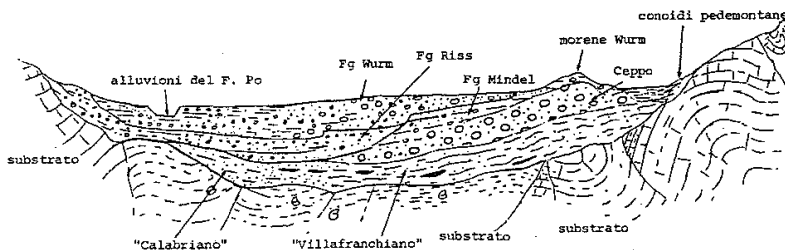


Fig. 1 - Schema geologico delle principali unità che costituiscono la Pianura Padana, secondo l'interpretazione tradizionale (FRANCANI, 1997).

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 da bassa a

scarsa, 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. Superficialmente 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 rinvencono 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.

3. - SVILUPPI 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'identificazioni 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 & BRUCKNER, è BINI nel 1987. Per la prima volta viene effettuato un rilevamento di dettaglio, suddividendo i corpi sedimentari in “complessi glaciali” riconosciuti per le caratteristiche dei profili di alterazioni, 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.

4. - 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.

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

L'autrice, analizzando dettagliatamente la topografia, distingue i terrazzi di **a)** Tradate (suddiviso in due livelli: Tradate s.s. e Lurago Marinone), **b)** Mariano Comense, suddivisibile in due livelli: C.na Cattabrica e Brenna-Mariano comense, **c)** Meda, **d)** Cesano (tutti assegnati con il Mindel auct.), **e)** Lentate e Lazzate (tradizionalmente assegnati al Riss) (Fig. 2).

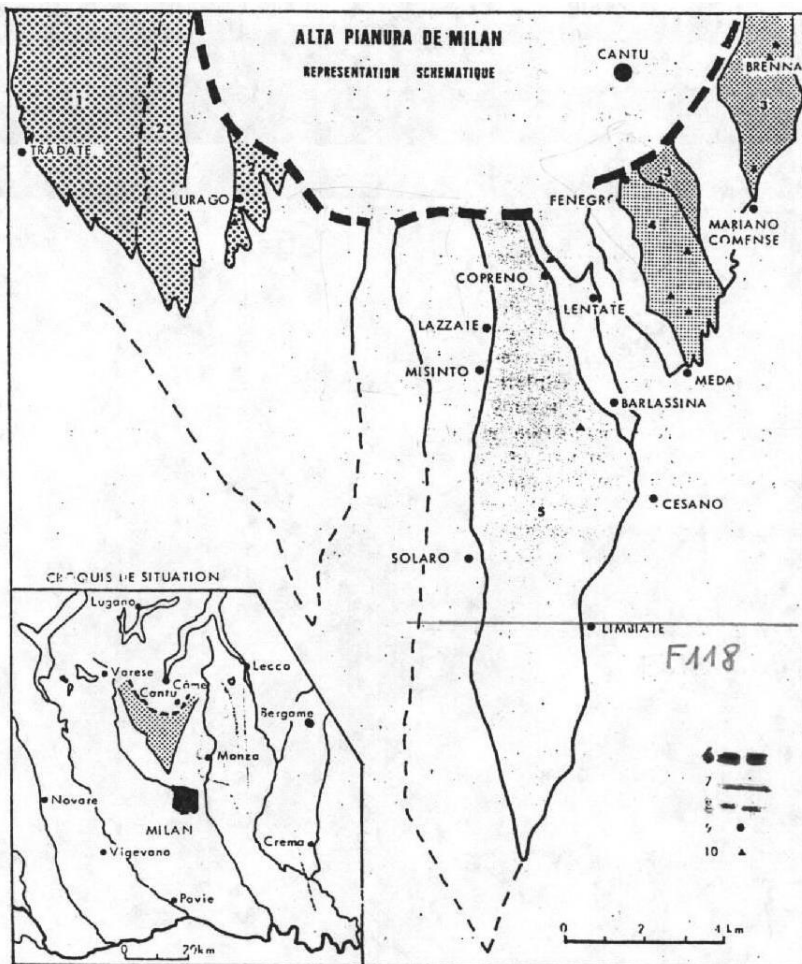


FIG. 1.

1. Terrasse de Tradate. — 2. Terrasse de Lurago Marinone. —
3. Terrasse de Brenna, Mariano Comense et Casina Cattabrica. —
4. Terrasse de Meda. — 5. Terrasse de Cesano. — 6. Tirét grossier :
arc morainique. — 7. Trait continu : limite entre moyennes et basses
terrasses. — 8. Tirét fin : limite approximative de terrasse. — 9. Loca-
lités citées dans le texte. — 10. Profils pédologiques étudiés.

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

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 del Post-Wurm, BILLARD (1973) giunge alla conclusione che cinque periodi verosimilmente interglaciali - separati da periodi freddi d'erosione dei suoli e di depositi 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 1) Meda, 2) Brenna, Mariano Comense e C.na Cattabrica, 3) 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 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.

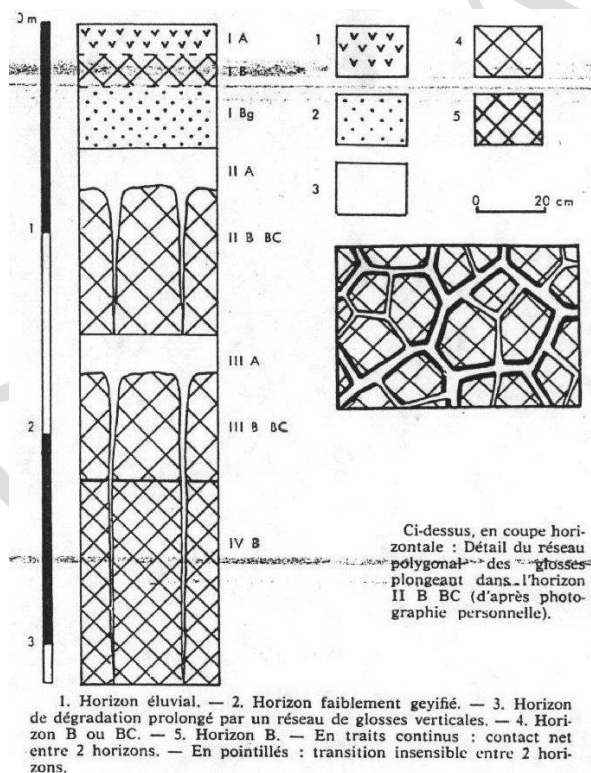


Fig. 3 - Profilo pedologico di Cesano: i limi dell'orizzonte IV B contengono ciottoli e sono interpretati come depositi d'esondazione fluviale. (da BILLARD, 1973)

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*.

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, occorre distinguere 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 questa quadro, il Ferretto non data l'interglaciale Mindel-Riss, come assunto nella stratigrafia tradizionale, ma si è 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 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), in cui è riportata la Tabella 1, rappresenta la sintesi finale di tutti gli 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).

Tabella 1 - Schema riassuntivo dei rapporti tra i terrazzi del'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	

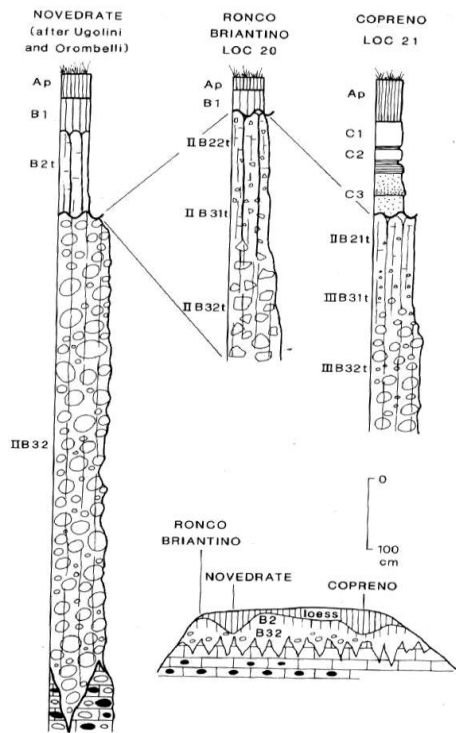


Fig. 49 - The profiles on the «Middle Diluvium» terrace (map unit B51).
Fig. 49 - I profili del terrazzo del Diluvium medio.

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

Un 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 Milano, è pubblicato da CREMASCHI (1987). Tra i numerosi profili esaminati, si trovano quelli di Ronco Briantino e Copreno, entrambi localizzati poco al di fuori del limite orientale del foglio, 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 B22t, II B31t e II B32t). Nella sezione di Novedrate (anch'essa esterna al foglio 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).

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 LFdP (profilo di Robbiate dell'unità C2 'Main Level of the Plain Formation', posto una decina di Km a NE del limite orientale del foglio CARG), si sviluppa nella 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.) della Regione Lombardia.

5. - 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 1:25000) realizzato da ERSAF per il Sistema Informativo dei Suoli dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale (I.I.T.) della Regione Lombardia;
- la cartografia del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale 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 della Regione Lombardia, contiene una accurata ricostruzione dell'andamento degli alvei abbandonati;
- la cartografia associata al Piano Cave dell'anno 2003 della Provincia di Milano.

6. - CENNI STORICI SULL'IDROGEOLOGIA DELLA ZONA

Gli Autori che si sono occupati della descrizione della struttura idrogeologica del sottosuolo milanese hanno utilizzato differenti approcci (Tabella 2), facendo riferimento a criteri litologici (MARTINIS &

MAZZARELLA, 1971), idrostratigrafici (POZZI & FRANCANI, 1981; REGIONE LOMBARDIA - ENI, 2002) o idrogeologici (AVANZINI *et alii*, 1995).

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

SCALA ORDO STRATIGRAFICA (Mazzarella 1971)		SCALA MAGNETO-STRATIGRAFICA (Mazzarella 1971)		BIOSTRATIGRAFIA A MICROFOSSILI (CALCAREI)		UNITÀ STRATIGRAFICHE		UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE E IDROGEOLOGICHE TRADIZIONALI		Regione Lombardia - ENI 2002	
PLEISTOCENE SUPERIORE	PLEISTOCENE MEDIO	PLEISTOCENE INFERIORE (NEOALBANO)	PLEISTOCENE INFERIORE (SANTERAMO)	PLEISTOCENE SUPERIORE	PLEISTOCENE SUPERIORE	SAFASO (Mazzarella 1971)	Francavilla (Pozzi 1981)	SAFASO (Mazzarella 1971)	Francavilla (Pozzi 1981)	SAFASO (Mazzarella 1971)	Regione Lombardia - ENI 2002
M A T U J A M A B R U N E S	14000	14000	14000	14000	14000	LITOZONA GHIAIOSA SPERDOSA	FLUVIOGLACIALE VIGORI Aut. (DAVIGNY/REARIE)	ACQUIFERO TRANSDONALE	UNITÀ GHIAIOSA SPERDOSA	A	
	14000	14000	14000	14000	14000	FLUVIOGLACIALE REARIE MISTEL Aut. (DA medio-artico)			UNITÀ GHIAIOSA SPERDOSA-LINGUA	B	
	14000	14000	14000	14000	14000	"VERRO" Aut.			UNITÀ GHIAIOSA SPERDOSA-LINGUA (CONGLUMERATI E BASALTI)	C	
	14000	14000	14000	14000	14000	LITOZONA SABBIOSA ARGILLOSA	VILLAFRANCHESE	ACQUIFERO PROFONDO	UNITÀ SABBIOSA ARGILLOSA (Pacca intermedia e di transizione)	D	
LITOZONA ARGILLOSA		LITOZONA ARGILLOSA		LITOZONA ARGILLOSA		LITOZONA ARGILLOSA		LITOZONA ARGILLOSA		LITOZONA ARGILLOSA	

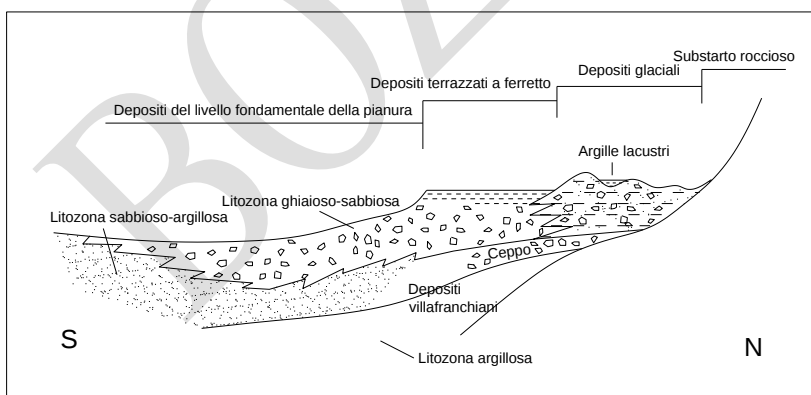


Fig. 5 - Schema delle principali unità idrogeologiche.

Tali 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 & BRUCKNER invece che sulla più recente interpretazione di BINI. 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 acquiferie 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 unità 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 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 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 unità 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, alle quali

sono subordinati livelli sabbiosi, talora cementati, generalmente di modesto spessore; queste unità, che si rinvenivano 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.

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

•**ACQUIFERO TRADIZIONALE**: è l'acquifero superiore, costituito dalle unità ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica, comunemente sfruttato dai pozzi pubblici; la base di tale acquifero è generalmente definita dai depositi Villafranchiani.

•**ACQUIFERO PROFONDO**: è costituito dai livelli permeabili presenti all'interno dei depositi continentali del Pleistocene inferiore ed è a sua volta suddiviso in quattro corpi acquiferi minori.

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

All'interno del corpo acquifero tradizionale viene comunemente distinto un acquifero freatico superficiale, presente fino ad una profondità di 40-45 m dal piano campagna, ed 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.

Nella più recente suddivisione in unità idrostratigrafiche proposta dalla REGIONE LOMBARDIA - ENI (2002) si identificano i seguenti gruppi acquiferi:

- Gruppo Acquifero A: corrisponde alla porzione più superficiale dell'acquifero tradizionale (litozona ghiaioso-sabbiosa) (Tabella 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 (litozona sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica);

- Gruppo Acquifero C: corrisponde all'acquifero profondo della litozona sabbioso-argillosa (Villafranchiano);
- Gruppo acquifero D: corrisponde all'acquifero profondo della litozona argillosa.

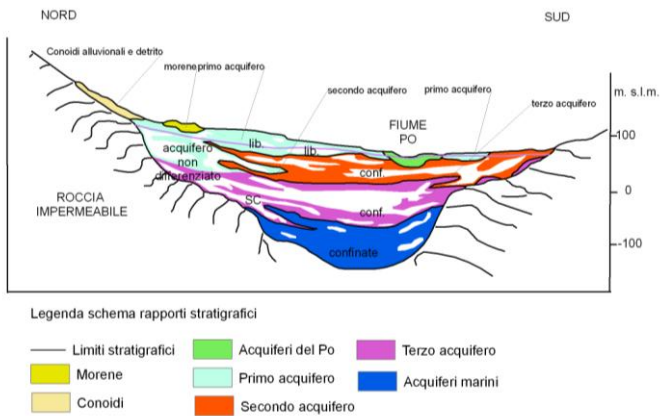


Fig. 6 - Schema geologico della Pianura Padana.

BOZZA

III. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO GENERALE

(a cura di V. Francani, P. Gattinoni, I. Rigamonti, S. Rosselli)

1. - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area ricadente nel Foglio 118 Milano, pari a 579 km² circa, si colloca quasi interamente nel territorio della Provincia di Milano, ad eccezione di una piccola parte nella Provincia 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 è compresa nei Fogli B5 (sezioni B5a5, B5b5, B5c5 e B5d5) e B6 (sezioni B6a1, B6b1, B6c1, B6d1, B6a2, B6b2, B6c2, B6d2, B6a3, B6b3, B6c3, B6d3, B6a4, B6b4, B6c4, B6d4) della Carta Tecnica Regionale della Lombardia in scala 1:10.000 (Fig. 7).

L'area urbanizzata, comprensiva delle zone residenziali e degli insediamenti produttivi, copre circa il 70% del Foglio; 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.

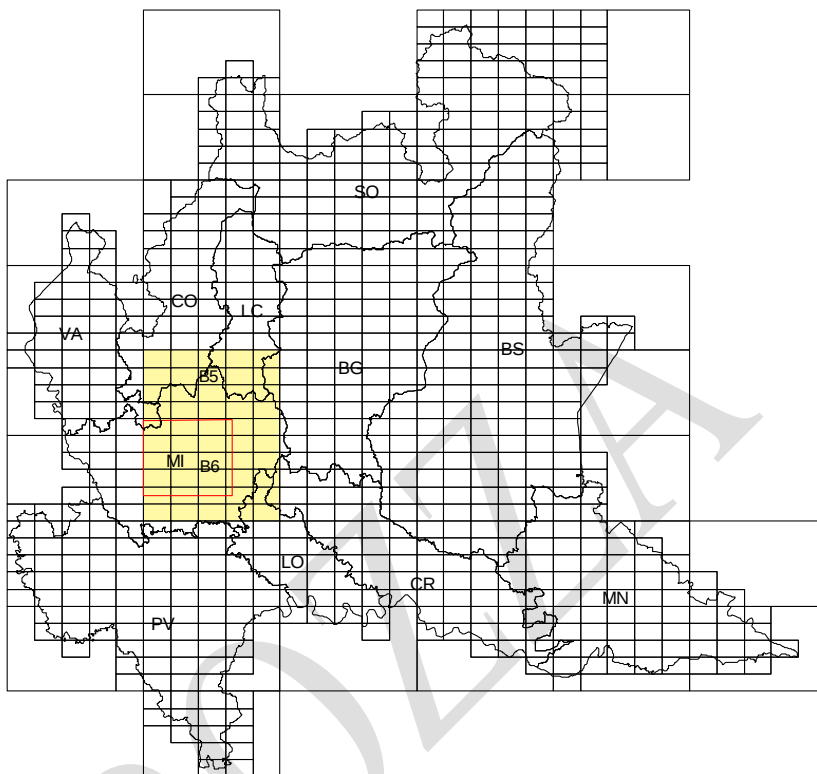


Fig. 7 – Inquadramento geografico del Foglio Milano (evidenziato dal riquadro rosso) nell'ambito della Carta Tecnica Regionale della Lombardia. In giallo sono evidenziati i due fogli della CTR interessati.

2. - INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Per quanto riguarda gli aspetti morfologici, l'area di studio si trova nella media pianura, che può essere approssimativamente delimitata, a N e a S, rispettivamente dalle isoipse di 200 m s.l.m. e di 100 m s.l.m. Analizzando le carte topografiche da un punto di vista altimetrico, si può notare come il terreno salga dolcemente e gradatamente, dapprima in direzione NNO, poi in direzione N fino a raggiungere l'isoipsa 200 m s.l.m. (Fig. 8).

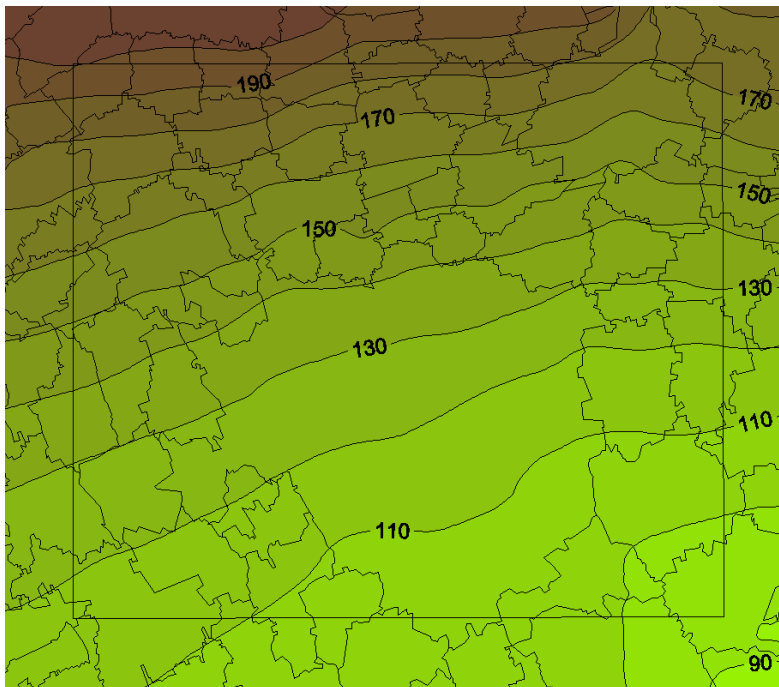


Fig. 8 – Morfologia della zona in esame (il riquadro nero indica l'area del Foglio). Le quote sono espresse in m s.l.m.

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.

3. - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Per effetto della conformazione fisica appena descritta, la rete idrografica naturale di superficie presenta un andamento diretto secondo l'asse N-S (Fig. 9). Ai numerosissimi cavi, canali e rogge che interessano la zona senza soluzione di continuità, si affiancano corsi d'acqua naturali di portata più rilevante come il Fiume Olona, il Fiume Seveso, il Fiume Lambro e il Cavo Vettabbia. In aggiunta a questa rete naturale si trova

quella artificiale, realizzata per mettere in comunicazione da O a E i fiumi maggiori (Ticino e Adda): a questo scopo sono stati realizzati 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, sia per la presenza di laghi di cava, sia sotto forma di fontanili (Fig. 9).

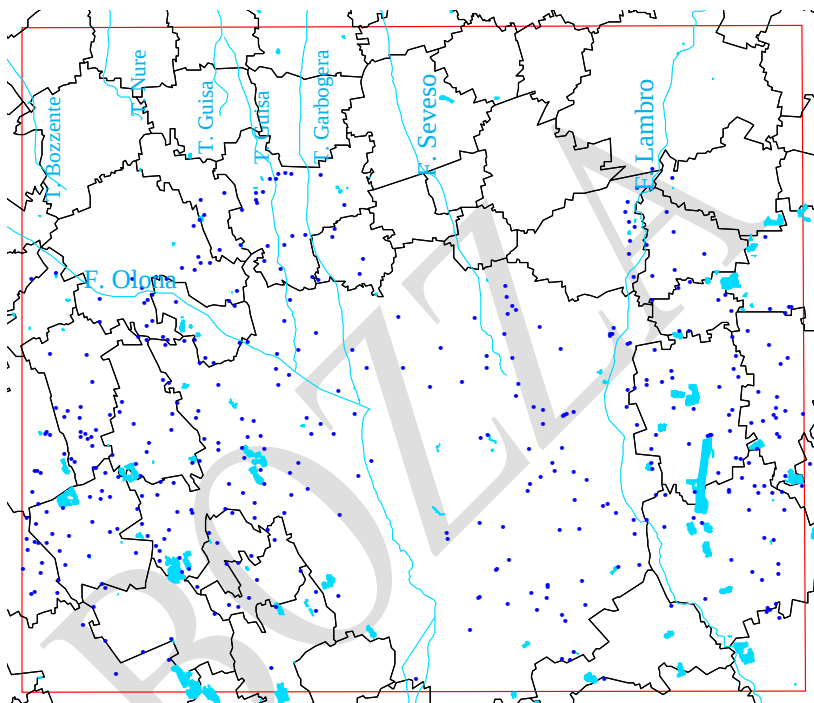


Fig. 9 – Idrografia dell'area di studio: in azzurro sono indicati i laghi di cava e i fiumi,

4. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Il territorio del foglio Milano 118 si colloca nel settore settentrionale della Pianura Padana ed è geologicamente caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali legati all'attività degli affluenti in sinistra idrografica del fiume Po, compresi tra il ramo comasco e lecchese del Lago di Como. Una prima e fondamentale distinzione di tali depositi viene 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.

L'ambito di maggior estensione è il 2) 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 CARG 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.

Questa 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.

4.1 - GEOLOGIA 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 attività ridotta 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 dai 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 oggetto di indagine a scala di bacino (SILEO *et alii*, 2007).

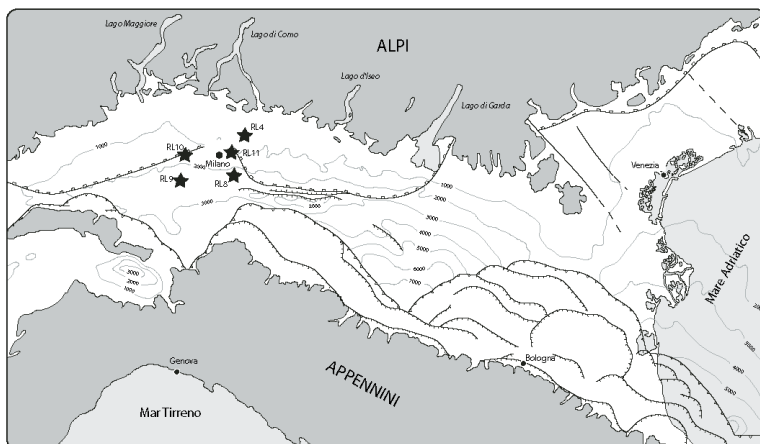


Fig. 10 – Schema strutturale semplificato della Pianura padana con indicazione dei sondaggi CARG e Regione Lombardia (REGIONE LOMBARDIA – ENI, 2002) utilizzati per la realizzazione del foglio (ridisegnato da: PIERI & GROPPi, 1981; BIGI et alii, 1990)

BOZZA

BOZZA

IV. DATI E METODI DI STUDIO

(a cura di D. Battaglia, P. Gattinoni, I. Rigamonti e S. Rosselli)

Le caratteristiche del territorio investigato, caratterizzato da depositi fluviali 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 nonché 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) e l'anno 1999 (Ortofoto aeree IT2000) è illustrato in Figg. 11-12: 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 disponibili una quantità notevole di documenti, sia storici che attuali, che possono risultare 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 Milano al 1888 - (IGM, 1888).



Fig. 12 - Ortoimmagine digitale dell' area del Foglio Milano – TerraItaly IT2000 (BLOM C.G.R., 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 sono stati eseguiti seguendo la Guida al Rilevamento della Carta Geologica d'Italia (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1992) e successive circolari integrative il cui dettaglio è descritto nel Capitolo V.

Di seguito si descrivono le tipologie di dato utilizzate e le metodologie di indagine impiegate per la realizzazione degli elementi presenti nelle carte 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 dalla Regione Lombardia per il progetto CARG raccoglie informazioni provenienti da numerose fonti pubbliche (Amministrazioni, Ferrovie dello Stato, ANAS, ENEL, Aziende Municipalizzate, AGIP) e private (imprese di perforazione e liberi professionisti). Una gran parte delle informazioni riguarda i pozzi per acqua reperiti presso il Servizio Informativo Falda (S.I.F.) della Provincia di Milano la cui Banca Dati ha fornito una importante base per l'ubicazione dei dati e l'acquisizione di stratigrafie. Sono state 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 può passare 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.

Per la realizzazione della carta di superficie si è proceduto ad un rilevamento geologico di dettaglio utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale prodotta dalla Regione Lombardia alla scala 1:10.000 e aggiornata al 1994. Il rilevamento di campagna è stato integrato con le informazioni pedologiche provenienti da ERSAL (1993, 1999a,b) e dalle successive integrazioni presenti nel Sistema Informativo dei Suoli dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale (I.I.T.) della 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 assai scarsa. Poiché l'individuazione delle forme ed in particolare modo delle discontinuità morfologiche, è uno degli elementi chiave del rilevamento quaternario di pianura questa situazione ha reso estremamente problematico il rilevamento geologico in ampi settori del foglio. In questo contesto si è cercato di ottenere informazioni 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 levate aeree successive utilizzate ovvero 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 2003) alla scala circa 1:40.000. L'analisi dei fotogrammi ha permesso di individuare la presenza di elementi geomorfologici quali scarpate e paleovalle.

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 di numerosi voli aerei effettuati in epoche diverse e l'analisi di cartografia storica. La scelta degli elementi antropici da rappresentare 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 della 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.

Tabella 3– Riprese aeree utilizzate per il Foglio 118 Milano

Anno	Nome Volo	Supporto	Proprietario	Scala fotogrammi
1999	Terraitaly	Colori	Regione Lombardia	1:40.000
1994	TEM2	B/N	Regione Lombardia	1:24.000
1980	TEM1	Colori	Regione Lombardia	1:21.000
1955	GAI	B/N	IGM	1:32.000
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 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, relative al XV e XVI secolo, si riferiscono unicamente 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 (Tabella 4).

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 nel 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, in 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 viene data dalla cartografia compilata dall'Istituto Geografico Militare che, negli anni 1880-1890 ha eseguito la prima levata topografica delle tavolette del

Foglio 45 Milano della Carta d'Italia. Le 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.

Tabella 4 - Tabella 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 sono state fornite dalla Soprintendenza ai Beni Archeologici della Lombardia. I documenti messi a disposizione riguardano la cartografia dei principali ritrovamenti

archeologici effettuati 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.

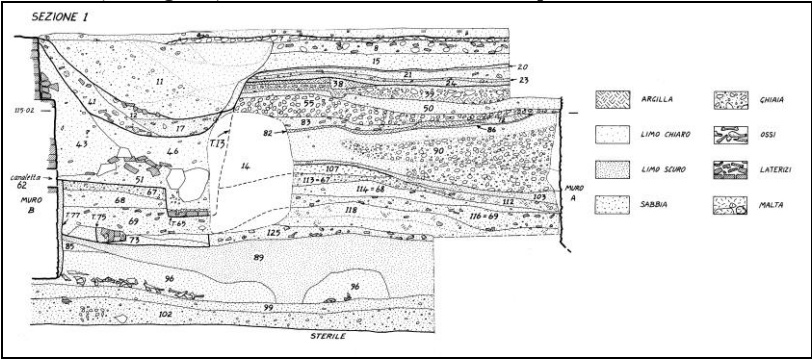


Fig. 13 - Esempio di descrizione stratigrafica di dettaglio di uno scavo archeologico in via Porticata (CAPORUSSO, 1990).

Queste informazioni unite ai dati ricavati dai sondaggi relativamente ai 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 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.

Tabella 5 - Dati Idrologici utilizzati

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	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 due fasi di lavoro successive:

- analisi dei dati pregressi:
- ricostruzione preliminare dei rapporti stratigrafici riconosciuti e loro verifica ed affinamento tramite realizzazione di apposite indagini geognostiche e sismiche.

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).

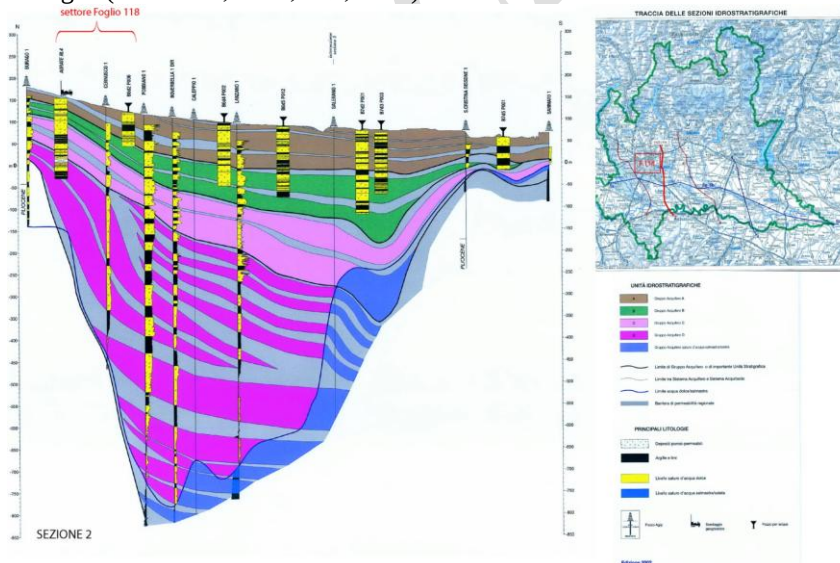


Fig. 14 - Sezione geologico-idrogeologica di sottosuolo ricavata da REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002).

Nell'area del Foglio 118 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, tramite l'utilizzo dei log stratigrafici a disposizione, nel sottosuolo dell'area del Foglio 118 Milano.

2.2 - BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO

La cartografia geologica di sottosuolo è stata principalmente realizzata attraverso lo studio della Banca Dati Geologica di Sottosuolo della Regione Lombardia. Questa banca dati è stata realizzata per il progetto del Foglio 118 Milano e successivamente implementata a scala regionale. Già nel corso delle attività per la realizzazione del foglio sono stati raccolti ed utilizzati per l'interpretazione dati in un areale più ampio di quello del Foglio 118 come riportato in figura nel Foglio allegato di Sottosuolo.

La banca dati utilizzata raccoglie i seguenti elementi puntuali rappresentativi di:

- Pozzi per acqua (2850);
- Sondaggi a carotaggio continuo (2210);
- Prove penetrometriche dinamiche (950)
- Prove penetrometriche statiche (20);
- Pozzi realizzati da ENI per la ricerca di idrocarburi (68)
- Trincee esplorative (88)
- 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 e correlazioni in sezione. Successivamente a questa prima fase sono stati progettati e realizzati 4 sondaggi a carotaggio continuo di 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 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 infatti permettono una osservazione diretta delle litologie, la ricostruzione ambienti deposizionali e l'analisi di facies. Assieme alla descrizione stratigrafica delle carote sono state eseguite analisi petrografiche, palinologiche e magnetostratigrafiche riportate in Appendice 2.

Gli elementi ricavati dai sondaggi hanno quindi permesso di verificare le sezioni geologiche realizzate e di definire in maniera più precisa il modello geologico del sottosuolo. Nel foro di sondaggio delle perforazioni eseguite per il progetto CARG è stata effettuata, tramite sonda Gamma Ray, una registrazione in continuo del gamma naturale restituita in un apposito log rappresentato in Appendice 2. La realizzazione di log geofisici con sonda Gamma Ray è stata svolta con l'intento di tarare la risposta della sonda alle condizioni geologiche locali. Questo metodo di indagine è stato successivamente applicato in alcuni pozzi per acqua del Comune di Milano, con l'intento di migliorare il dettaglio stratigrafico rispetto ai dati ricavati dai *cuttings* della perforazione a distruzione (ANDRONI & ANGERETTI, 2002) rendendo più affidabile l'interpretazione del modello di sottosuolo.

I carotaggi continui hanno quindi fornito informazioni ad altissima risoluzione verticale, raccolti con metodi differenti (sedimentologia, petrografia, paleomagnetismo, palinofacies, log geofisici etc.). Tuttavia si tratta di dati numericamente limitati che sono però stati integrati con la grande mole di stratigrafie per piezometri e pozzi per acqua disponibili sul foglio Milano. Le stratigrafie di pozzo presentano profondità variabili, tuttavia un gran numero di queste si spinge oltre i 50-60 metri, permettendo di riconoscere i principali cicli deposizionali e di tracciare le principali superfici di discontinuità stratigrafica (supersintema lombardo inferiore e supersintema lombardo superiore). L'analisi delle stratigrafie di pozzo si è basata su una attenta analisi delle variazioni granulometriche verticali, utilizzate come indicatori di trend e posizionali. La possibilità di ottenere informazioni sedimentologiche dai sondaggi, ha fornito una chiave di lettura per la interpretazione delle stratigrafie. Nei sondaggi si è infatti documentata una significativa organizzazione in cicli metrici con *trend fining upward*. Le stratigrafie dei pozzi, per quanto semplificate, hanno permesso di riconoscere a diversa scala la stessa organizzazione in cicli *fining upward*, permettendo di identificare superfici marcate da principali salti granulometrici (grossolano su fine). Questo approccio si è mostrato particolarmente utile all'interno di aree con alte concentrazioni di stratigrafie (campi pozzi) dove è stato possibile correlare singoli cicli attraverso pozzi spesso perforati da imprese diverse in tempi diversi. In molti casi è inoltre stato possibile tracciare queste superfici anche in aree relativamente distanti, permettendo di integrare i dati di sondaggi con le stratigrafie dei pozzi. Questo tipo di approccio ha quindi permesso di estrarre informazioni integrate con i dati dei sondaggi e di interpolare con maggiore precisione le principali superfici stratigrafiche presenti nel sottosuolo del Foglio Milano. L'identificazione di *trend* e superfici principali nelle stratigrafie dei pozzi è stato utilizzato come criterio per la

costruzione delle sezioni geologiche nel sottosuolo, che hanno quindi integrato aspetti idrogeologici con i dati stratigrafici.

3. - CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA

Data l'importanza che la tematica idrogeologica assume in un'area densamente urbanizzata come quella del foglio Milano, parallelamente alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo sono state realizzate cartografie tematiche finalizzate alla ricostruzione dell'andamento delle superfici idrogeologiche principali, alla rappresentazione di alcuni 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 per la caratterizzazione idrogeologica dell'area e la stesura del Foglio allegato di Sottosuolo.

3.1 - ACQUISIZIONE ED ORGANIZZAZIONE DEI DATI IDROGEOLOGICI

Un'ampia parte dello studio è stata dedicata all'identificazione dei diversi corpi acquiferi e alla valutazione dei loro parametri idrogeologici.

I dati utilizzati a questo scopo sono stati i seguenti:

- le stratigrafie, derivanti dai numerosi pozzi e sondaggi presenti sul territorio in esame;
- le prove di portata (prove di collaudo dei pozzi e prove di pompaggio) reperiti tramite il CAP, il Genio Civile ed alcuni archivi privati;
- le piezometrie sia storiche sia derivanti dalle campagne piezometriche condotte a scala provinciale;
- i dati idrochimici forniti dalla Provincia di Milano.

3.2 - IMPLEMENTAZIONE DI UN DATA-BASE IDROGEOLOGICO

Al fine di ricostruire con un maggiore dettaglio la struttura idrogeologica dell'area, sulla base delle sezioni idrogeologiche precedentemente illustrate si sono identificati i diversi gruppi acquiferi in tutte le oltre 100 stratigrafie disponibili, così da procedere all'implementazione di un data-base idrogeologico, utile per la successiva fase di elaborazione. In particolare, l'attività si è articolata nelle seguenti fasi:

- individuazione dei limiti geometrici tra i diversi gruppi acquiferi attraverso l'analisi dei dati stratigrafici;
- correlazione e classificazione dei dati (interpretazione qualitativa dei dati);
- implementazione del database;

Attraverso la realizzazione di numerose sezioni all'interno dell'area oggetto di studio sono stati individuati per ciascun punto di indagine a disposizione (pozzo, sondaggio, trincea) i limiti che identificano la geometria degli acquiferi e degli aquitard. Ogni dato è stato inserito nella tabella del database denominata "GEOMETRIA ACQUIFERO" (Tabella 6), fornendo nel contempo una classificazione del dato in funzione della sua attendibilità (Tabella 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.

Tabella 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"

Tabella 7 - Classificazione dell'attendibilità del dato idrogeologico.

ATTENDIBILITA'	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 nel Foglio allegato di Sottosuolo.

BOZZA

V. STRATIGRAFIA

(a cura di F. Berra, I. Rigamonti, S. Rosselli)

1. - CRITERI DI RILEVAMENTO DEL QUATERNARIO

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

- UBSU: sono state usate tutte le volte che i corpi geologici presentavano superfici limite caratteristiche, riconoscibili e tracciabili, con caratteristiche interne insignificanti al fine della caratterizzazione 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. Per 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 "allunità" nella cartografia geologica alla scala 1:10.000 realizzata da Regione Lombardia, fatto salvo per le differenze connesse alla diversa scala di rappresentazione.

-unità litostratigrafiche: sono state usate 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:

-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.

2. - SUPERSINTEMA DEL BOZZENTE (BO)

Definizione

Ghiaie massive pedogenizzate: *depositi fluvioglaciali*, Superficie limite superiore caratterizzata da suoli evoluti; colori 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 Mindelliano) (COMIZZOLI *et alii*, 1969); Fluvioglaciale Mindel (MONTRASIO *et alii*, 1990).

Area di affioramento

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

Litologia

L'unità è costituita:

- *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, rocce terrigene.

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 nei seguenti elementi:

- una 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.

▪ una 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)

Superfici limite e rapporti stratigrafici

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 fluvioglaciale alimentata dai lobi lariani del ghiacciaio dell'Adda durante l'evento glaciale Bozzente (Foglio 096 Seregno).

Nel foglio Milano ricade solo il settore terminale di questo pianalto, che si estingue all'altezza di Ospiate. A E il sintema è delimitato da una scarpata netta, con dislivelli massimi dei 10 m circa, che può essere agevolmente seguita fino all'incrocio con il canale Villoresi; 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 supersintema 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, Cisinara, 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).

3. - SINTEMA DI BINAGO (BIN)

Definizione

Ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa: *depositi fluvio glaciali*. 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 (ZUCCOLI, 1997), corrispondente a: Diluvium Medio (Fluvio glaciali rissiano I) (COMIZZOLI *et alii*, 1969); Fluvio glaciali 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 fluvio glaciali*: ghiaie a prevalente supporto clastico; matrice sabbiosa e sabbioso limosa. Clasti arrotondati/subarrotondati, centimetrici (in prevalenza) e decimetrici. Da massive a grossolanamente stratificate.

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.

Superfici limite e rapporti stratigrafici

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 fluvio-glaciali 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).

4. - SUPERSINTEMA DI VENEGONO (VE)

Definizione

Limi sabbioso argillosi, limi argillosi con clasti alterati sparsi: *loess colluviati*; limi sabbiosi, sabbie limose, ghiaie poligeniche poco alterate: *depositi fluviali*.

Sinonimia

Unità istituita da ZUCCOLI (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 supersistema 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, in quanto i depositi dell'unità rappresentano, in genere, gli ultimi eventi sedimentari.

Il limite inferiore è una superficie erosionale tagliata nelle ghiaie del supersistema 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 supersistema di Venegono rappresenta un range di età variabili, la più antica delle quali è attribuita al Pleistocene Medio sulla base del fatto che i depositi sono interni alle valli incise nel supersistema del Bozzente (Groane).

5. - 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 Milano.

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

Nel Foglio 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.

Tabella 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

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.

*REM = rocce endogene metamorfiche

**LFP = livello fondamentale della pianura

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. In area Verbano, la radiodatazione di suoli sepolti attribuiti a questo supersintema ha fornito età comprese tra 26.500 e 32.200 anni C¹⁴ (DA ROLD, 1990).

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

5.1 - UNITA' 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

E' 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 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.

5.2 - UNITA' 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 7,5YR a 10YR. 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 nastiformi 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.

Tabella 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?).

5.3 - UNITA' DI CADORAGO (BEE)

Definizione

Ghiaia a supporto clastico o di matrice, con matrice sabbiosa; intercalazioni sabbiose; sabbie limoso argillose; limi con clasti sparsi: *depositi fluvio glaciali*.

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 distinte 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.

Tabella 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 fluviale 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 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).

5.4 - 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; colori della matrice 10YR e 7,5YR; presenza di suoli sepolti. Copertura loessica non osservata.

Litologia

L'unità è costituita da:

- *depositi fluviglaciali*: 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 della pianura, giungendo fino al limite meridionale del Foglio e si differenziano per la presenza di successioni sommitali, litologicamente e arealmente variabili.

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

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

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

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

sezione	età ^{14}C	età calibrata ³ (2 σ)
Triulzia (Rho)	4690 $\pm$ 45	5371 - 5486 BP (3367 - 3536 BC)
Trezzano sul Naviglio	3265 $\pm$ 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 all'Olocene Medio.

- 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 supersistema di Cantù (unità di Ronchetto delle rane).

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

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 2 σ (σ = deviazione standard), sono espresse in anni dal presente (BP) e avanti/dopo Cristo (BC/AD). Per *presente* si intende, convenzionalmente, l'anno 1950.

Nella parte settentrionale del Foglio, fino all'altezza di Origgio-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 Seregno).

A S del precedente areale fino al termine del Foglio, la composizione petrografica è dominata da rocce endogene-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 dell'unità 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 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.

2) 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 1999a,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 (vedi Foglio Seregno).

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 sul sintema di Cadorago. In una cava presso Vimodrone, è stato possibile osservare direttamente il limite inferiore: le ghiaie del sintema, 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 al sintema di Cadorago. L'andamento della superficie erosionale è marcatamente planare (Fig. 15).

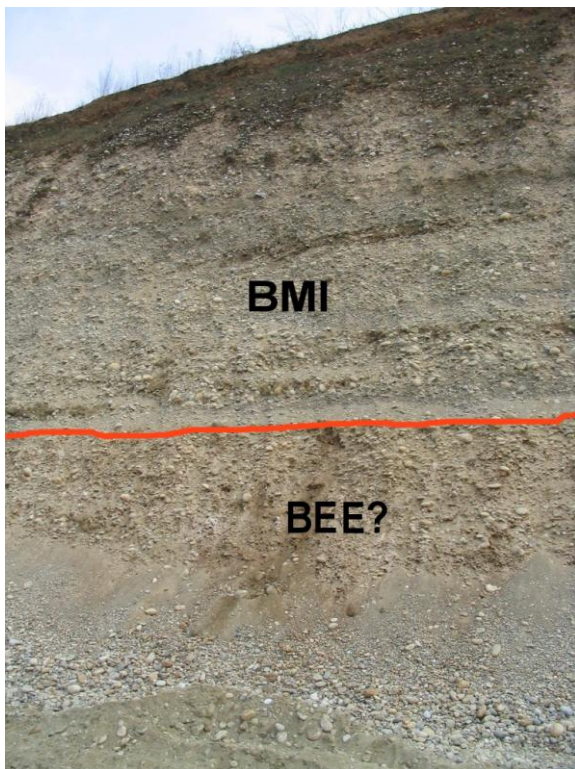


Fig. 15 - Suolo sepolto dal sintema di Minoprio (BMI), ad una profondità di circa 6-7 m (cava G & B, Vimodrone)

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 percettibilità.

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 fluvioglaciale alimentata da scaricatori provenienti dagli apparati morenici di Veduggio-Renate-Cremella (Lobo glaciale della Brianza).

5.5 - UNITA' DI BULGAROGRASSO (BXE)

Definizione

Ghiaie a prevalente supporto clastico; matrice sabbiosa o sabbioso limosa: *depositi fluvioglaciali*.

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 fluvioglaciali 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 sabbioso 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 supersintema del Torrente 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 del Gronae 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.

6. - SINTEMA DI CANTÙ (LCN)

Definizione

Ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa; sabbie ghiaiose; sabbie, sabbie limose, limi sabbioso argillosi massivi *depositi fluvio-glaciali*.

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 in tre 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 fluvio-glaciali* 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 C^{14} , 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.

6.1 - 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 Alfisuoli 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).

6.2 - 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 Cormanò, 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.

6.3 - 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.

6.4 - 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.

6.5 - SUBSISTEMA DI RONCHETTO DELLE RANE (LCN₄)

Definizione

Sabbie, sabbie limose e limi, da massive a laminate; limi e limi argillosi massivi: *depositi fluvio-glaciali a bassa energia*.

Superficie limite superiore caratterizzata da suoli moderatamente evoluti (Alfisuoli); colori da 2,5Y a 10YR; 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, 1969).

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 supersistema di Besnate stratigraficamente più prossime, che con il subsistema 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.

7. - SINTEMA DEL PO (POI) (UNITÀ POSTGLACIALE)

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, ad eccezione di brevi tratti lungo il corso del Lambro, dove sono presenti depositi olocenici più recenti, affiancati all'alveo attuale.

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

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

7.1 - 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'Olona si fonde con la superficie principale della pianura.

7.2 - 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

7.3 - 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 subsintema 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.

7.4 - 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 endogene-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, 1969).

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.

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* 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; b) tra Bolgiano e Carpianello la precedente superficie viene incisa (kp1 in Fig. 16) e si forma un nuovo fondovalle locale⁴; c) a S di Carpianello si ripete lo stesso fenomeno (kp2), con la creazione di un ulteriore fondovalle locale e di uno o forse due nuovi ordini di terrazzi.

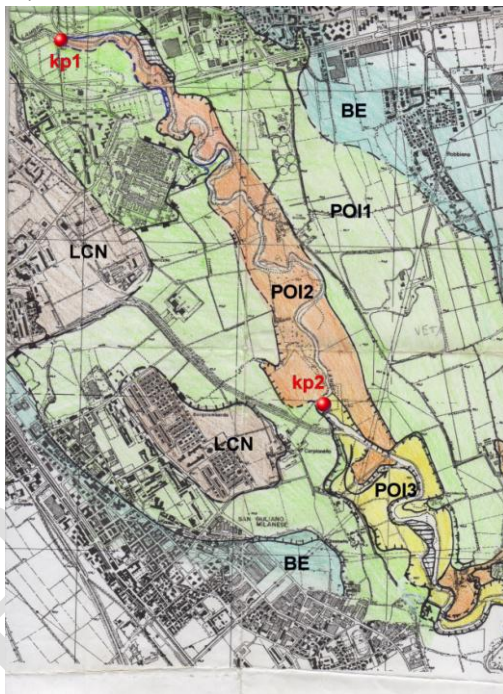


Fig. 16- Superfici postglaciali nella valle del Lambro a S di Milano (kp = knickpoint; BE = supersintema di Besnate; LCN = sintema di Cantù; POI = sintema del Po)

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.

7.5 - 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).

8. - STRATIGRAFIA DELLE UNITÀ DI SOTTOSUOLO

(Restano da ampliare alcune parti delle descrizioni delle unità di sottosuolo e da integrare considerazioni sulle unità sottostanti al "Q1" (Plioceniche Mioceniche p.p.) a commento della Carta della base del Pliocene presente nel Foglio Allegato 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. La stratigrafia fisica volge all'identificazione di sequenze di strati delimitati da superfici-tempo ed alla relazione genetica tra sistemi deposizionali coevi; tale approccio ha portato nel corso degli anni all'utilizzo di unità quali le Unità Allostratigrafiche (NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE, 1993; POAG & WARD, 1993), di unità delimitate da superfici di discontinuità (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units* – UBSU) (SALVADOR, 1994) o di unità legate a cicli di eventi come le Unità Stratigrafico-deposizionali (VAIL, 1987, POSAMENTIER *et alii*, 1988; GALLOWAY, 1989). Per il Foglio 118 sono state 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 maggiore flessibilità rispetto a quanto indicato dal Codice Internazionale di Stratigrafia. L'individuazione di limiti inconformi nei depositi di sottosuolo della Pianura Padana è infatti frequentemente ostacolato 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): la ricostruzione delle unità stratigrafiche di sottosuolo e del loro assetto geometrico per l'area del foglio 118, vista la tipologia e profondità dei dati a disposizione (pozzi per acqua e sondaggi geognostici), si è concentrata sul riconoscimento delle due superfici di discontinuità geometricamente più elevate (superficie “rossa” e superficie “gialla”).

Nell'ambito della definizione delle unità di sottosuolo, è stato necessario definire una nomenclatura stratigrafica limitata al settore di studio. Il livello di risoluzione ottenibile dai dati di sottosuolo non ha reso possibile riconoscere e seguire in profondità le singole unità riconosciute in superficie: ciò ha portato a raggruppare le unità distinte in affioramento (sintemi) in unità di rango più elevato (supersintemi) riconoscibili in pozzi, sondaggi e linee sismiche. L'elevazione a rango di supersintema di queste unità è legata al fatto che esse comprendono all'interno più sintemi riconosciuti in superficie (cfr. Schema dei rapporti stratigrafici Foglio allegato di Sottosuolo). La suddivisione utilizzata nel Foglio Milano è stata confrontata con quella definita per altri settori della Pianura Padana: dal punto di vista stratigrafico, le due unità introdotte (supersintema Lombardo Superiore-SLS e supersintema Lombardo Inferiore-SLI) mostrano una probabile equivalenza con le unità istituite dal Progetto CARG – Regione Emilia-Romagna, e rispettivamente con il sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e con il sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI), che insieme costituiscono il supersintema Emiliano-Romagnolo. La mancanza di continuità fisica nella cartografia geologica tra il Foglio Milano ed i fogli della Regione Emilia Romagna unita al diverso rango gerarchico delle unità confrontate, impediscono di dimostrare in dettaglio l'effettiva sinonimia tra le due classificazioni. Tuttavia, si ritiene che con il completamento del rilevamento geologico nella Pianura Padana sarà possibile risolvere questa problematica stratigrafica e nomenclaturale, mirando ad uniformare sia le nomenclature sia il rango gerarchico delle unità.

L'identificazione di superfici principali di discontinuità ha portato dunque a identificare le seguenti unità di sottosuolo: supersintema

Lombardo Superiore (SLS), compreso tra la superficie topografica e la superficie di discontinuità “gialla”; supersintema Lombardo Inferiore (SLI), compreso tra la discontinuità “gialla” e la discontinuità “rossa. In sottosuolo, il riconoscimento delle due superfici è avvenuto, partendo dal quadro di riferimento delineato nello studio Regione Lombardia – ENI (2002), effettuando l’analisi dei cicli deposizionali di diverso ordine gerarchico riconoscibili nelle stratigrafie di pozzi e sondaggi e identificando i livelli pedogenizzati (paleosuoli, o livelli ipoteticamente interpretabili come tali, nel caso delle descrizioni stratigrafiche di pozzo), considerati importanti segnali di possibili superfici di discontinuità. Fondamentali sono state inoltre 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 una analisi stratigrafica e sedimentologica di dettaglio. Tale analisi, supportata da approfondimenti palinologici e magnetostratigrafici, ha permesso di verificare il modello stratigrafico e di localizzare puntualmente le principali superfici di discontinuità stratigrafica, poi tracciate nell’area del foglio interpolando in sottosuolo tramite una fitta griglia di sezioni, costruite con i dati presenti nella Banca Dati Geologica di Sottosuolo.

8.1 - SUPERSINTEMA LOMBARDO SUPERIORE – SLS

Questa unità è caratterizzata dalla prevalenza di ghiaie grossolane in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane. Litologie fini (silt ed argille) sono talora presenti, pur con ridotta continuità laterale. Il riconoscimento 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 in corrispondenza di depositi fini arrossati interpretabili come paleo suoli, unitamente a depositi colluviali riconosciuti in sondaggio o dedotti dalle descrizioni stratigrafiche presenti nella Banca Dati Geologica di Sottosuolo.

Le unità di superficie mappate nel Foglio sono verosimilmente comprese in questa unità di sottosuolo (v. Schema dei rapporti stratigrafici del Foglio Allegato di Sottosuolo), anche se permangono alcuni dubbi sulla posizione dell’unità di superficie più antica (supersintema del Bozzente).

L’ambiente deposizionale è stato interpretato come piana alluvionale, di tipo braided prossimale.

L’età della base del supersintema è attribuita al Pleistocene medio, indicativamente intorno ai 400-450.000 anni BP (REGIONE LOMBARDIA –

ENI, 2002). Il limite superiore corrisponde alla superficie topografica attuale (Olocene).

8.2 - SUPERSINTEMA LOMBARDO INFERIORE – SLI

Ghiaie medie e grossolane, sabbie grossolane e medie, talora fini, in livelli da medi a spessi. I livelli pelitici presenti (silt ed argille) mostrano talora una discreta continuità laterale. Si riconoscono a luoghi delle grossolane ciclicità non presenti in SLS. L'ambiente deposizionale è stato interpretato come piana alluvionale, di tipo braided distale.

Nella parte basale dell'unità, nel settore settentrionale del Foglio, sono presenti livelli ghiaiosi cementati tradizionalmente attribuiti al "Ceppo" *Auctt.* (v. Tabella 2 Capitolo II).

La base di questo supersintema, marcata dal repentino cambio sedimentologico rispetto alla sottostante unità Q1, è legata all'instaurarsi delle glaciazioni Pleistoceniche. Le analisi magnetostratigrafiche effettuate sulle carote dei sondaggi CARG (Appendice 2 – cap.5) permettono di datare per interpolazione la superficie di base del SLI, di confermare l'età di 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 allo stadio isotopico marino 22 (MIS22), che rappresenta il primo marcato raffreddamento climatico del Pleistocene a scala globale. Anche la scomparsa di *Tsuga*, registrata dalle analisi polliniche effettuate sulle carote di sondaggio, contribuisce a testimoniare il raffreddamento delle condizioni climatiche (MUTTONI *et alii*, 2003).

L'età della base del supersintema Lombardo Inferiore è pertanto attribuibile al Pleistocene medio (circa 870.000 anni BP).

8.3 - SUPERSINTEMA DEL QUATERNARIO MARINO – Q₁

L'unità sottostante alla discontinuità di base del supersintema Lombardo Inferiore (SLI) (superficie "rossa", cfr. Schema dei rapporti stratigrafici Foglio allegato di Sottosuolo e REGIONE LOMBARDIA – ENI, 2002) è denominata in letteratura supersintema "Quaternario marino" (cfr. REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998; CARTA GEOLOGICA D'ITALIA - F° 181, 2009), ed è caratterizzata da depositi prevalentemente marini (di piattaforma) e marino-marginali (di piattaforma interna e costieri) che, verso l'alto, evolvono in depositi transizionali (di delta e delta-conoide) e continentali (di piana alluvionale): tale evoluzione è documentata dai pozzi ENI-AGIP presenti nell'area (cfr. Sabbie di Asti *p.p. Auctt.*) e dalla parte più profonda dei quattro sondaggi CARG realizzati nell'area del Foglio o in aree immediatamente limitrofe (Sondaggio RL4 Agrate).

La porzione sommitale del supersintema, perforata dai sondaggi CARG – F° 118, è costituita da cicli di spessore plurimetrico, costituiti da porzioni prevalentemente fini (sabbie fini e molto fini, sabbie limose, limi ed argille) di piana alluvionale (canale/argine e piana inondabile), con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi più grossolani, attribuibili a depositi di canale fluviale.

Le analisi palinologiche condotte sulle carote dei sondaggi CARG riconoscono la presenza di *Tsuga* e di uno spettro pollinico testimoniante un clima da temperato-caldo a caldo-umido.

Nel sondaggio RL 4 Agrate, limitrofo al limite nord orientale del Foglio ed utilizzato per le correlazioni stratigrafiche, sono stati perforati depositi transizionali di delta e delta conoide, rappresentati da sequenze cicliche di ghiaie ben classate, talora fossilifere, alternate a limi fossiliferi marini (cfr. REGIONE LOMBARDIA – ENI, 2002).

La base dell'unità Q1 nel settore considerato è posta tentativamente in corrispondenza ad una discontinuità di valenza regionale, qui rappresentata da un caratteristico livello grossolano (ghiaie) intercettato dai pozzi ENI a circa 1000 m di profondità dal p.c. ed evidenziato da un evidente riflettore nella sezione sismica ad alta risoluzione "Bosco in Città".

Età: Pleistocene inferiore

BOZZA

VI. ASPETTI DI MODIFICAZIONE ANTROPICA

(a cura di D. Battaglia e A. Ceresa Mori)

1. - ATTIVITA' ANTROPICA

La superficie 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 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) e 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; 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 e modifica 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 mq, profondità superiore a 3-5m 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. 17) 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

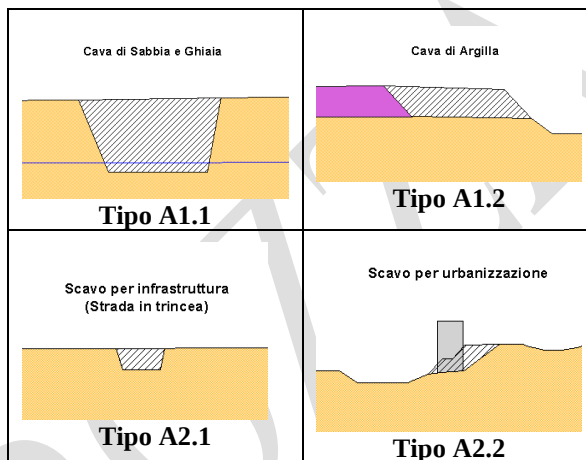


Fig. 17 - Classi di scavo.

B - Riporti: Aree di dimensioni planimetriche superiori a 10.000-20.000 mq, altezza 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 aree di colmatatura di depressioni naturali. I riporti possono essere suddivisi in 2 categorie principali (Fig. 18), in base alla finalità di utilizzo e alla tipologia di materiale utilizzato:

B1 - Riporto

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

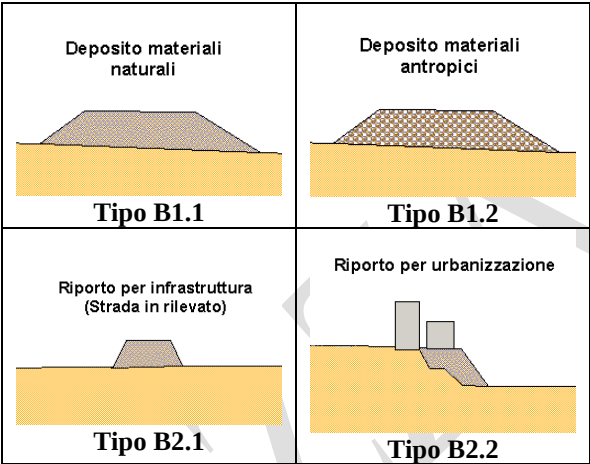


Fig. 18 - Classi di Riporto.

C - Riempimenti: Aree di dimensioni planimetriche superiori a 10.000-20.000 mq, altezza 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 raggruppati secondo le medesime categorie definite per i riporti (Fig. 19).

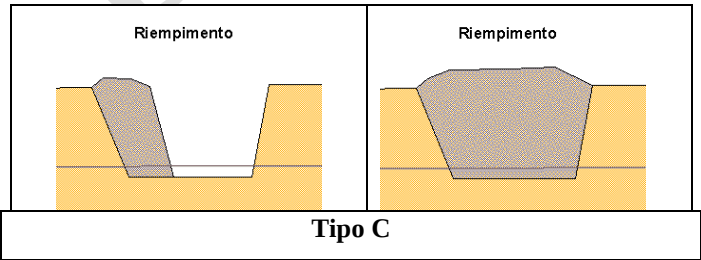


Fig. 19 - Classi di riempimento.

D - Riprofilature: Aree di dimensioni planimetriche superiori a 50.000-100.000 mq, 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. 20). In tale classe ricadono ad esempio le aree urbanizzate, gli aeroporti, le aree di lottizzazione, le aree industriali e gli impianti sportivi.

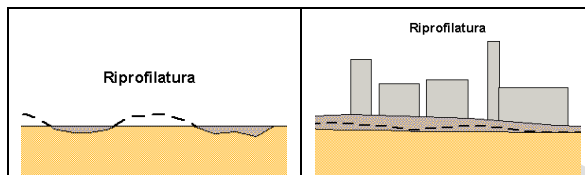


Fig. 20 - Classi di riprofilatura (la linea nera rappresenta l'andamento naturale della superficie topografica).

La distribuzione areale delle varie classi, riconosciute nell'ambito del Foglio 118, 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.

Tabella 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, ricopre 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 soggetta a modifiche da attività antropiche riguarda una superficie di quasi 355 kmq, pari al 61,3% della superficie del Foglio.

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 ed 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).

3.1 - SCAVI ARCHEOLOGICI ED EVOLUZIONE STORICA

Gli scavi 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, 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 NNE-SSO.

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.

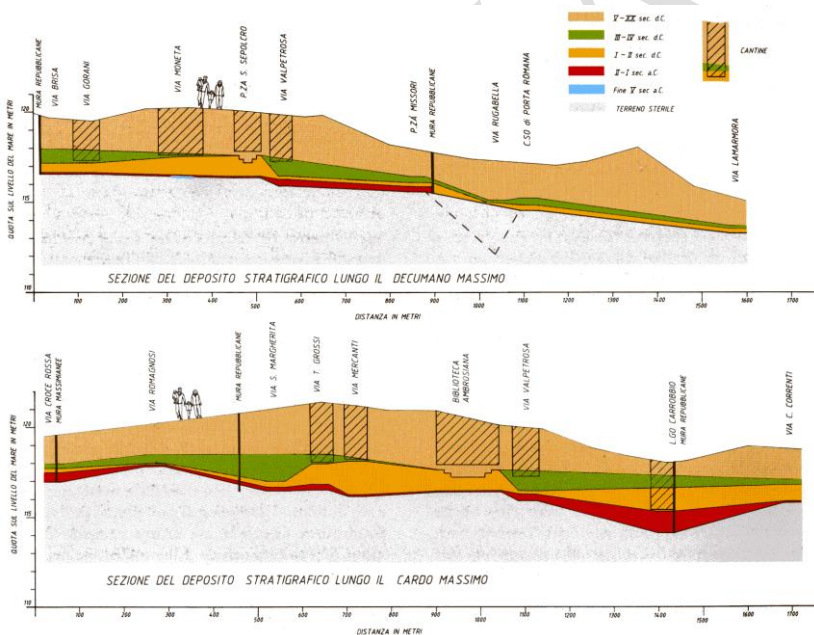


Fig. 21 - Sezioni schematiche degli strati archeologici lungo il decumano ed il cardo massimo (CERESA MORI, 1992).

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 in Tavola 1, sulla quale sono

riportate informazioni relative all'assetto urbanistico ed idraulico in età romana e a inizio settecento 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 (ricavate dalla Banca Dati Geologica di Sottosuolo) e 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.

E' 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. 22) 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.

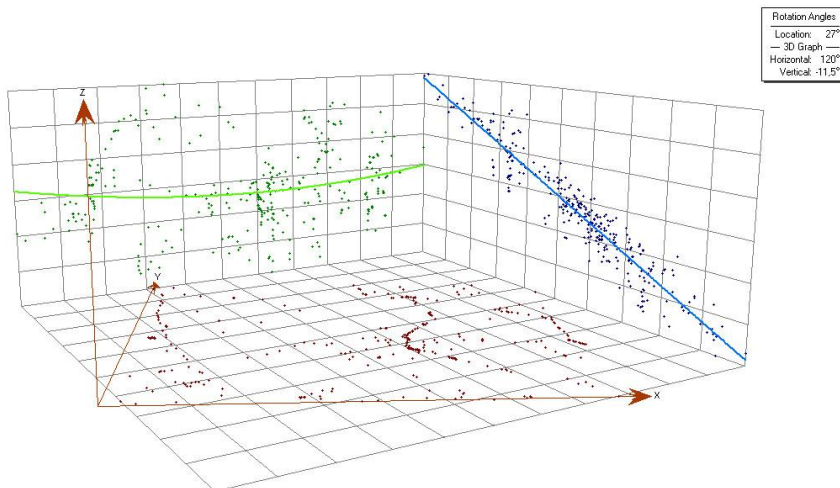


Fig. 22- Analisi tendenza in 3D dei dati relativi alla quota base dei riporti. Gli assi in rosso si riferiscono agli assi geografici (asse y in direzione N). I punti in rosso rappresentano la posizione planimetrica dei dati, mentre i punti in verde e blu rappresentano la loro proiezione altimetrica su 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 nella Tavola 1 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 (ottenuta dalla cartografia a scala 1:2000 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

(a cura di D. Battaglia)

1. - ATTIVITA' ESTRATTIVE

(a cura di D. Battaglia e S. Rossi)

Il territorio del Foglio 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 da epoca romana, in un intervallo compreso tra il I e il II sec dC.

Fino alla fine dell'800 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 lo più dai depositi leossici appartenenti al supersintema 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 2-3m. Presso il margine meridionale del Comune di Milano erano presenti altre zone secondarie di estrazione di argilla, che sfruttavano i depositi fini del Subsintema di Ronchetto delle Rane (Pleistocene superiore). Purtroppo non è stato possibile identificare

l'ubicazione esatta di queste aree in quanto le evidenze morfologiche sono scomparse a causa dell'urbanizzazione e nelle cartografie storiche vengono indicate soltanto le ubicazioni delle fornaci.

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

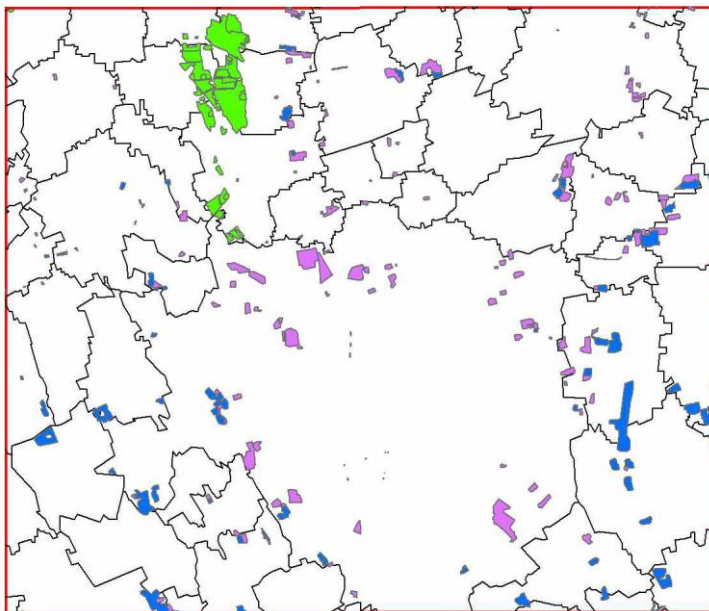


Fig. 23 – Distribuzione nel Foglio delle aree di estrazione di argilla (verde), aree di estrazione di ghiaia e sabbia (blu) e scavi riempiti (viola).

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. 23). 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 di lunghezza 2500m e larghezza 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'ammarraggio 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 fluvioglaciali. 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 Milano sono dedicati all'estrazione di terreni sciolti (ghiaia e sabbia). Assai più numerose, centinaia in tutta la provincia, oltre 160 entro il perimetro del Foglio Milano, sono le cave cessate: alcune, fuori falda, sono state convertite in discariche di rifiuti solidi urbani, alcune 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 di importanti progetti di riqualificazione ambientale e paesaggistica divenendo così un elemento morfologico significativo per territorio.

2. - PROBLEMATICHE DI GEOLOGIA APPLICATA

Nel corso dell'attività di raccolta dati per l'allestimento della Banca Dati Geologica Geologica di Sottosuolo, assieme alle informazioni di carattere stratigrafico sono state raccolte le risultanze di 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 secondo 3 fasce 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 21000 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-Mearidi (1977), ossia utilizzando un maglio di 73kg di peso fatto cadere da una altezza di 75cm e misurando il numero di colpi necessari a produrre l'infissione di 30cm di una punta conica standard.

In base a quanto indicato da Mearidi (1967) nell'area milanese le resistenze misurate dalle prove SPT e da quelle dinamiche, espresse entrambe 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 5m, da 5 a 7.5m e da 7.5 a 10m, 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. 24, 25 e 26) le quali mostrano la presenza di aree a maggior resistenza posizionate nella porzione centrale e nord-occidentale del foglio. Risulta inoltre evidente dal confronto tra le 3 fasce di profondità, che la zona a maggior resistenza tende a 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 Fogli le resistenze risultano invece sempre significativamente inferiori.

E' interessante notare che le aree a maggior resistenza corrispondono con buona approssimazione alle unità appartenenti al sintema di Guanzate (Pleistocene medio – superiore) ed alla prozione del sintema di Cantù (Pleistocene superiore) ubicata a NE del sintema di Bulgarograsso.

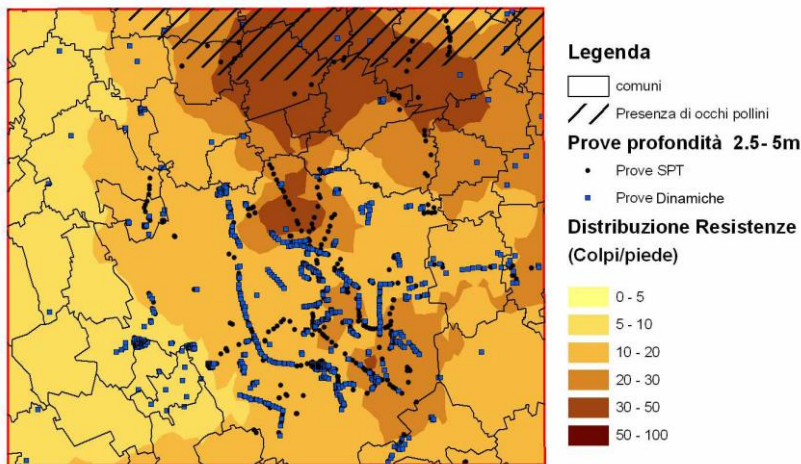


Fig. 24 – Resistenze medie alla penetrazione (colpi/piede) per profondità comprese tra 2,5 e 5 metri.

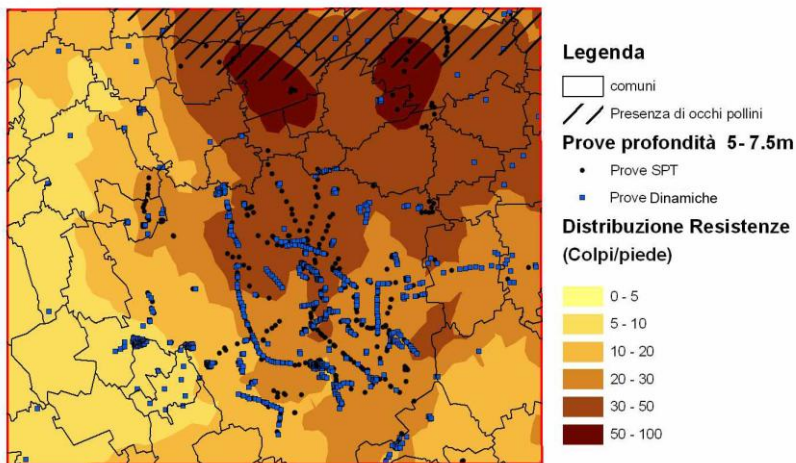


Fig. 25 – Resistenze medie alla penetrazione (colpi/piede) per profondità comprese tra 5 e 7,5 metri.

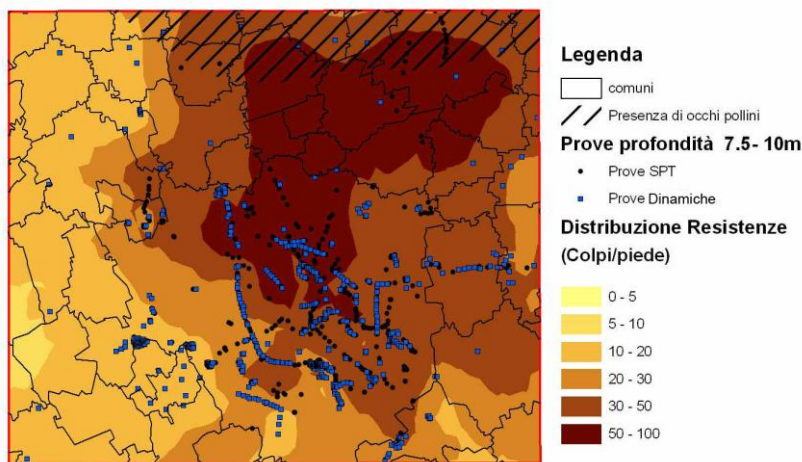


Fig. 26 – Resistenze medie alla penetrazione (colpi/piede) per profondità comprese tra 7,5 e 10 metri.

Per quanto concerne le problematiche di geologia applicata è opportuno menzionare il fenomeno degli “Occhi pollini”, che si sviluppa lungo una fascia ubicata in corrispondenza del margine settentrionale del foglio.

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 a una ventina di metri circa. La 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 da 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).

BOZZA

VIII. ASPETTI IDROGEOLOGICI

(a cura di V. Francani e P. Gattinoni)

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 basi, lo spessore ed i principali parametri idrogeologici (trasmissività, permeabilità, portata specifica); ove possibile, tali parametri caratteristici sono stati anche rappresentati nel Foglio allegato di Sottosuolo.

I risultati ottenuti costituiscono un 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 Milano, sulla scorta delle conoscenze sino ad ora acquisite e ampiamente descritte in precedenza, sono tradizionalmente riconosciuti (v. Tabella 2 Capitolo II):

- un acquifero detto “tradizionale” (in quanto tradizionalmente captato dai pozzi), che procedendo da N a S ospita falde da libere, a semiconfinare e confinate; pertanto risulta 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 paleovalichi 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, isolando 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 Milano sono stati indagati i due gruppi acquiferi superiori (A e B) le cui basi corrispondono ai limiti delle successioni del supersistema Lombardo Superiore (SLS) e del supersistema Lombardo Inferiore (SLI). 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 nella zona 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 molto subordinati, con sabbia giallastra, da media a molto grossolana, spesso ciottolosa.

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 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 bassa della successione, con intercalazioni di argilla limosa e limo di spessore da decimetrico a metrico.

Alla base del Gruppo Acquifero B è possibile individuare localmente livelli di conglomerati poco cementati e facies maggiormente cementate verosimilmente riferibili al "Ceppo" Auctt.

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..

2.3 - GRUPPO ACQUIFERO C

Il Gruppo Acquifero C, attribuito alla parte bassa del Pleistocene medio, è costituito da prevalenti argille limoso-sabbiose grigie, talora fossilifere (v. sondaggio RL4 "Agrate", immediatamente a NE del Foglio 118). Tali depositi sono riferibili ad un ambiente 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 quasi -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 la base del II Acquifero e la 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 15 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. 27); 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 sia della profondità raggiunta dalle perforazioni.

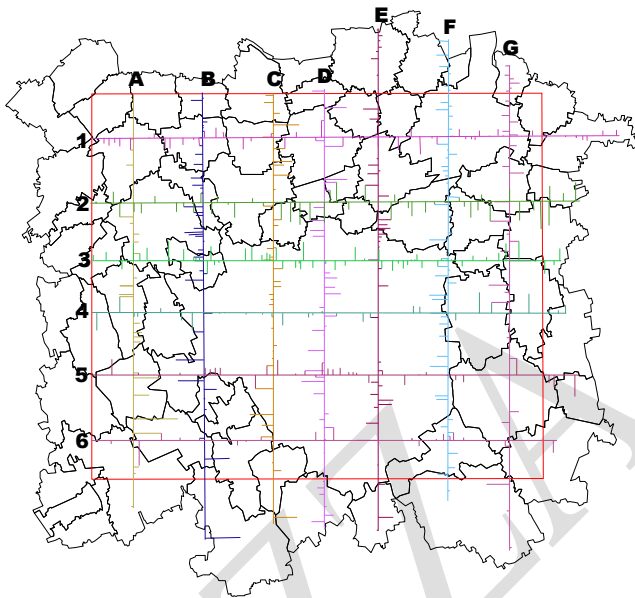


Fig. 27 - Traccia delle sezioni idrogeologiche interpretative

A livello del tutto generale, le sezioni N-S evidenziano una certa inclinazione dei livelli granulometrici più fini che costituiscono parte dei sedimenti alluvionali più antichi, con un generale affinamento della granulometria verso S. Le sabbie e le argille si sostituiscono alle ghiaie, mentre le sabbie e le ghiaie ai conglomerati, che 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.

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. 28).

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

In questo settore, inoltre, affiorano le propaggini meridionali dei terrazzi più antichi (Parco delle Groane, ad Ovest e Parco di Monza ad Est).

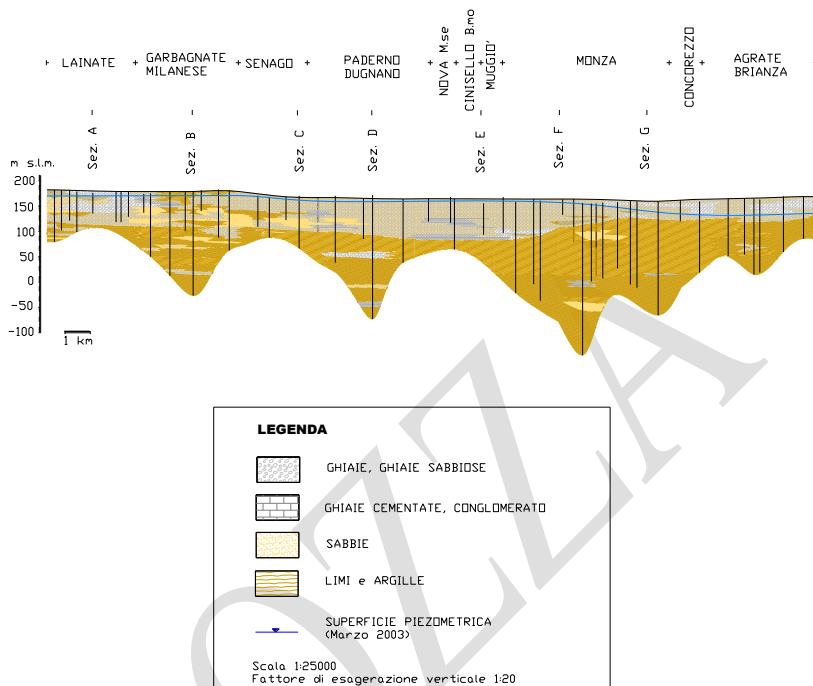


Fig. 28 – Sezione idrogeologica 1 E-O (Fig. 27).

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. 29).

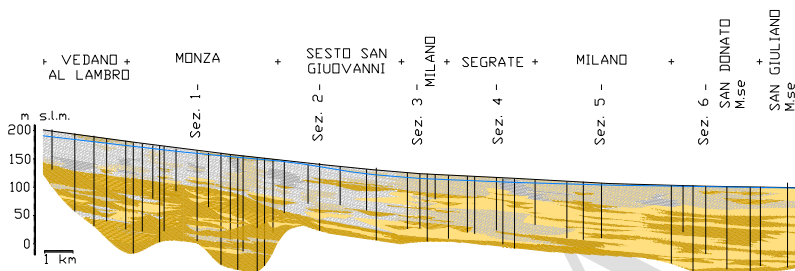


Fig. 29 – Sezione idrogeologica “F” N-S (Fig. 27). Sono indicati i Comuni attraversati: il settore settentrionale è quello compreso tra Vedano al Lambro e Milano e quello meridionale tra Milano e S. Giuliano M.se. Per la legenda, vedere la Fig. 28.

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 Sud, 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 Sud. (Fig. 29).

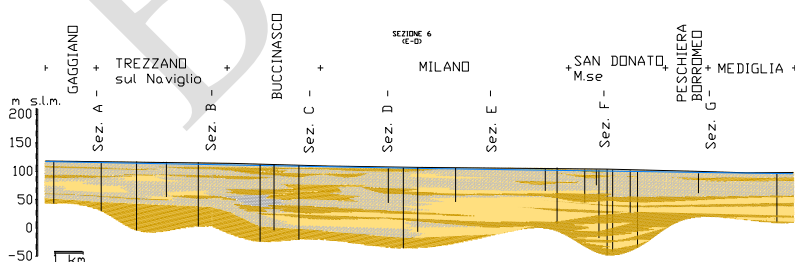


Fig. 30 – Sezione idrogeologica 6 E-O (Fig. 27). Per la legenda, vedere la Fig. 28

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'allegato Foglio di Sottosuolo:

- Carta della base del supersistema Lombardo Inferiore (base dell'Acquifero Tradizionale): dato il buon accordo tra la superficie di base del supersistema Lombardo Inferiore (riferibile al Gruppo Acquifero B, REGIONE LOMBARDIA-ENI, 2002) e l'Acquifero Tradizionale, la cartografia dell'andamento della base di SLI 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 DIIAR 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.

4. - BASE DELL'ACQUIFERO TRADIZIONALE (BASE DEL 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 Nord verso Sud. Procedendo verso Sud, 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 Sud e verso Est, 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.

5. - 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 Nord verso Sud. A differenza di quanto osservato in precedenza, procedendo verso Sud 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.

6. - 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.

7. - 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 descritto a causa della notevole eterogeneità dell'acquifero, i valori medi della permeabilità si presentano piuttosto articolati. La permeabilità diminuisce poi procedendo verso Sud, 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 Sud, 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, a 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.

8. - 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.

8.1 - 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 Sud, 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%.

8.2 - 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 km², anche se in alcuni settori si raggiunge una densità di 2 fontanili per km². 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.

8.3 - 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 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, 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 ed in particolare le centrali di pompaggio di Crescenago, 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 Nord 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.

8.4 - 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. 31 e 32) a oscillazioni di ordine decimetrico nella zona meridionale (Fig. 33 e 34). 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. 35) 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.

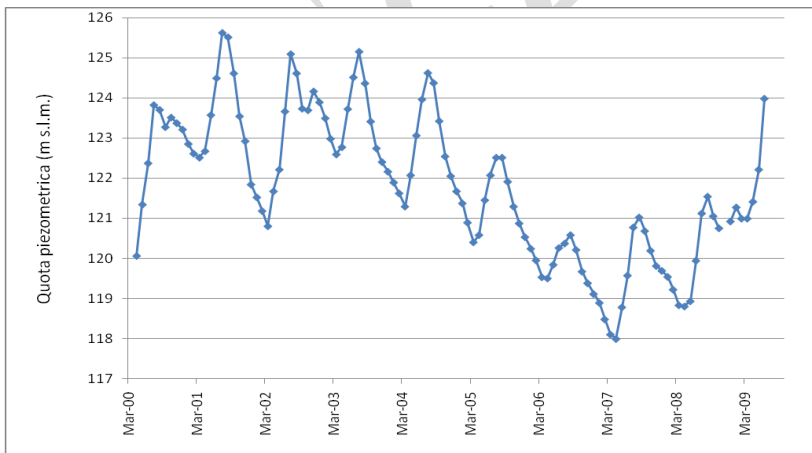


Fig. 31 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona NE del Foglio.

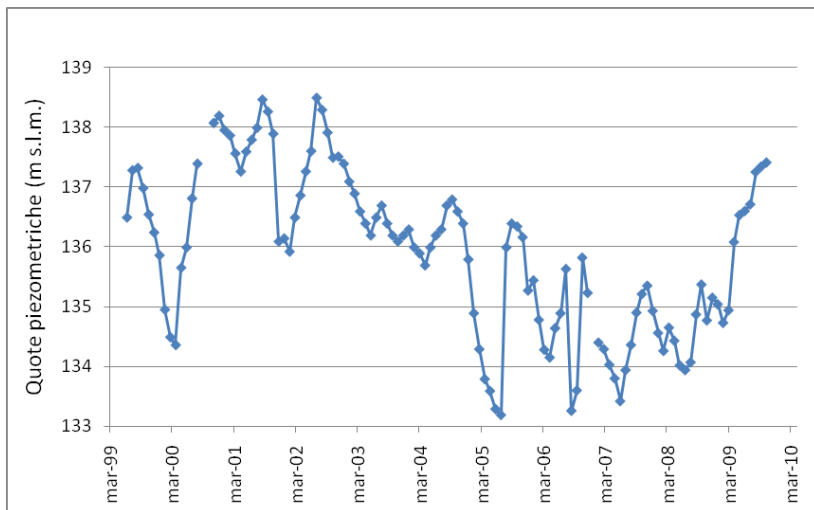


Fig. 32 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona NO del Foglio.

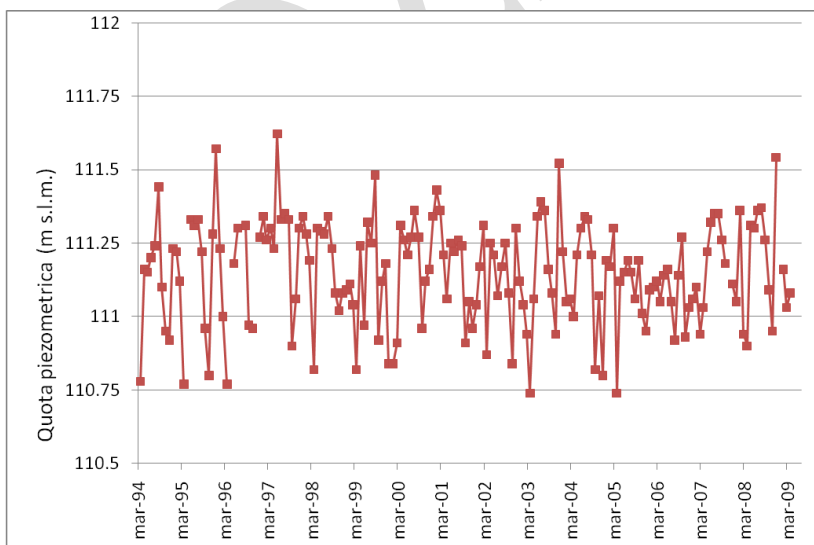


Fig. 33 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona SO del Foglio.

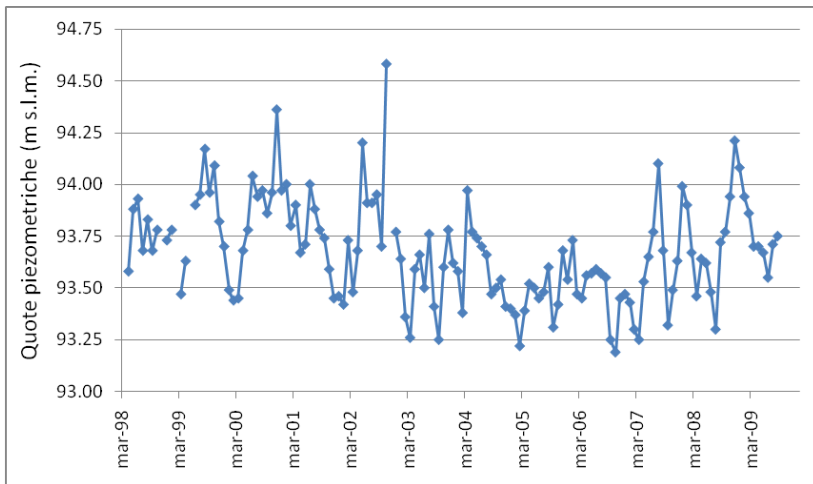


Fig. 34 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona SE del Foglio.

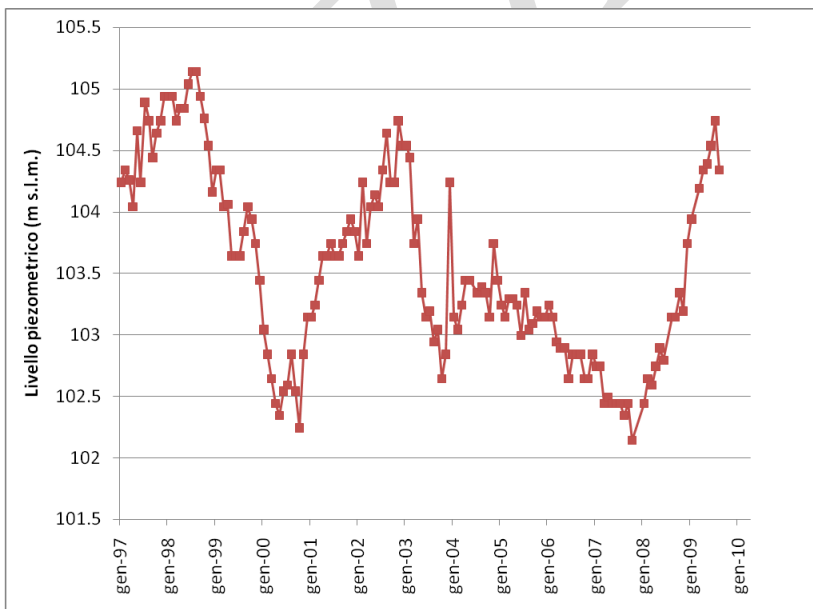


Fig. 35 - Esempio delle oscillazioni piezometriche stagionali registrate in un piezometro ubicato nella zona centrale del Foglio.

IX. PROBLEMATICHE DI DISSESTO IDROGEOLOGICO

(a cura di V. Francani & P. Gattinoni)

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. 36): all'inizio degli anni '80, in un settore del nord Milano, 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. 37). 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. 38).

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.

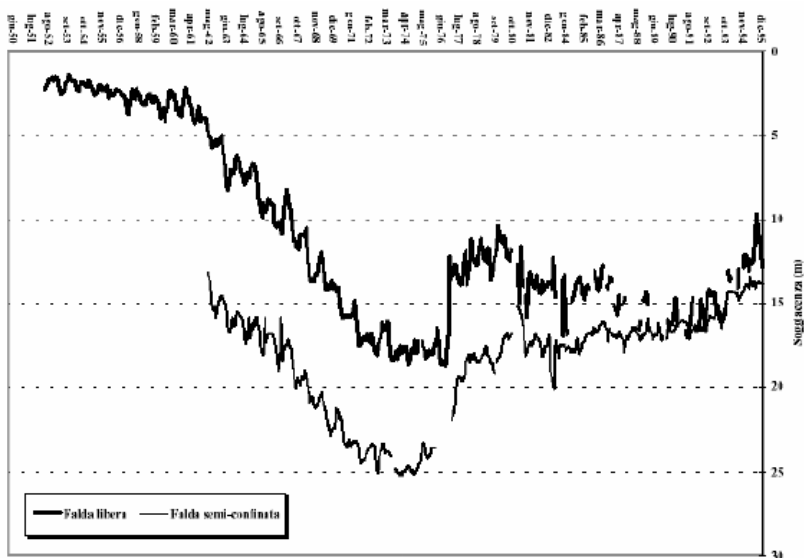


Fig. 36- Oscillazioni delle superfici piezometriche a partire dal 1956.

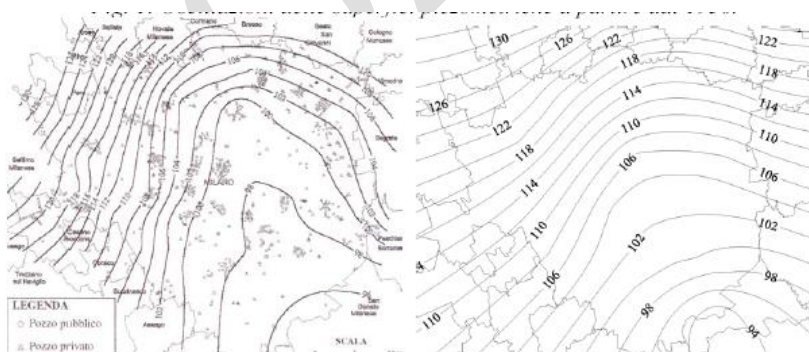


Fig. 37- Superficie piezometrica della falda superficiale (m s.l.m.) nel 1990 e nel 2001.

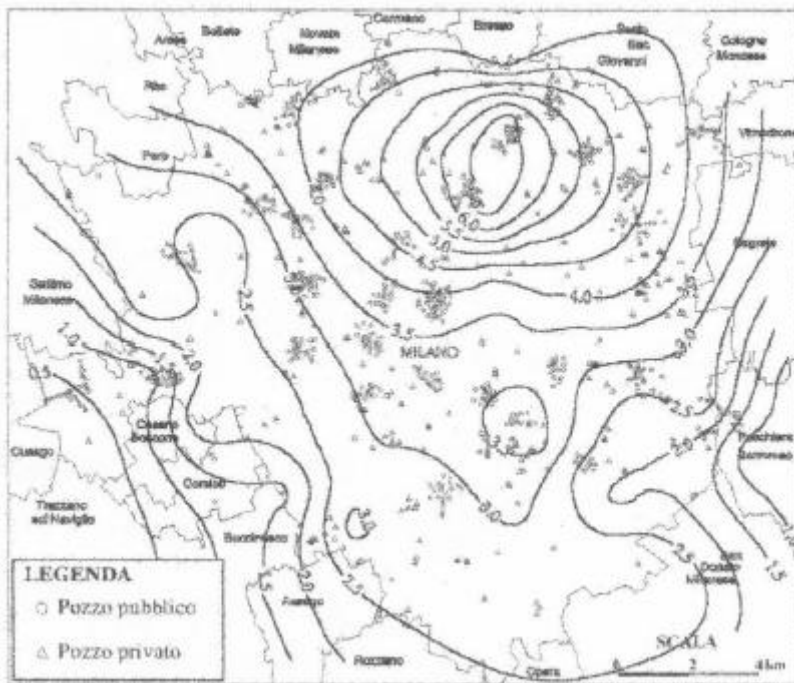


Fig. 38- Escursione della superficie piezometrica della falda superficiale (m) tra Marzo 1990 e Marzo 1995.

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, 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

L’analisi del problema si svolge con l’esposizione di un caso applicativo sul territorio di Monza dove, attraverso un’estesa raccolta dati relativi al sottosuolo, sono state individuate aree soggette al fenomeno. La disponibilità di numerosi sondaggi e prove in sito ha permesso di determinare le caratteristiche geotecniche di questi terreni e confrontarle con quelle di altre zone di Monza non interessate dal fenomeno:

- alterazione del terreno: sono stati individuati i livelli di terreno alterati analizzando le stratigrafie e ricercando gli strati di colore marrone-bruno (Fig. 39);
- permeabilità: il sottosuolo monzese è costituito da materiali alluvionali caratterizzati da alti valori di permeabilità (10-5 m/sec); valori di permeabilità più elevati sono spesso riconducibili alla presenza di occhi pollini (Fig. 40);

- 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. 41);
- indice di deformabilità: attraverso l'indice di deformabilità ricavato dalle prove S.P.T. possono essere individuati gli strati deboli e scarsamente addensati.

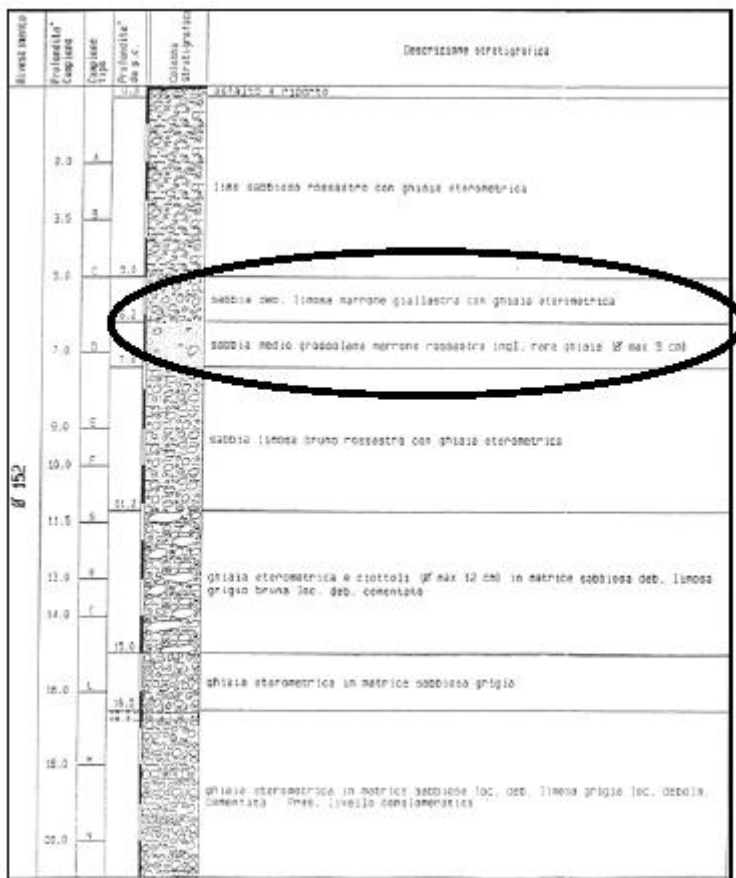


Fig. 39 - Esempio di stratigrafia in cui si individuano strati di terreno alterato.

La valutazione di tali parametri consente 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'innesco del fenomeno di *piping* in termini di gradiente idraulico critico (Fig. 42a); quindi, individuate le aree maggiormente soggette al fenomeno da un punto di vista geolitologico e granulometrico e stimati i parametri caratteristici dell'innesco del *piping*, è stato possibile redigere una cartografia del suscettibilità sull'intero dominio di studio, individuando le aree maggiormente esposte, quelle interessate solo da fenomeni di alterazione superficiali e, infine, quelle estranee al fenomeno (Fig. 42b).

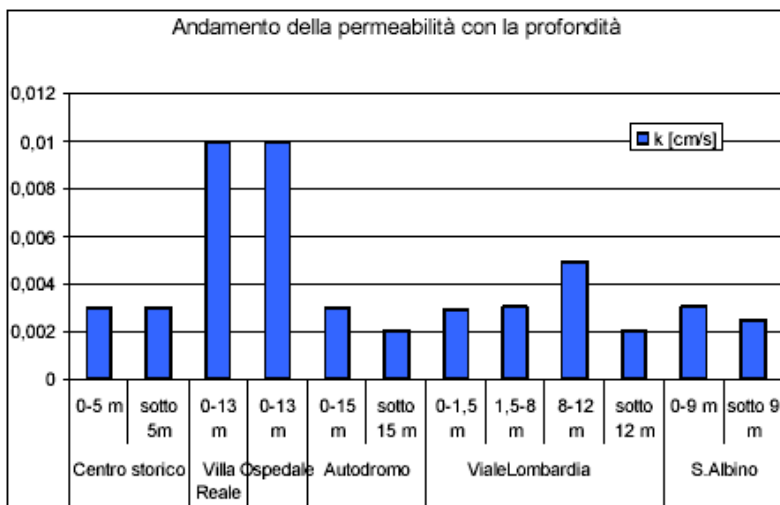


Fig. 40 - Valori di permeabilità nei diversi settori di Monza.

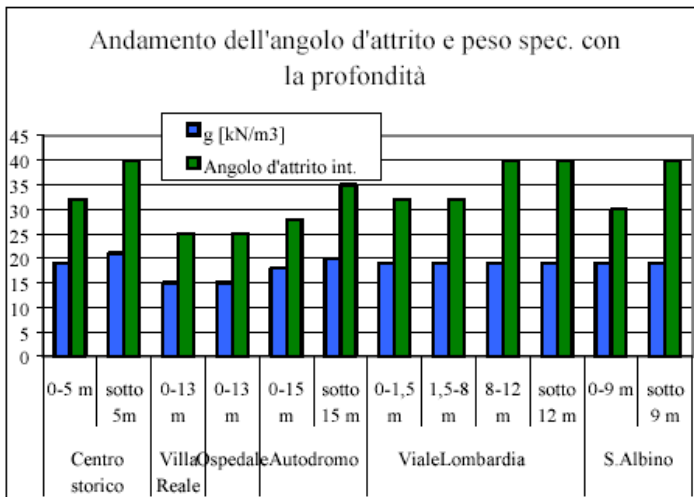


Fig. 41 - Valori di angolo d'attrito e peso specifico nei diversi settori di Monza.

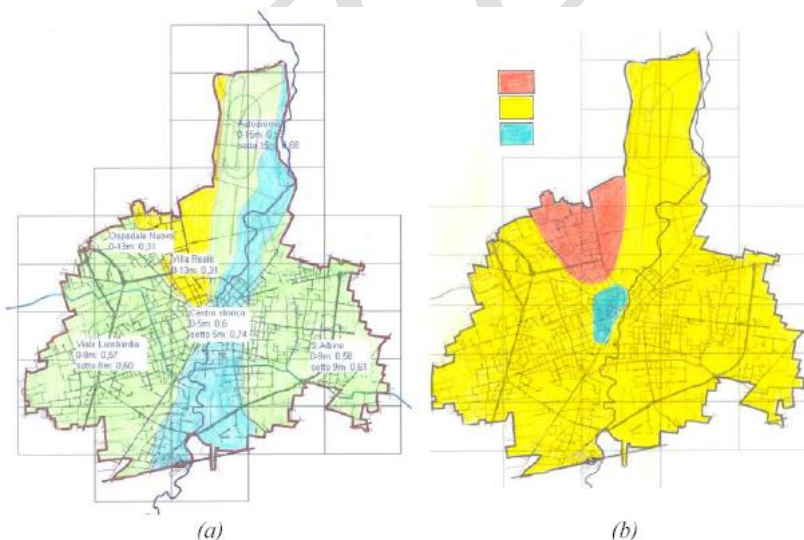


Fig. 42 - (a) Distribuzione del gradiente idraulico critico nei diversi settori di Monza: in giallo è evidenziato il Pianalto di Villa Reale, in azzurro la valle del Lambro e in verde il Livello Fondamentale della Pianura. (b) Cartografia del rischio connesso alla presenza di livelli di debolezza: in 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, dovuta principalmente alle restrizioni delle sezioni di deflusso causate dalla forte urbanizzazione.



Fig.43 - Milano allagata, in zona Niguarda, in seguito all'esondazione del Seveso (novembre 2002).

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 Nord di Milano del Canale Scolmatore di Nord-Ovest, 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 cementificazione delle sponde in molti comuni a N di Milano, ma anche in seguito alla realizzazione di sistemi fognari degli abitati ricadenti nell'ambito del bacino.

Le principali caratteristiche di questo territorio, che ne fanno un caso unico nel bacino del Po, 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 (Figg. 43 e 44), negli ultimi anni il Seveso esonda a Milano, in zona Niguarda (dove la sezione consente un deflusso massimo di $45\text{-}50\text{ m}^3/\text{s}$), con cadenza quasi annuale.

3.1 - IL LAMBRO

Il Lambro (130 km) nasce dal Monte Forcella e scorre in Provincia di Milano, bagnando Monza e la periferia orientale della metropoli milanese prima di confluire nel Po.

L'idrografia mostra un andamento tipico delle zone moreniche. Il corso principale, infatti, solca 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 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 che riversa le sue acque nel Lambro Meridionale, che risulta così esserne lo scaricatore, come anche dei torrenti Lura, Bozzente e Guisa.

Il bacino montano di origine risulta poco esteso e di altitudine modesta, e quindi la gran parte delle acque proviene artificialmente dalla zona del milanese, incrementando i valori naturali di portata fino a valori talvolta superiori a quelli dell'adiacente Fiume Adda.

La portata media in ingresso all'area del Foglio, stima nell'ambito del PTUA (REGIONE LOMBARDIA, 2006) è pari a circa $10 \text{ m}^3/\text{s}$, ma le sue portate massime nel tratto tra San Donato Milanese e Melegnano, possono raggiungere i $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

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. Il torrente, 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; la seconda parte centrale, dal fosso Lusèrt alla confluenza con il Torrente Certesa, ha un andamento sinuoso e le pendenze sono abbastanza ridotte; 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 231 km^2 e attraversa un territorio che, in particolare in Provincia di Milano, è caratterizzato da una densità abitativa molto elevata.

La portata media del corso d'acqua è di circa $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (REGIONE LOMBARDIA, 2006), con una portata al colmo che, grazie al Canale Scolmatore di Nord-Ovest, si riduce da 60 a $30 \text{ m}^3/\text{s}$. 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.

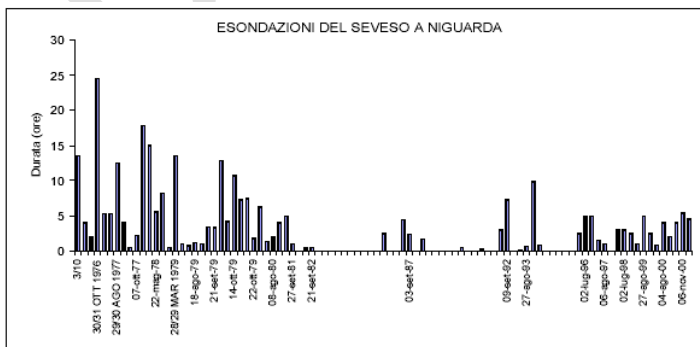


Fig.44 - Esondazioni del Seveso a Milano, zona Niguarda.

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.

4. - DISPONIBILITA' 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 (REGIONE LOMBARDIA, 2006), 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 squilibrio 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 vengono 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 Folgio) 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. 45). 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 contaminanti 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.

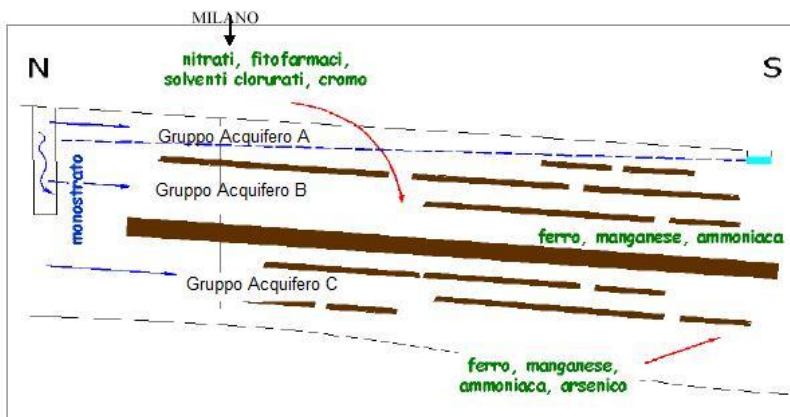


Fig. 45 - Schematizzazione tipologica degli acquiferi, in relazione al loro grado di protezione ed ai principali contaminanti

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 organo alogenati 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 Vanzaghella, 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 primo 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). E' 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).

4.7 - 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. 46).

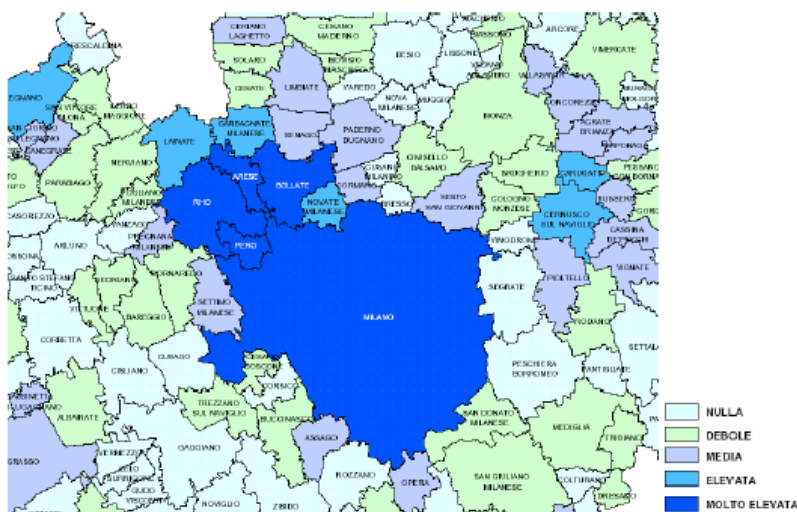


Fig. 46 - Incidenza delle contaminazioni sulla risorsa idrica sotterranea (PROVINCIA DI MILANO, 2002).

4.8 - 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. - SISMICITA'

(a cura di A. Rovida)

L'area compresa nel Foglio 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. 47). 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 ($M_w 5.37 \pm 0.30$). 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. 48).

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

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 (Tabella 13; Fig. 48) 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.

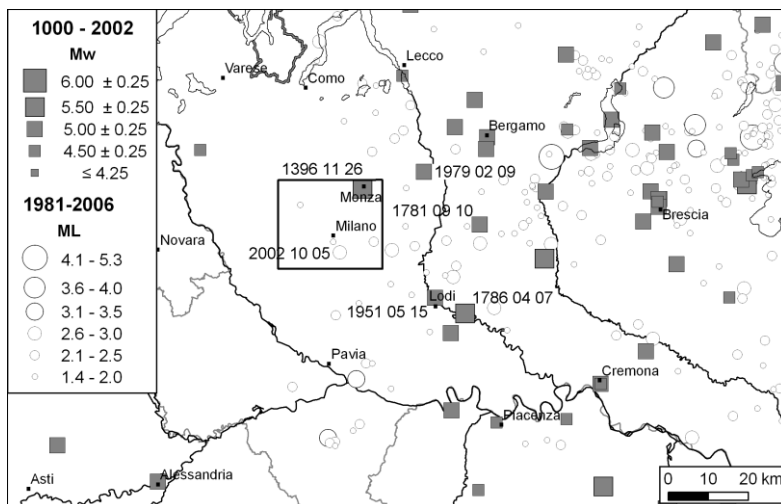


Fig. 47 - Sismicità 1000-2002 da CPTI04 (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004) e 1981-2006 da CSI 1.1 (CASTELLO *et alii*, 2006 e BOLLETTINO STRUMENTALE INGV)

Tabella 13 - Storia sismica di Milano, da DBMI04 (STUCCHI *et alii*, 2007)

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

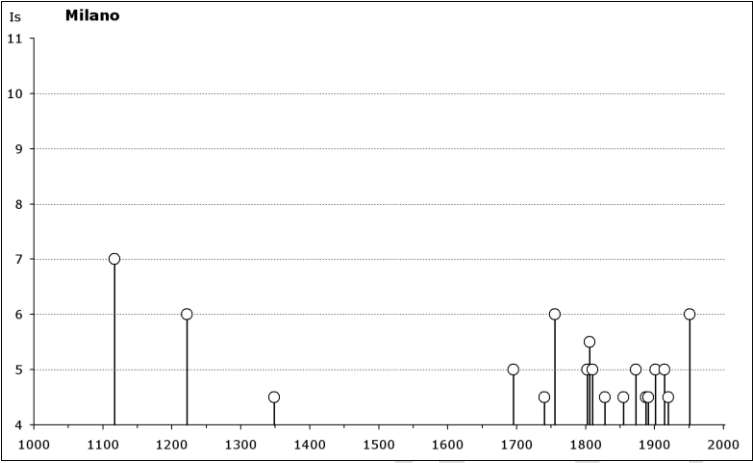


Fig. 48 - Grafico della storia sismica di Milano, da DBMI04 (STUCCHI et alii, 2007).

BOZZA

APPENDICE 1 - ORGANIZZAZIONE DELLA BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO

(a cura di D.Battaglia)

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 dalla Regione Emilia-Romagna ed ampliandone i contenuti con l'inserimento delle informazioni di carattere geotecnico ed idrogeologico.

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 (Comuni, Provincie, Metropolitana Milanese, Ferrovie dello Stato, Studi professionali e imprese di perforazione, ecc.)

- b - esecuzione di indagini in proprio da parte della Struttura Analisi ed Informazioni Territoriali della Direzione Generale Territorio ed Urbanistica della Regione Lombardia

Ogni indagine è stata georeferenziata in coordinate cartesiane riferite al sistema Gauss – Boaga, utilizzando come base cartografica sulla 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 ciascuna 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 dalla Regione Lombardia ed in parte dalla Provincia di Milano utilizzando geologi direttamente incaricati.

Nel complesso la Banca Dati contiene 6238 punti di indagine, costituite dalle tipologie riportate in Tabella 14. Le indagini eseguite direttamente dalla Regione Lombardia consistono in 4 sondaggi a carotaggio continuo e 14 prove penetrometriche dinamiche.

Tabella 14 - Tipo e quantità di indagini geognostiche disponibili nel 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. 49) e le prove penetrometriche (Fig. 50) 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. 51) si presentano invece spesso associati in gruppi (campi pozzo) e con una distribuzione areale più regolare.

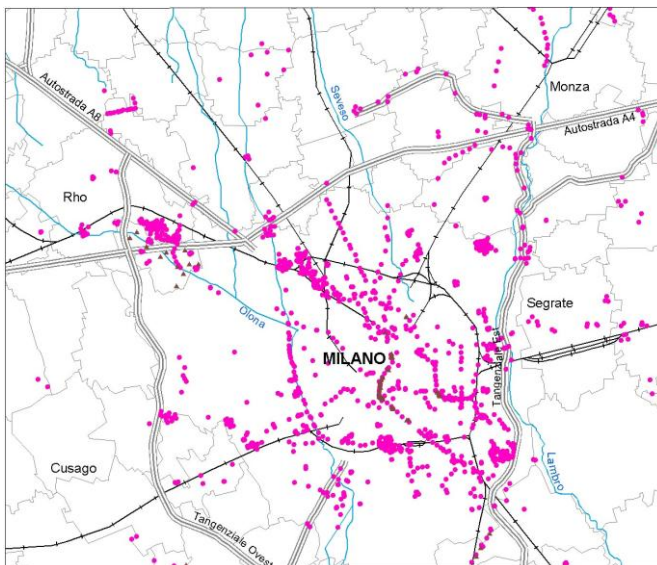


Fig. 49 - Database indagini- distribuzione delle stratigrafie di sondaggi (pallino rosa) e di trincee esplorative (pallino marrone).

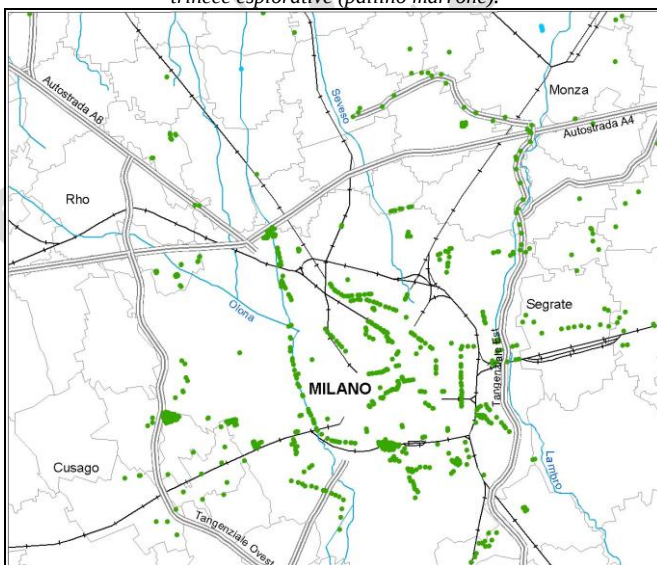


Fig. 50 - Database indagini- distribuzione delle prove penetrometriche dinamiche (pallino verde) e statiche (pallino azzurro).

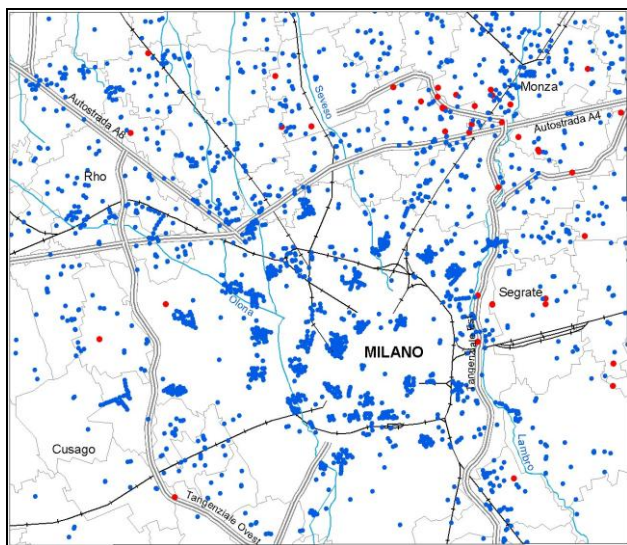


Fig. 51 - Database indagini- distribuzione delle stratigrafie di pozzi per acqua (pallino blu) e per idrocarburi (pallino rosso)

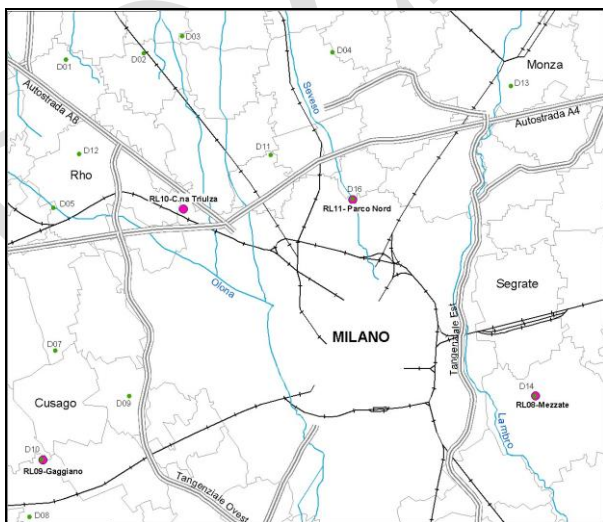


Fig. 52 - Database indagini- distribuzione delle indagini eseguite direttamente dalla Regione Lombardia: sondaggi a carotaggio continuo (pallino rosa) e prove penetrometriche dinamiche (pallino verde).

Le prove eseguite direttamente dalla Regione Lombardia (Fig. 53), consistono in n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, posizionati nelle aree con minor densità di informazione, che hanno consentito di verificare direttamente l'assetto stratigrafico locale, fino a considerevoli profondità.

I principali soggetti che hanno contribuito alla creazione della banca 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.

Le informazioni contenute in ogni indagine sono state ordinate in una serie di tabelle alfanumeriche. Il numero di record contenuti in ciascuna tabella è indicato in Tabella 15.

Tabella 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 pareti di scavi.

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.

Tabella 16 - Dettaglio descrizioni stratigrafiche espresso come rapporto tra la lunghezza della perforazione 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 lo 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).

Tabella 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 809 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.

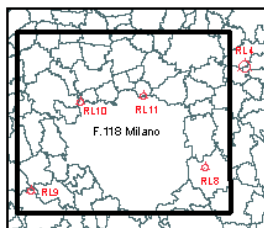
Le misure di permeabilità si riferiscono a prove di tipo Lefranc eseguite a carico costante o a carico variabile in 202 sondaggi e ammontano ad un totale di 764 misure. Le prove sono state eseguite mediamente tra 0 e 25m di profondità.

APPENDICE 2 - SONDAGGI GEOGNOSTICI

(a cura di S. Rosselli, D. Sciunnach, F. Berra & G. Scardia)

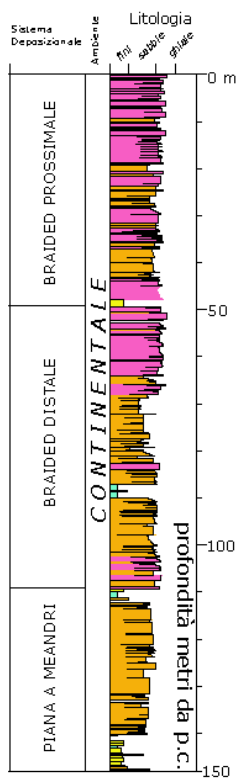
1. - STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI

Vengono riportate le colonne stratigrafiche dei sondaggi eseguiti nell'ambito del Progetto CARG del Foglio 118 Milano e la stratigrafia del sondaggio RL4 (REGIONE LOMBARDIA-ENI, 2002) situato nelle immediate adiacenze nord-orientali del foglio. Sono indicati gli ambienti deposizionali descritti nel capitolo di stratigrafia (Figg.53 e 54).

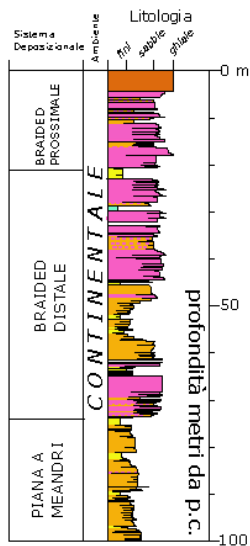


Ubicazione dei sondaggi

Sondaggio GAGGIANO - RL9



Sondaggio C.na TRIULZA - RL10



Sondaggio PARCO NORD - RL11

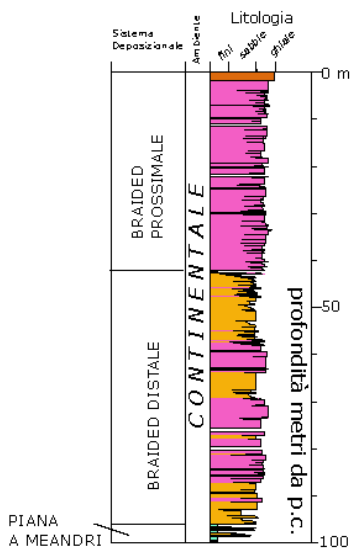


Fig 53 – Stratigrafie dei sondaggi CARG RL10, RL11, RL12

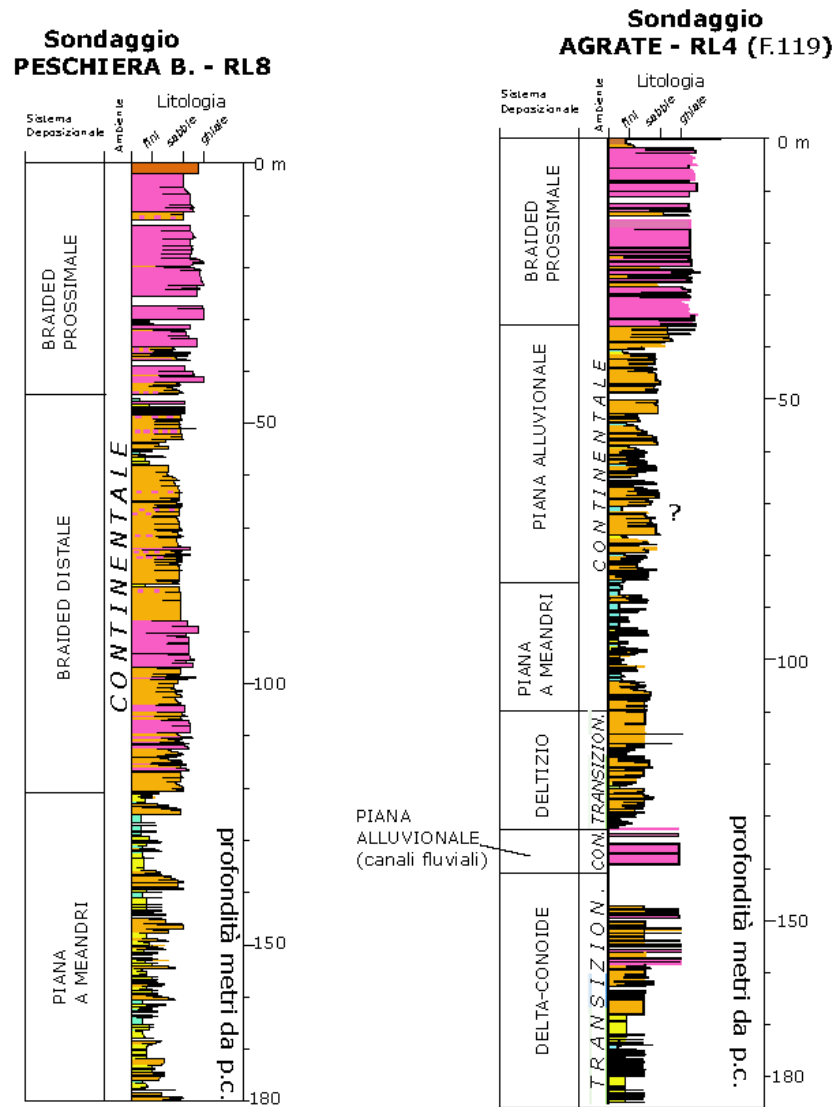


Fig 54 – Stratigrafie dei sondaggi CARG RL08, RL04, RL12

2. - ANALISI PETROGRAFICHE

(da completare)

3. - ANALISI MAGNETOSTRATIGRAFICA

(a cura di G. Scardia & G. Muttoni)

In questo capitolo sono riportati i risultati delle analisi paleomagnetiche svolte sui sondaggi a carotaggio continuo Peschiera Borromeo RL8, Gaggiano RL9, Milano Triulza RL10 e Milano Parco Nord RL11.

Le analisi 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 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 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. 55). 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 acquisite durante periodi a polarità magnetica inversa.

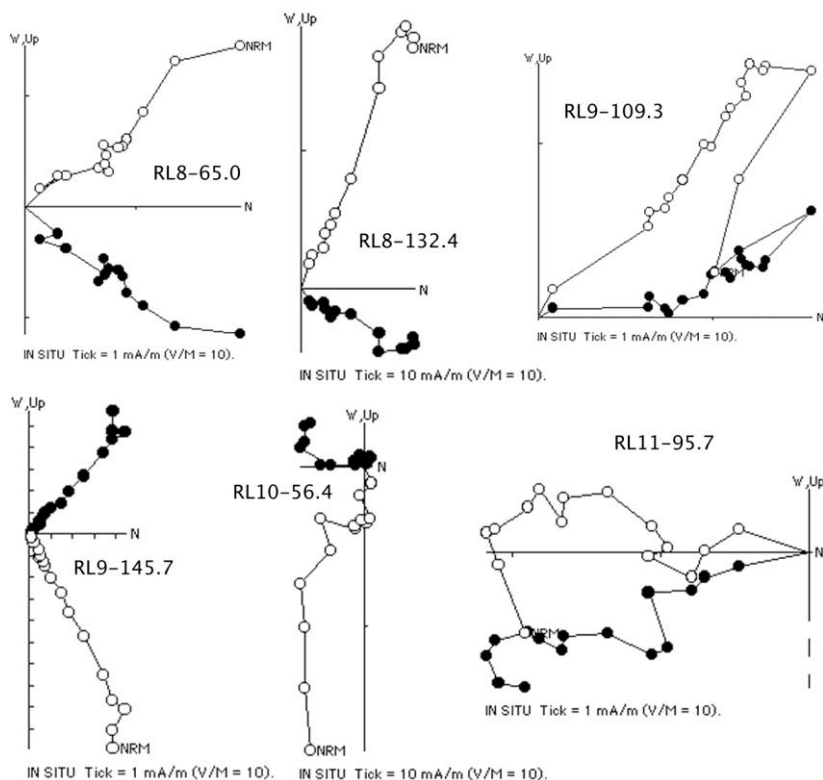


Fig. 55 – Proiezioni ortogonali dei dati di smagnetizzazione di campioni rappresentativi dei sondaggi analizzati. Ogni campione è identificato dal codice del sondaggio e dalla profondità a cui è stato prelevato.

3.1 - PESCHIERA BORRAMEO RL8

Nel sondaggio Peschiera Borromeo RL8 tutti i 25 campioni analizzati hanno mostrato una magnetizzazione analizzabile (Fig. 56).

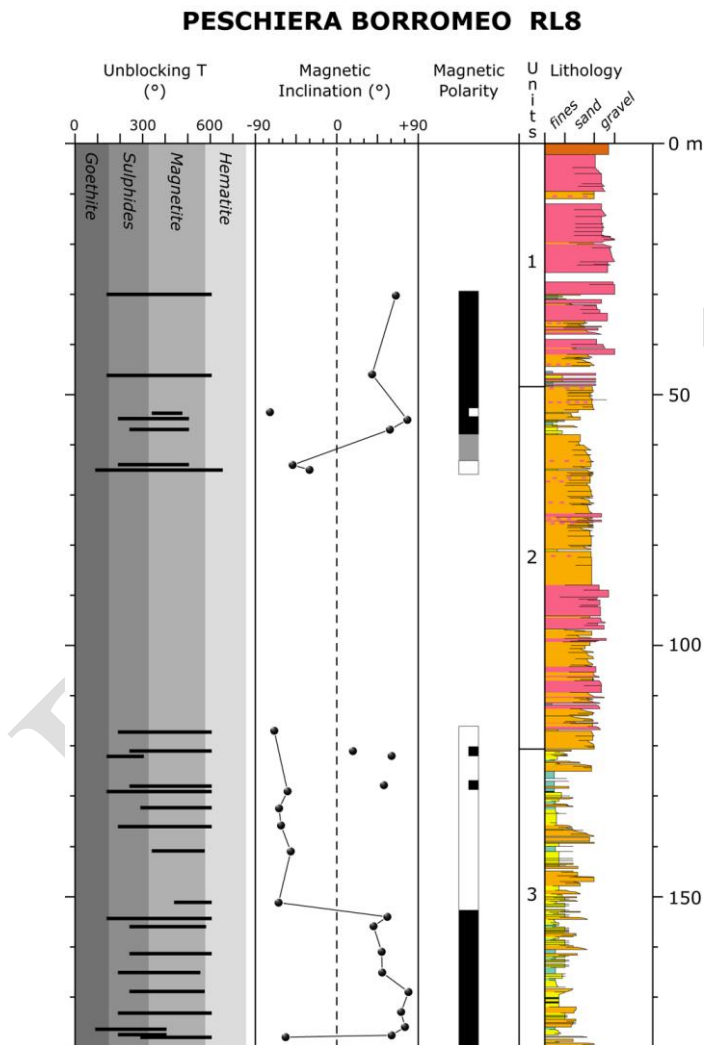


Fig. 56 – Temperature di bloccaggio della componente caratteristica, inclinazione magnetica, magnetostratigrafia e litologia del sondaggio RL8. La magnetostratigrafia è stata ottenuta dall'inclinazione magnetica della componente caratteristica, espressa in gradi

rispetto all'orizzontale. Nella colonna della stratigrafia magnetica il nero rappresenta la polarità normale, il bianco è la polarità inversa.

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; non possibile tuttavia affermarlo con certezza.

3.2 - GAGGIANO RL9

Nel sondaggio Gaggiano RL9 13 campioni sui 17 analizzati hanno mostrato una magnetizzazione analizzabile (Fig. 57).

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.

GAGGIANO RL9

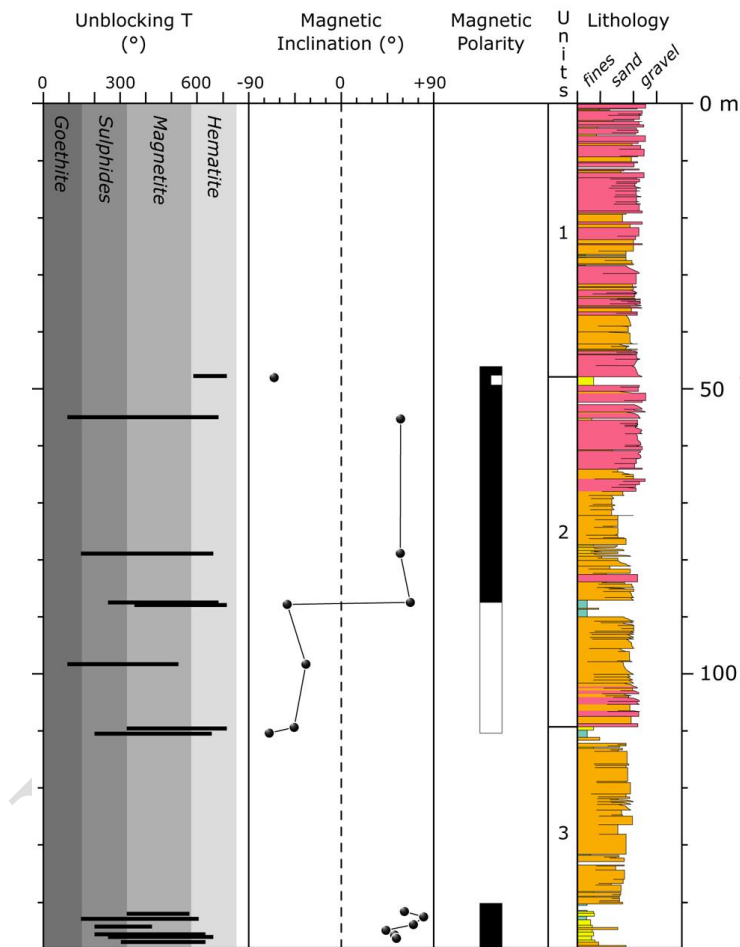


Fig. 57– Temperature di bloccaggio della componente caratteristica, inclinazione magnetica, magnetostratigrafia e litologia del sondaggio RL9. La magnetostratigrafia è stata ottenuta dall'inclinazione magnetica della componente caratteristica, espressa in gradi rispetto all'orizzontale. Nella colonna della stratigrafia magnetica il nero rappresenta la polarità normale, il bianco è la polarità inversa.

3.3 - MILANO TRIULZA RL10

Nel sondaggio Milano Triulza RL10 sono stati prelevati 33 campioni, dei quali 29 hanno fornito una magnetizzazione analizzabile (Fig. 58). Tuttavia, a dispetto del numero di campioni analizzati 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.

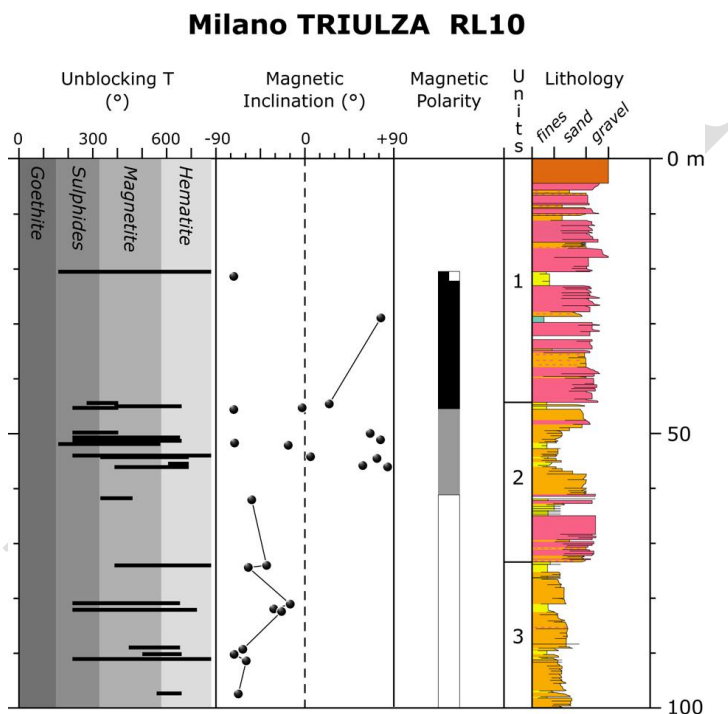


Fig.58 - Temperature di bloccaggio della componente caratteristica, inclinazione magnetica, magnetostratigrafia e litologia del sondaggio RL10. La magnetostratigrafia è stata ottenuta dall'inclinazione magnetica della componente caratteristica, espressa in gradi rispetto all'orizzontale. Nella colonna della stratigrafia magnetica il nero rappresenta la polarità normale, il bianco è la polarità inversa.

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.

3.4 - 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. 59).

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 $-69,5^\circ$.

Milano PARCO NORD RL11

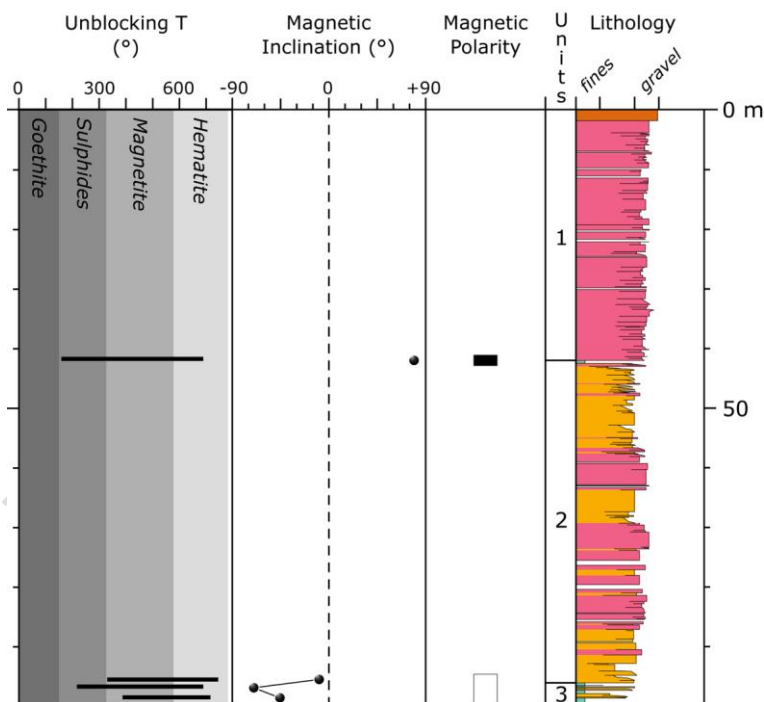


Fig. 59 – Temperature di bloccaggio della componente caratteristica, inclinazione magnetica, magnetostratigrafia e litologia del sondaggio RL11. La magnetostratigrafia è stata ottenuta dall'inclinazione magnetica della componente caratteristica, espressa in gradi rispetto all'orizzontale. Nella colonna della stratigrafia magnetica il nero rappresenta la polarità normale, il bianco è la polarità inversa.

3.5 - SINTESI DEI RISULTATI

Nel complesso tutti i sondaggi mostrano una magnetizzazione a polarità normale, 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).

BOZZA

APPENDICE 3 - ANALISI GEOSTATISTICHE DEI DATI IDROGEOLOGICI

(a cura di P. Gattinoni)

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 le 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;
- 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.

4. - 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) (v. Tabella 2 Capitolo II) risulta essere a cluster e presenta caratteri di uniformità (verificata tramite Test del χ^2) considerando una griglia avente dimensioni 10x10km (Fig. 60). 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.

5. - 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. 61), che evidenzia un andamento complessivamente lineare, tipico di una variabile reagonalizzata 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. 62).

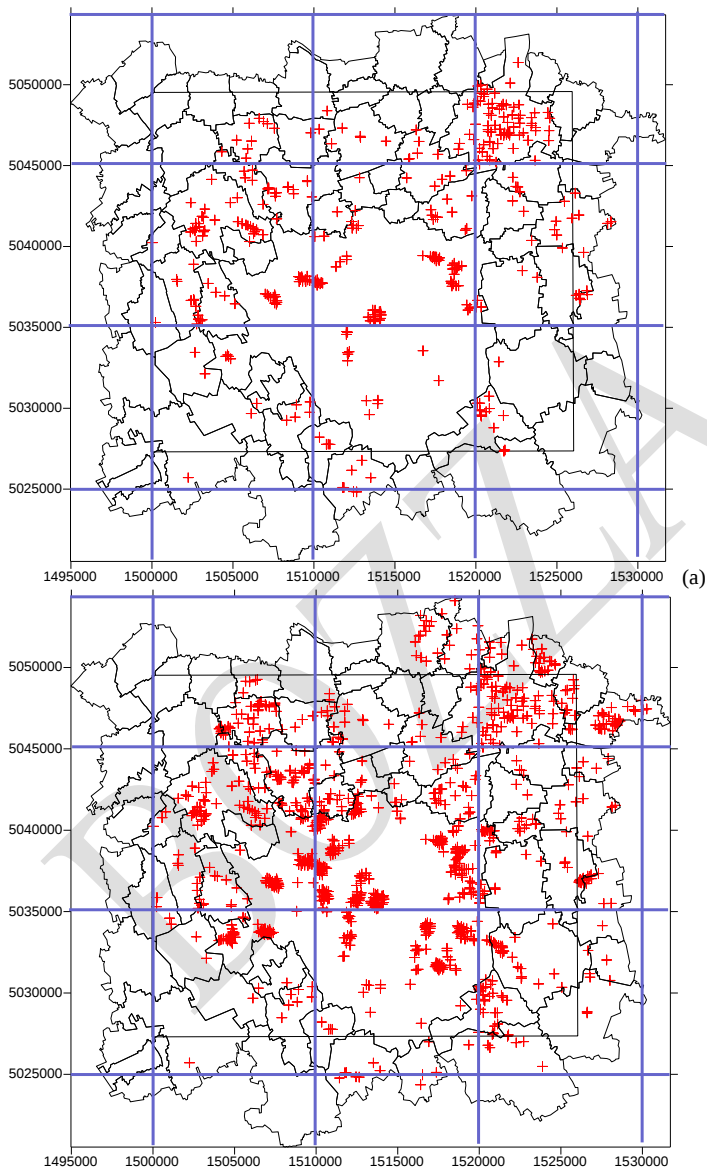


Fig. 60 - Distribuzione dei dati per la base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale) (a) e per quella del I Acquifero (b). In blu è evidenziata la griglia per la quale il Test del χ^2 ha evidenziato caratteri di uniformità.

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. 63); 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. 64 e 65).

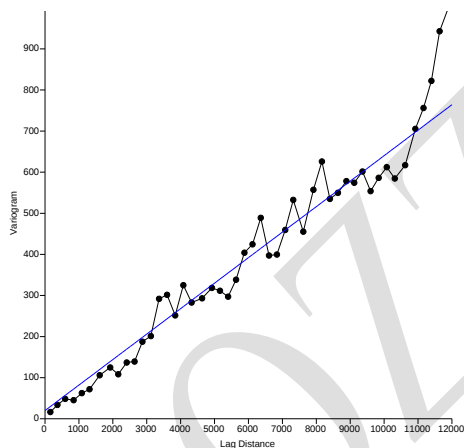


Fig. 61 - Variogramma sperimentale (in nero) e modello di variogramma lineare (in azzurro) che interpola la variabile regionalizzata "base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale)

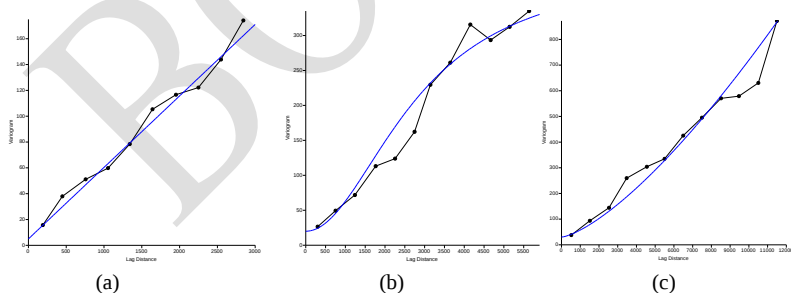


Fig. 62- Modelli di variogrammi della "base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale)" a diverse scale: (a) origine ($\text{lag}=3\text{km}$), (b) scala intermedia ($\text{lag}=6\text{km}$) e (c) infinito ($\text{lag}=12\text{km}$).

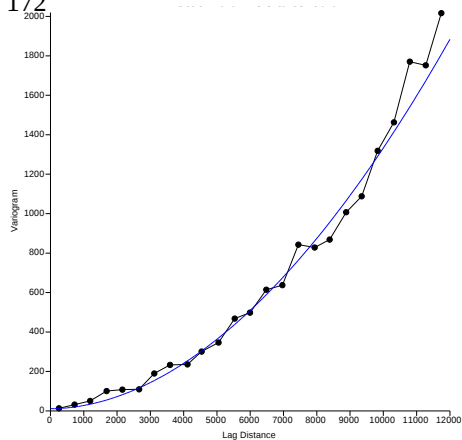


Fig. 63 - Variogramma sperimentale (in nero) e relativo modello teorico (in azzurro) della variabile regionalizzata "base del II Gruppo Acquifero (Acquifero Tradizionale)" relativo ai dati caratterizzati da una maggiore affidabilità (circa 200 dei 360 totali)..

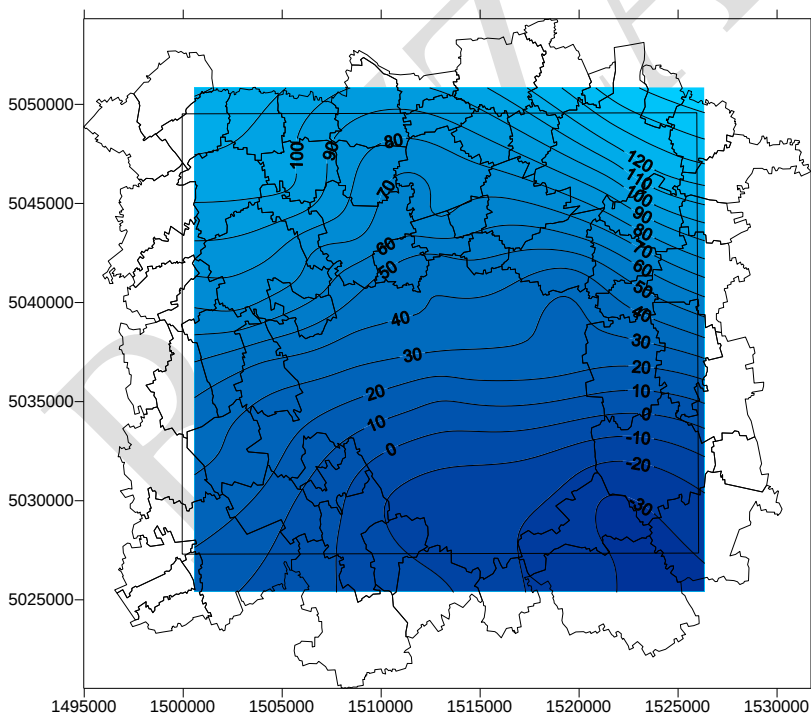


Fig. 64 - Carta della base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale) (in m s.l.m.) ricostruita sulla base di circa 200 dati aventi ottima affidabilità

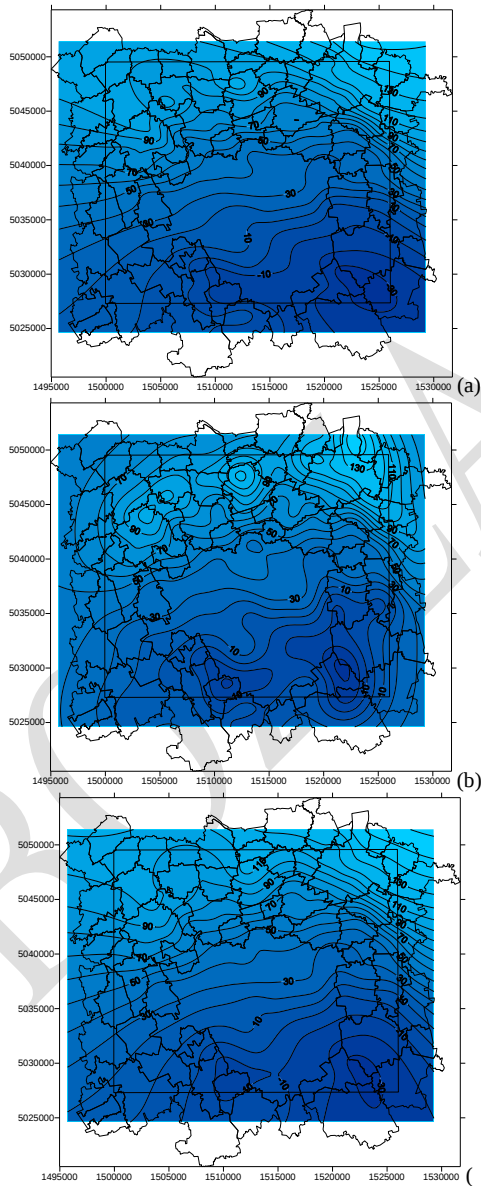


Fig. 65 - Risultati dell'interpolazione sui dati relativi alla base del II Acquifero (Acquifero Tradizionale) coi diversi modelli di variogramma (Fig. 62).

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. 66) varie componenti corrispondenti a diversi modelli teorici:

- all'origine (lag=800m) il variogramma è di tipo lineare (Fig. 67a), in ragione del carattere continuo della variabile in studio;
- all'infinito il variogramma è di tipo parabolico (Fig. 67c), a testimonianza dell'esistenza di un trend;
- ad una scala intermedia (lag=3km) il variogramma evidenzia un andamento di tipo sferico (Fig. 67b).

Per la realizzazione della cartografia relativa alla base del I e II Acquifero (Acquifero tradizionale) riportata nel Foglio allegato di Sottosuolo l'interpolazione dei dati dati è stata effettuata utilizzando l'estimatore all'infinito, in grado di riprodurre l'andamento complessivo della variabile in esame.

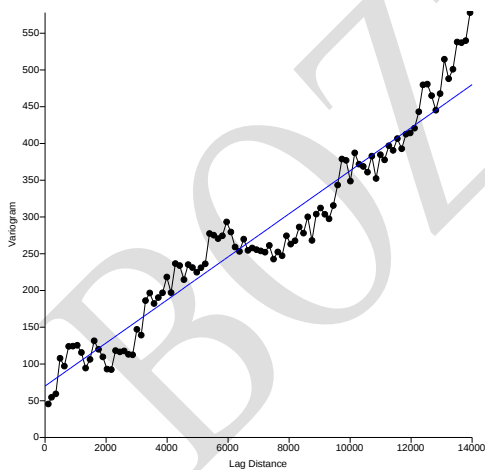
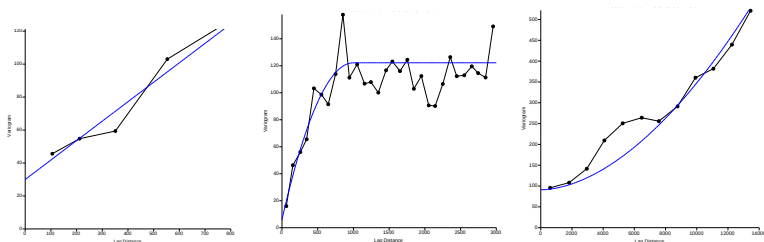


Fig. 66 - Variogramma sperimentale (in nero) e modello di variogramma lineare (in azzurro) che interpola la variabile regionalizzata "base del I Acquifero".



(a) (b) (c)
 Fig. 67 - Modelli di variogrammi della "base del I Gruppo Acquifero" a diverse scale: (a) origine (lag=800m), (b) scala intermedia (lag=3km) e (c) infinito.

6. - 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. 68a) 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. 67a). L'estimatore parabolico (andamento all'infinito, Fig. 67c) consente invece di ricostruire con una buona continuità il trend della variabile (fig. 68c), 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. 67b), dove al trend primario già evidenziato dal modello parabolico si vanno a sommare i trend secondari, indicativi della presenza di particolare strutture geologiche, quali nel caso specifico i paleoalvei (Fig. 68b).

Le interpolazioni che si ottengono con i diversi estimatori (Fig. 68) 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. 69a) 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. 69b) 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.

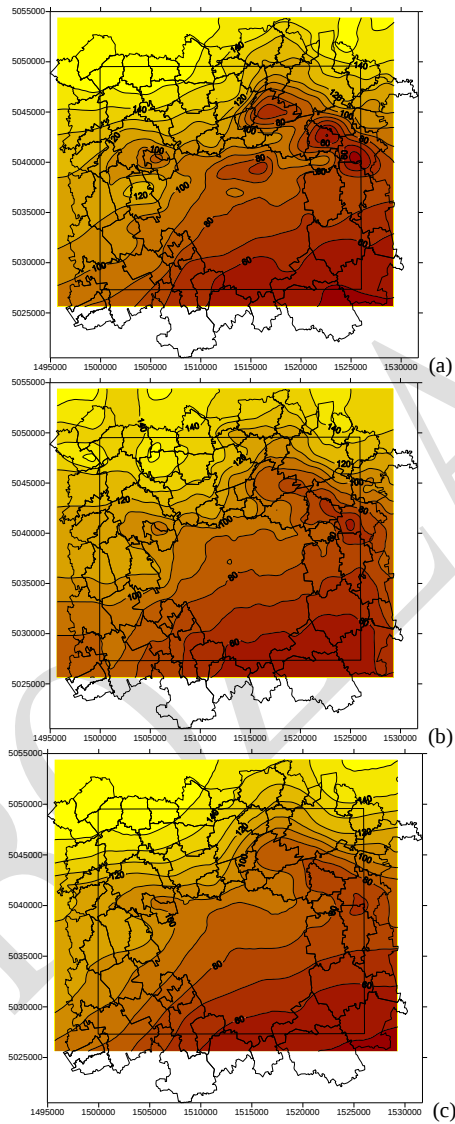


Fig. 68 - Risultati dell'interpolazione sui dati relativi alla base del I Acquifero coi diversi modelli di variogramma (Fig. 67).

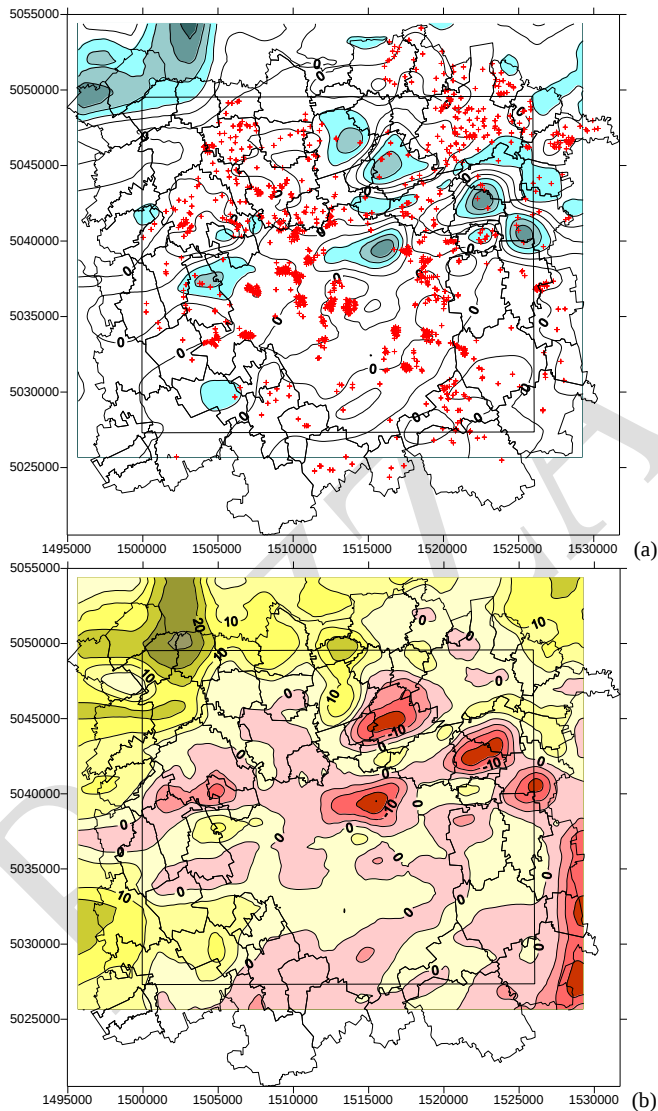


Fig. 69 - (a) In azzurro sono evidenziate le aree nelle quali sarebbe necessario disporre di ulteriori dati ai fini di ridurre l'errore di stima (espresso in m) commesso nell'interpolazione; (b) In giallo e rosso sono evidenziati, rispettivamente, gli alti ed i bassi della base dell'acquifero individuati a partire dal confronto tra interpolazione con estimatore parabolico (all'infinito) ed interpolazione con estimatore sferico.

APPENDICE 4 – NOTA SULL’ACQUISIZIONE DI UNA LINEA SISMICA AD ALTA RISOLUZIONE NELL’AREA URBANA DI MILANO: L’ESPERIMENTO IN BOSCO IN CITTÀ

(a cura di R. De Franco, G. Caielli, G. Biella, F. Berra)

Nella realizzazione dei fogli geologici uno dei problemi è costituito dal reperimento di informazioni geologiche sia di superficie sia di sottosuolo nelle aree urbane 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 piccole 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. 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* (2002). 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 della evoluzione dei processi che si sono instaurati nel tempo in tali aree.

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. Bosco in Città è 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. 70).

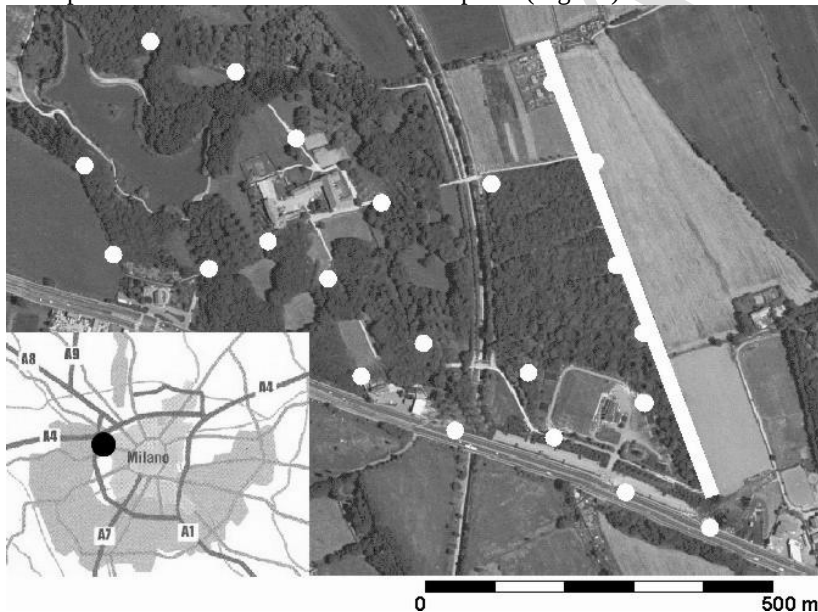


Fig. 70 – Mappa di posizionamento della linea sismica. I cerchi bianchi indicano i pozzi presenti nell'area di indagine.

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) spaziatura 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 e 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 di dati che presentano 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. E' stato successivamente applicato il mute manuale degli arrivi rifratti e un AGC (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. La sezione *stack* finale in tempi è stata convertita in profondità usando il campo di velocità di *stack*.

Entrambe le porzioni di linea (Fig. 71), campionate con diverse geometrie sperimentali, appaiono ben risolte. Gli eventi principali sono riconoscibili e presentano una ricostruzione laterale lungo tutta la linea e fino a 1s TWT. Come aspettato si osserva una diminuzione della risoluzione sismo-stratigrafica nella parte con spaziatura dei geofoni 10 m.

Si osservano chiari eventi riflessi tra la superficie e circa 1.0 s TWT di tempo a due vie, 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.72).

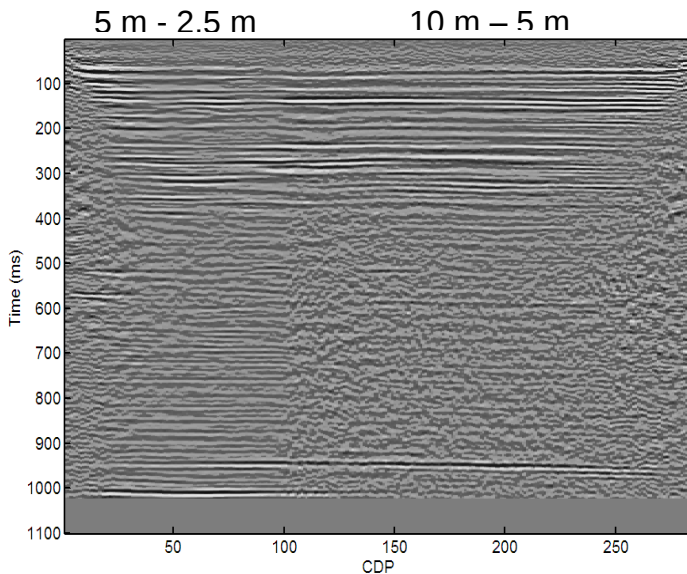


Fig. 71 – Sezione sismica in tempi a due vie composta. Si osservi la diversa risoluzione sismo stratigrafica in funzione dei parametri geometrici di acquisizione a destra e a sinistra del CDP 100 (triangolo bianco). I valori riportati in alto per le due parti si riferiscono rispettivamente alla spaziatura geofonica e di energizzazione.

I risultati del processing del dato sismico a riflessione sono stati integrati con quelli derivanti da processing dei dati a rifrazione. Il modello a rifrazione finale ottenuto non permette di investigare profondità maggiori di 50 m. L'analisi dei dati rifratti ha permesso la ricostruzione dell'immagine a rifrazione (DE FRANCO, 2005) 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 che è stata correlata alle stratigrafie dei pozzi presenti lungo lo stendimento (Fig. 71). In generale si osserva una continuità dei principali eventi riflessi in concomitanza di strati attribuibili ad argille o intercalazioni di esse a strati sabbiosi. Tali strati possono essere interpretati come i setti impermeabili o semi-permeabili confinanti le diverse falde presenti nel sottosuolo di Milano fino a 200 m di profondità.

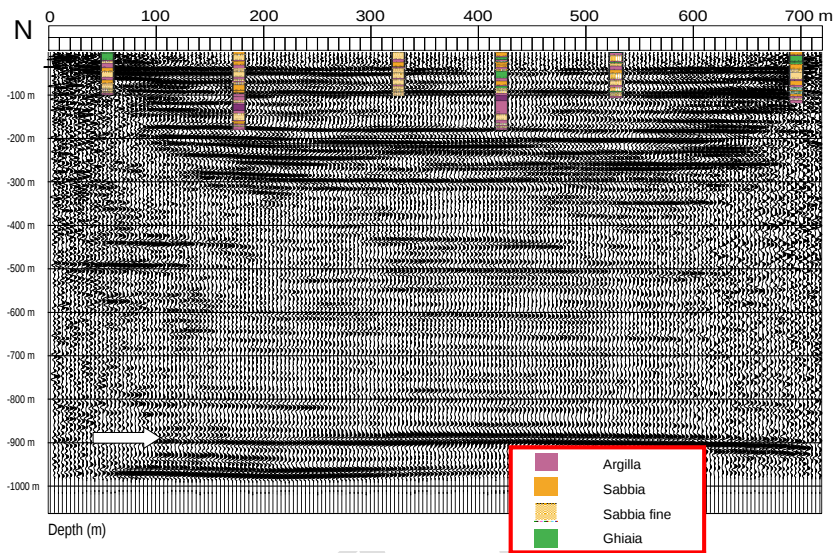


Fig. 72 – Sezione sismica in profondità e stratigrafie dei pozzi lungo la linea. La freccia indica il l'evento riflesso riferibile al limite del Pliocene Medio Superiore.

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 principali riconoscibili nei primi 1000 metri è la notevole continuità laterale. Le superfici attraversano l'intera linea sismica e non sono visibili superfici erosionali significativa. 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 *shallowing upward*, che caratterizzano generalmente i primi 100 del sottosuolo di Milano.

Questa geometria suggerisce una successione di eventi sedimentari 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, e 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 (solamente due pozzi superano significativamente i 100 metri di profondità), che suggeriscono un aumento della componente argillosa nella parte centrale della linea sismica, dove sono i riflettori presenti nel settore settentrionale, dovuti alla presenza di livelli arenacei che tendono a chiudersi verso la parte centrale.

Il confronto, tra la sezione stack ottenuta con la più vicina linea sismica a riflessione acquisita da ENI-AGIP (PIERI & GROPPi, 1981, sezione 4; Fig. 73) , localizzata nella parte a E di Milano, mostra come si possa ottenere una sismo-stratigrafia ad altissima risoluzione per tutta la porzione di sottosuolo che va dalla superficie fino al top del Pliocene Medio-Superiore.a (circa 900 m di profondità) che costituisce il primo evento sismico rilevabile con le indagini petrolifere standard.

Concludendo, l'esperimento di Bosco in Città ha quindi permesso di verificare la fattibilità operativa delle indagini sismiche in aree metropolitane, 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 piccola e consente di avere informazioni delle coperture Quaternarie fino alla discontinuità Pliocene Medio Superiore. La qualità dei dati ha inoltre evidenziato la possibilità di ottenere informazioni ad alta risoluzione sulle geometrie dei corpi sedimentari, aiutando nell'interpretazione dei processi deposizionali che hanno portato alla formazione. Questo è un risultato importante per pianificare future prospezioni sismiche nell'area metropolitana di Milano ed in altre aree metropolitane in presenza di piccoli campi operativi.

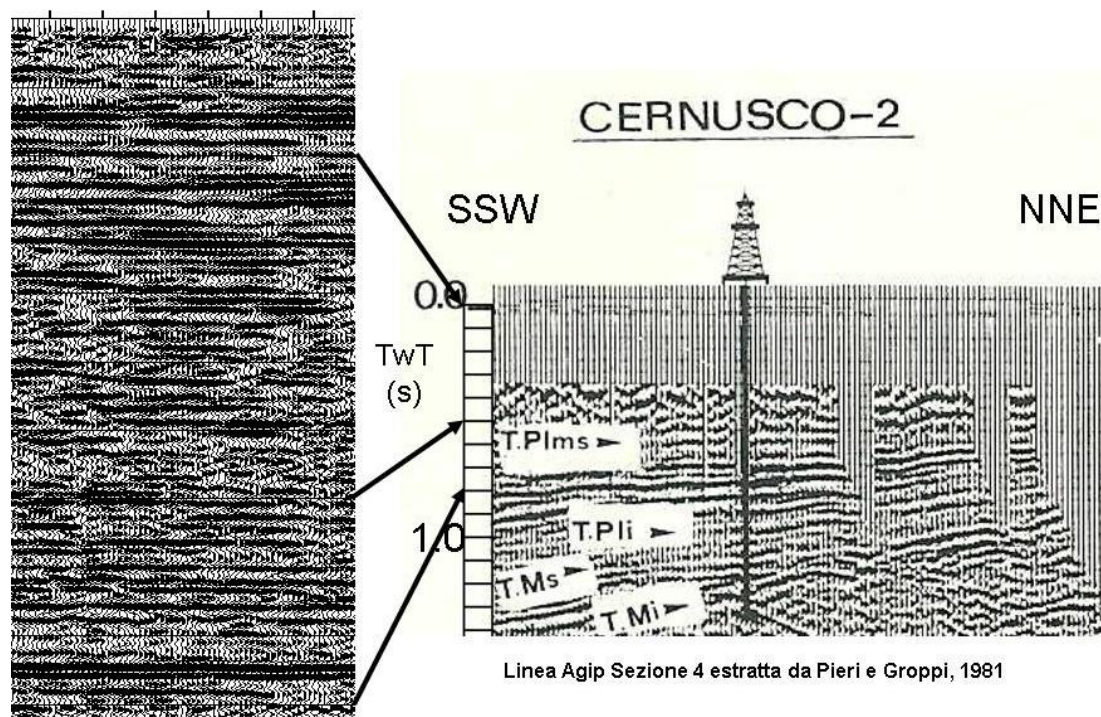


Fig. 73 – Confronto tra una linea sismica standard acquisita nell'area a E di Milano (a destra) e una porzione della linea acquisita in Bosco in Città (a sinistra).

BOZZA

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, **n.2**.
- ARCHIVIO MACROSISMICO GNDT (1995) - *Studi preliminari di terremoti attraverso i repertori sismologici*. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
- AVANZINI M., BERETTA G., FRANCANI 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., FRANCANI 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., Francani V., Mazzarella S., Costruzioni **n.326-327**, Milano.
- 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.
- BILLARD A. & FEDEROFF N. (1977) – *Interglacial-periglacial pedogenetic cycle in Northern Italy and France*, X INQUA Congress, Abstracts, Birmingham, vol. 10, 35.
- BILLARD A. (1980) – *Sols lessives degradés a glosses et a fragipan genese et regionalisation*.
- 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.
- 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
- 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.

- 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
- BRONK RAMSEY, 2009
- 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, p. 6093-6095
- CAPORUSSO D. (1990) - *Scavi MM3 Ricerche di Archeologia urbana a Milano durante la costruzione della linea 3 della Metropolitana 1982-1990*. Edizioni ET
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA, F. 45 Milano, I edizione (1931)
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA, F. 45 Milano, II edizione (1965)
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:50.000 (2009) - *Foglio 181 - Parma nord*. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CASATI P. & VIGANÒ (1974) - *Le acque sulfuree dell'arena di Milano* Atti Soc. Ital. Sci. Nat., ??? Milano
- 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.
- 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 Provincie Lombarde*. Ed. Hoepli, Milano, 714p.
- DA ROLD O. (1990) - *L'Apparato glaciale del Lago di Maggiore, settore orientale*. Tesi di dottorato di ricerca, Università degli Studi di Milano.
- DE FRANCO R. (2005) - *Multi-refractor imaging with stacked refraction convolution section*. Geophysical Prospecting, v. 53, 335-348, 2005.
- DE MORTILLET G. (1961) - *Carte des anciens glaciers du versant italien des Alpes*. Atti Soc. It. Sc. Nat. 3: 44-81, Milano
- 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
- FINCKH P., KELTS K., LAMBERT A. (1984) - *Seismic stratigraphy and bedrock forms in perialpine Lakes*. Geological Society of America, vol. **95**.
- FRANCANI V. (1997) - *Idrogeologia generale e applicata*. CittaStudiEdizioni, Milano.
- FRANCANI & POZZI, 1981

- FRANCESE R., GIUDICI M., SCHMITT D. R. AND ZAJA A. (2005) - *Mapping the geometry of an aquifer system with a high-resolution reflection seismic profile*. Geophysical Prospecting, **53**, 817-828
- 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.
- 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, 1984
- INGV (ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA). *Bollettino sismico mensile*. <http://legacy.ingv.it/roma/reti/rms/bollettino/index.php?lang=it>
- KIRSCHVINK, J.L.(1980). *The least squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data*. Royal Astronomical Society Geophysical Journal **62**, 699-718.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 AMERICA COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (1983) – *North American Stratigraphic Code*. AAPG Bulletin, **67**, 841-875.
- ORI *et alii* 1986
- ORI 1993
- OROMBELLI G. (1979) - *Il Ceppo d'Adda: revisione stratigrafica*. – Riv. It. Paleont. Strat., Vol. **85**, Milano.
- PENCK A.& BRUCKNER E. (1909) – *Die Alpen im Eiszeitalter*. Bd 3: 772-789, Leipzig.
- PIERI *et alii* (1981).....
- 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.
- 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.

- POZZI R., FRANCANI V. (1981) - *Condizioni di alimentazione delle riserve idriche del territorio milanese*. Vie e Trasporti, La Rivista della strada.
- 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 – SISTEMA INFORMATIVO FALDA (1992) - *Catasto pozzi pubblici 1991*. A cura di: ROSTI G. & ARDUINI C.
- 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*.
- REIMER *et alii*, 2009
- 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
- SACCO F. (1893) – *Gli anfiteatri morenici del Lago di Como*. Atti R. Accad. Agric. Torno 36.
- 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.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 45 "Milano"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1992) - *Quaderni Serie III, 1 - Carta Geologica d'Italia 1:50000: Guida al rilevamento*, Roma, 1-203.
- SILEO G., GIARDINA F., LIVIO F., MICETTI 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.
- SOLEILHAVOUP, 1979
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.

ANNEX I – ENGLISH LEGEND

PO SYNTHÈME (**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 – OLOCENE

CANTU' SYNTHÈME (**LCN**)

Mostly clast supported gravel with sandy matrix; pebbly sand; sand, silty sand, silt and sandy-clayey massive silt (fluviglacial deposits). Upper boundary surface marked by moderately evolved soils (Inceptisols and Alfisols) which thickness can reach one meter; colour 10YR and 2,5Y; faint hydromorphism in the southern edge of the sheet. Loessic cover is lacking.

UPPER PLEISTOCENE

RONCHETTO DELLE RANE SUBSYNTHÈME (**LCN₄**)

Massive to laminated sand, silty sand and silt; massive silt and clayey silt (low energy fluviglacial deposits). Thickness from 2 to 5 m. Upper boundary surface marked by slightly evolved soils (Alfisols); colours from 10YR to 2,5Y; common hydromorphism.

UPPER PLEISTOCENE

BESNATE SUPERSYNTHÈME

BULGAROGRASSO UNIT (**BXE**)

Mostly clast supported gravel; sandy or sandy-silty matrix (fluviglacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved to slightly evolved soils of variable thickness; prevailing colours are 7,5YR and 10YR. Colluvial coverage (loessic-colluvial coverage in Groane area).

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

MINOPRIO UNIT (**BMI**)

Clast- and matrix supported gravel; sandy or sandy-silty matrix; pebbly silt; sand, silty sand and silt (fluviglacial deposits). Upper boundary surface marked by soils of mean thickness of about 1,5 m; colours 10YR and 7,5YR; occurrence of buried soils in the southern edge of the sheet. Loessic coverage has not been observed.

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

CADORAGO UNIT (**BEE**)

Clast or matrix supported gravel, with sandy matrix; interlayered sand; silty clayey sand; sparse pebbles silt (fluviglacial deposits). Upper boundary surface marked by soils which thickness is ranging between 1,5 m and over 2 m. Simple loessic-colluvial coverage is locally preserved (west of Groane).

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

GUANZATE UNIT (**BEZ**)

Clast supported gravel, with sandy or sandy-silty matrix; locally silty sand with residual clasts (fluviglacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved to slightly evolved soils which thickness is lower than 2 m; colours from 10YR to 7,5YR. Without evident loessic coverage.

MIDDLE PLEISTOCENE - UPPER PLEISTOCENE

SUMIRAGO UNIT (**SUM**)

Mostly clast supported gravel, with sandy or sandy-silty matrix (fluviglacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved soils which thickness ranges between 1,5 and 2 m and colour is 7,5YR. Loessic-colluvial coverage is discontinuous.

MIDDLE PLEISTOCENE

VENEGONO SUPERSYNTHÈME (**VE**)

Sandy clayey silt, clayey silt with sparse weathered pebbles (slope deposits); sandy silt, silty sand, polygenic slightly weathered gravel (fluvial deposits). Upper boundary surface marked by acidic and desaturated soils derived by sediments generated by erosion of Pianalto delle Groane soils. Without own morphology (slopes) or with well preserved morphologies (fluvial terraces). Polyphasic unit which maximum age follows that one of the Bozzente Glacial Event.

MIDDLE PLEISTOCENE

BINAGO SYNTHÈME (**BIN**)

Clast supported gravel with sandy matrix (fluviglacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved soils which thickness is still over 2 m; matrix colour 7,5YR and 10YR. Simple loessic-colluvial coverage is always present.

MIDDLE PLEISTOCENE

BOZZENTE SUPERSYNTHÈME (**BO**)

Massive weathered gravel (fluviglacial deposits). Upper boundary surface marked by evolved soils; matrix colour is from 10YR to 7,5YR. Loessic-

colluvial coverage with complex stratigraphy; occurrence of *glossae* and fragipan horizons.
MIDDLE PLEISTOCENE