



Politecnico di Milano  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA,  
AMBIENTALE, INFRASTRUTTURE VIARIE, RILEVAMENTO  
Piazza Leonardo da Vinci 32 - 20133 MILANO



# Comune di Milano

**Legge Regionale 11 marzo 2005 n° 12**  
art. 57 comma 1

## **Componenti geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio**

### **RELAZIONE ILLUSTRATIVA**

**Ottobre 2009**

**Delibera di adozione n° 25 seduta consiliare del 13-07-2010 terminata il 14-07-2010**



## INDICE

1.	Premessa ed obiettivi .....	3
2.	COMPONENTE GEOLOGICA.....	6
2.1	Inquadramento territoriale.....	6
2.2	La struttura geologica di superficie - Pedologia.....	7
2.3	Elementi geomorfologici.....	9
2.4	Conclusioni.....	10
3.	COMPONENTE IDROGEOLOGICA .....	12
3.1.	La struttura idrogeologica.....	12
	I criteri che presiedono alla scelta delle Unità idrogeologiche della pianura.....	13
3.2.	Gli studi precedenti .....	16
3.3.	Caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi .....	21
	a) Alimentazione .....	21
	b) Zona di deflusso .....	22
	Distribuzione dei valori di trasmissività.....	23
3.4.	Conclusioni sulla struttura idrogeologica.....	25
4.	COMPONENTE SISMICA.....	32
4.1.	Inquadramento sismico .....	32
4.2.	Coefficienti sismici.....	36
4.3.	Comportamento sismico locale.....	36
4.4.	Analisi multicanale delle onde superficiali .....	37
5.	Idrografia.....	42
5.1.	Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI).....	44
5.2.	Idraulica fluviale – Fiume Lambro.....	46
5.3.	Criteri di valutazione della pericolosità idraulica .....	48
	Studi precedenti.....	52
5.4.	Simulazione del Fiume Lambro con modello monodimensionale .....	54
	Analisi dei risultati.....	55
5.5.	Simulazione del Fiume Lambro con modello bidimensionale .....	56
	Analisi dei risultati.....	58
5.6.	Considerazioni sulla simulazione numerica.....	60
6.	Fattibilità geologica .....	62
6.1.	Criteri di valutazione del rischio ambientale.....	62
	Classe II Fattibilità con modeste limitazioni (verde).....	63
	Classe III - Fattibilità con consistenti limitazioni (arancione).....	63
	Classe IV - Fattibilità con gravi limitazioni (rossa).....	63
7.	Norme Geologiche di Piano .....	64
7.1.	Definizioni.....	64
7.2.	Indagini ed approfondimenti geologici – Criteri generali .....	68
7.3.	Classi di fattibilità geologica.....	70
	Norme Geologiche di Piano per la Classe II Fattibilità con modeste limitazioni (verde).....	70
	Norme Geologiche di Piano per la Classe III - Fattibilità con consistenti limitazioni (arancione)....	72
	Norme Geologiche di Piano per la Classe IV - Fattibilità con gravi limitazioni (rossa).....	75
8.	Cartografia .....	79
9.	Bibliografia.....	82



## 1. Premessa ed obiettivi

Il Comune di Milano ha affidato al Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie e Rilevamento Sezione Geologia Applicata (DIIAR) l'incarico di definire le componenti geologiche, idrogeologiche e sismiche del territorio a supporto della pianificazione urbanistica comunale, ai sensi della LR 12/05.

Il Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) definisce, attraverso il Documento di Piano, l'assetto geologico, idrogeologico e sismico del territorio (LR 12/05 art. 8, comma 1, lettera c) individua, per mezzo del Piano delle Regole, le aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica eventualmente presenti sul territorio comunale, e determina le norme e le prescrizioni a cui le medesime sono assoggettate (LR 12/05 art. 10, comma 1, lettera d).

Questa attività segue, a livello temporale, la collaborazione tra Comune di Milano e Politecnico di Milano - DIIAR già posta in essere per lo studio delle componenti geologiche ed idrogeologiche iniziata nel 2001.

Gli elaborati cartografici e la relazione illustrativa sono stati realizzati secondo quanto previsto dalla DGR 8/7374 del 28/05/2008 indicante i criteri relativi per la definizione dei Piani di Governo del Territorio.

Sulla base di criteri geologico-morfologici, idrogeologici, idraulici, l'intero territorio comunale è stato analizzato e classificato con adeguato dettaglio.

Le aree di maggior interesse urbanistico e quelle ritenute più sensibili ad eventuali impatti con gli sviluppi futuri del tessuto urbano, hanno richiesto studi più approfonditi e documentazione specifica; lo studio nel suo complesso ha consentito di fornire attenzioni e prescrizioni per tutte le aree del territorio comunale.

E' stata inoltre approfondita la tematica riguardante l'articolato assetto idrografico del territorio, caratterizzato da navigli, canali, tombinature, rogge e colatori.

Sono stati studiati i caratteri fisici ed evolutivi del territorio, attraverso l'osservazione della cartografia storica disponibile, individuando le azioni antropiche principali che hanno definito l'attuale assetto fisiografico della città.



L'attività svolta ha prodotto diverse cartografie tematiche a varia scala, che unitamente alla presente Relazione illustrativa, hanno lo scopo di fornire all'Amministrazione Comunale e agli uffici Tecnici la base conoscitiva dello stato fisico del territorio e di verificare la congruità delle scelte di pianificazione e programmazione degli interventi previsti.

In particolare, lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi:

- a) acquisizione, studio e verifica del materiale bibliografico disponibile;
- b) osservazione della componente geomorfologia generale mediante analisi stereoscopica di fotografie aeree;
- c) ricostruzione dell'assetto geolitologico dell'area comunale e delle zone limitrofe;
- d) rilievo geolitologico, geomorfologico e geologico-tecnico con particolare attenzione alle problematiche di dissesto idraulico e idrogeologico;
- e) creazione di un data-base digitale dei dati raccolti e successiva elaborazione mediante piattaforma G.I.S.;
- f) comprensione dei meccanismi e delle cause dei fenomeni di dissesto idraulico in atto e potenziali e Suddivisione del territorio in aree con caratteristiche omogenee;
- g) definizione del grado di fattibilità geologica per le azioni del Piano e proposta di Norme Tecniche di Attuazione.

I risultati dell'indagine sono descritti nella presente relazione e illustrati nella cartografia tematica allegata:

#### Cartografia di inquadramento ed analisi

- *Carta geolitologica con elementi geomorfologici (scala 1:10.000);*
- *Carta idrogeologica (scala 1:10.000).*

#### Cartografia di sintesi

- *Carta di sintesi (1:5.000)*
- *Carta dei vincoli (scala 1:5.000)<sup>1</sup>*

#### Cartografia di Piano (Allegata alla proposta di Norme Geologiche di Piano)

- *Carta della fattibilità geologica (1:5.000)*

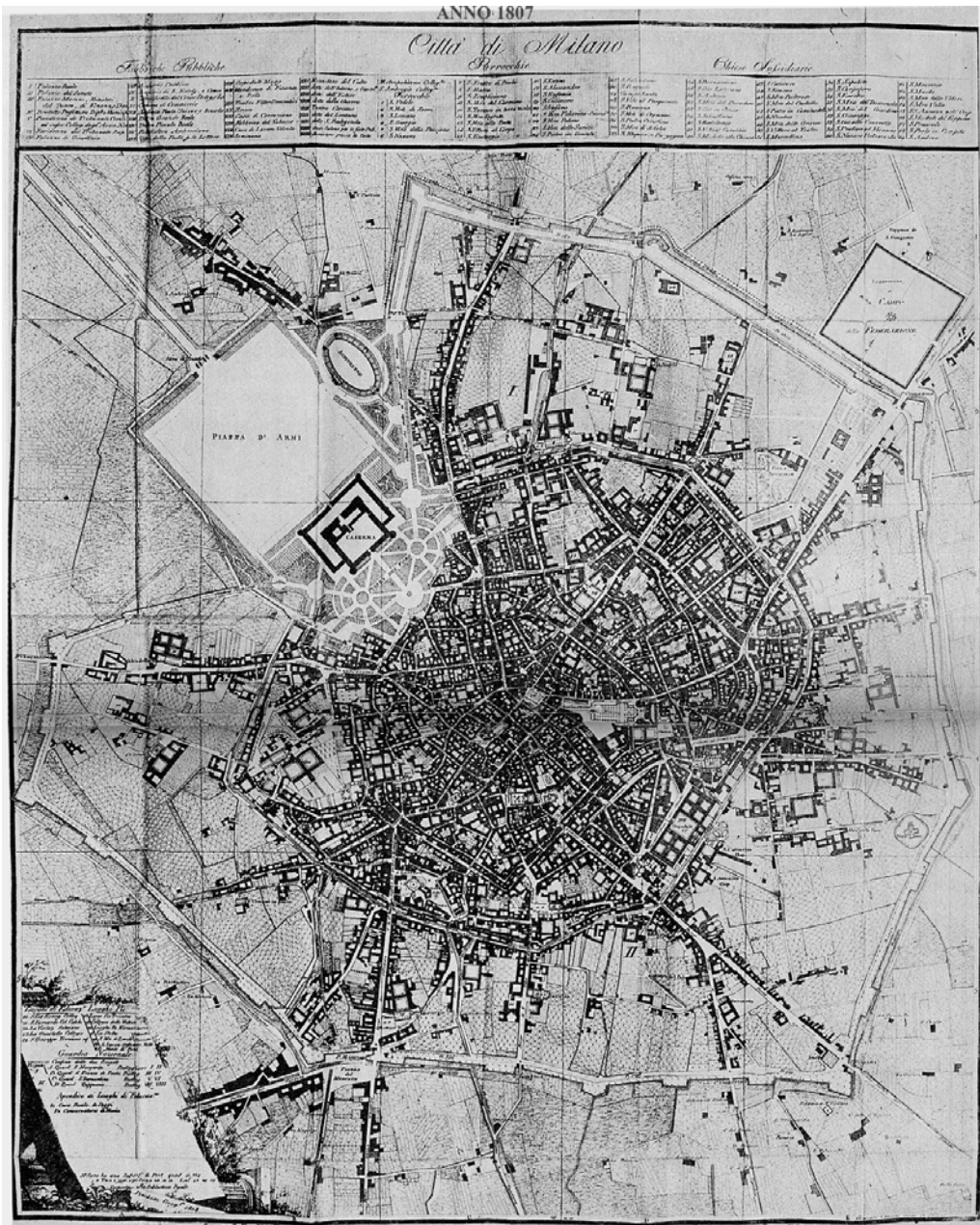
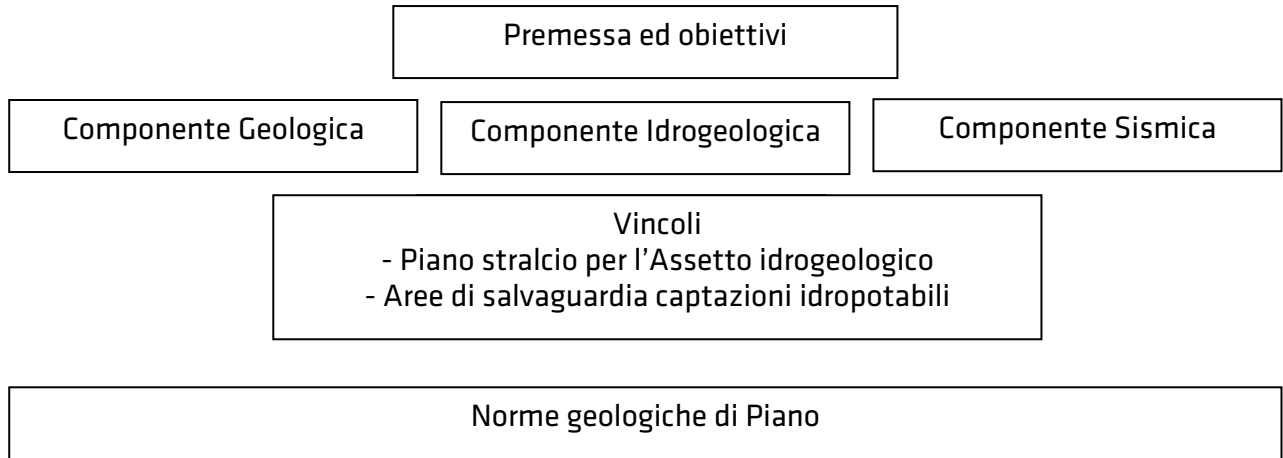
Le basi cartografiche utilizzate per la redazione degli elaborati tematici sono state ricavate da:

- *Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) scala 1:10.000 formato raster (intero territorio)*
- *Rilievo fotogrammetrico 2001 in scala 1:2.000 in formato vettoriale (intero territorio)*
- *Rilievo fotogrammetrico 2004 in scala 1:1.000 in formato vettoriale*
- *Carte catastali comunali in scala 1:2.000*

---

<sup>1</sup> Su questa tavola non sono riportati graficamente i vincoli territoriali riferiti al reticolo idrico minore (DGR. 25 gennaio 2002 n. 7/7868 e s.m.i.) poiché le fasce di rispetto sono disciplinate all'interno delle norme del Piano delle Regole.

La presente Relazione illustrativa è così schematizzabile





## 2. COMPONENTE GEOLOGICA

### 2.1 *Inquadramento territoriale.*

L'area studiata è caratterizzata dalla presenza di una successione di depositi quaternari appartenenti ai sistemi deposizionali fluviali e fluvioglaciali.

Per l'interpretazione litostratigrafica e cronostratigrafica di questi depositi, è importante sottolineare come sia attualmente in corso una profonda revisione di tutte le Unità quaternarie continentali della Pianura Lombarda che, nell'area più settentrionale, ha già prodotto notevoli risultati contribuendo alla reinterpretazione di tutti i vecchi modelli stratigrafici e cronologici.

Allo stato attuale di queste ricerche non sono stati ancora pubblicati i risultati di nuovi rilevamenti nella zona di Milano; pertanto, nella definizione stratigrafica dei depositi affioranti nell'area considerata sono state mantenute le denominazioni tradizionali desunte dalla letteratura geologica fino ad ora pubblicata.

Questa scelta, alla luce degli obiettivi del presente lavoro, è risultata comunque valida anche perché nelle descrizioni delle varie Unità sono stati privilegiati dati oggettivi come la caratterizzazione litologica e tessiturale dei sedimenti.



## 2.2 La struttura geologica di superficie - Pedologia

### Osservazioni litostratigrafiche sulle Unità affioranti

Di seguito si propone una descrizione, in successione cronologica dalla più antica alla più recente, delle diverse Unità che compaiono nell'area di studio come descritte da vari Autori tra cui Nordio E. (1957), Riva (1957), Comizzoli et al. (1969), Cavallin et al. (1983), Francani, (1985).

I sedimenti hanno origine alluvionale, per deposizione dai corsi d'acqua, e glaciale (dove sono presenti colline moreniche); con il termine "fluvioglaciale", gli Autori intendono depositi alluvionali pleistocenici, contemporanei alle fasi di avanzata e ritiro dei ghiacciai.

#### Diluvium Antico (fluvioglaciale Mindel Auct.)

È costituita da ghiaie a supporto di matrice, caratterizzate da un alto grado di selezione, disposte in letti suborizzontali o leggermente inclinati, con ciottoli poligenici generalmente arrotondati di diametro medio di circa 10 cm.

La matrice, abbondante, è prevalentemente sabbioso – argillosa di colore giallo – ocraceo.

Superficialmente è presente un orizzonte di alterazione dal tipico colore rossastro avente spessore di alcuni metri prodotto da fenomeni di ossidazione, decalcificazione e argillificazione.

Questa Unità affiora marginalmente a Nord del territorio comunale dove è rappresentata dai depositi ghiaioso sabbiosi.

Verso Ovest è a contatto con i depositi del Diluvium Medio (Auct.) mentre a Sud e a Est questa Unità è rilevabile al di sotto delle alluvioni del Diluvium Recente.

I depositi che caratterizzano il Diluvium Antico sono riferibili ad un ambiente deposizionale alluvionale di piana fluvioglaciale caratterizzata dalla presenza di corsi d'acqua a canali intrecciati (*braided rivers*); dal punto di vista cronostratigrafico, sulla base di considerazioni geometriche e del grado di alterazione, sono stati associati a età contemporanee o immediatamente successive alla fasi glaciali quaternarie più antiche (Mindel Auct.).

Alla sommità dei depositi grossolani si rinviene ovunque un livello di 2 – 3 m di spessore, costituito da più coltri (almeno 2) di limi, presumibilmente eolici, profondamente pedogenizzati (ERSAL, 1999).

L'insieme dei depositi fluvioglaciali alterati e dei limi pedogenizzati di copertura viene definito tradizionalmente "ferretto", anche se a volte questo termine è attribuito solo alla parte più superficiale dell'unità, che affiora in territorio geograficamente più a Nord rispetto all'area rilevata.

Questa denominazione, che per anni è stata utilizzata come definizione del marker dell'in-terglaciale Mindel – Riss, diventando tradizionale nella letteratura geologica, è attualmente considerata ambigua; è stato infatti dimostrato che il "ferretto", potendo derivare da processi paleopedologici



instauratisi in età diverse, non può essere utilizzato come elemento di correlazione temporale (Cremaschi & Orombelli, 1982; Cremaschi, 1987).

#### Diluvium Medio (fluvioglaciale Riss Auct.)

Le aree di affioramento di questa Unità si trovano sempre nella porzione settentrionale dell'area studiata.

I sedimenti sono essenzialmente di natura ghiaiosa con ciottoli molto arrotondati aventi diametro medio di circa 10 cm, immersi in una matrice abbondante di colore giallo – marrone, a tessitura argilloso – sabbiosa.

La natura litologica dei ciottoli è varia, ma raramente si hanno elementi clastici calcarei; il grado di alterazione dei sedimenti varia da medio ad elevato.

Questa tipologia di deposito è stata associata ad un ambiente deposizionale simile a quello del Diluvium Antico, ma cronologicamente posteriore, attribuibile al Riss Auct.

Localmente le ghiaie sono ricoperte da un orizzonte di depositi limosi e più frequentemente limoso - sabbiosi, lo spessore risulta di difficile individuazione, comunque compreso tra 1 e 1.5 metri.

I caratteri litologici peculiari di questo deposito sommitale sono l'estrema omogeneità e l'elevato grado di assortimento granulometrico.

#### Diluvium Recente (fluvioglaciale Wurm Auct.)

Vengono così definiti quei depositi di natura ghiaioso – sabbiosa, tradizionalmente interpretati come frutto di episodi di sedimentazione fluvioglaciale e fluviale delle ultime fasi glaciali (Wurm Auct.).

Questa Unità, che costituisce il cosiddetto “livello fondamentale della pianura”, affiora con continuità in tutta l'area di studio, interrompendosi solo in corrispondenza del terrazzo pleistocenico della valle del fiume Lambro.

Nelle aree meridionali del territorio del comune di Milano è presente in superficie anche un orizzonte limoso – sabbioso di alterazione, dello spessore di 70/100 cm circa, spesso rimaneggiato per intervento antropico.

Su scala regionale, le caratteristiche litologiche evidenziano una natura meno uniforme di quelle precedentemente descritte.

Da un punto di vista tessiturale è infatti possibile distinguere tre fasce, denominate *zona a ghiaie prevalenti*, *zona a ghiaie e sabbie* e *zona a sabbie prevalenti*, con progressivo aumento delle componenti granulometriche fini da Nord a Sud.

In riferimento a questa Suddivisione, l'area di studio si inquadra nella *zona a ghiaie e sabbie*.





I depositi, che presentano spesso una pseudo stratificazione, sono costituiti da ghiaie e sabbie mal selezionate caratterizzati, come tutti gli elementi clastici, da un elevato grado di arrotondamento. La tessitura della matrice è generalmente sabbiosa, anche se non raramente si ha un aumento della componente limoso – argillosa. Questo carattere è tipico delle porzioni più superficiali del deposito e sembra essere legato a fenomeni di liscivazione dagli orizzonti pedogenizzati ad opera delle acque di infiltrazione.

### Alluvioni recenti e attuali

A questa Unità sono attribuiti i depositi che affiorano in corrispondenza degli alvei dei corsi d'acqua; sono costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose con locali intercalazioni di livelli sabbioso – limosi legati a fenomeni di esondazione.

L'elevata attività delle dinamiche deposizionali e le continue trasformazioni antropiche non consentono la formazione di un orizzonte di alterazione superficiale significativo.

### *2.3 Elementi geomorfologici*

L'area in esame si inquadra nella media pianura alluvionale in cui, dal punto di vista morfologico, sono riconoscibili solo i terrazzi fluviali attuali, anche questi parzialmente obliterati dall'attività antropica di rimodellamento.

In tale contesto dunque l'aspetto più rilevante è legato all'intensa antropizzazione che incide profondamente sui processi morfogenetici naturali, soprattutto con il controllo della circolazione idrica superficiale e l'impermeabilizzazione del suolo ad opera di coperture artificiali.

Un'ulteriore modificazione indotta sul territorio deriva anche dallo sfruttamento a fini estrattivi di cave di ghiaia e sabbia.

Il territorio del Comune di Milano si caratterizza per la completa obliterazione delle dinamiche morfologiche naturali: il reticolo idrografico risulta intensamente regimato ed il territorio pianeggiante è interrotto da piccole scarpate ed avvallamenti di esclusiva genesi antropica.

Le quote altimetriche variano da 182,2 m s.l.m. del Monte Stella a 99,7 m s.l.m. della parte terminale di via Ripamonti; la deviazione standard dei punti a terra rilevati è però pari a 11,58 m individuando una pendenza media del territorio pari al 3 per mille.



### Paleoalvei

L'unico elemento morfologico degno di nota è rappresentato dal paleoalveo del F. Lambro: l'antico alveo fluviale presenta ancora scarpate naturali o seminaturali in alcune porzioni del territorio, le quali incidono il piano della pianura di circa 2-2.5m.

Là dove non si ritrovano più tali scarpate si può osservare un graduale abbassamento del piano campagna causato dalle attività antropiche.

Attualmente il Fiume Lambro scorre in un alveo quasi completamente rettificato in quanto delimitato da argini artificiali.

### 2.4 Conclusioni

E' stata dunque prodotta la carta litologica con elementi geomorfologici nella quale sono state rappresentate le Unità litologiche, scegliendo di uniformare la legenda a quella della Carta della Litologia Superficiale prodotta dall'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia - Servizio del Suolo, nell'ambito della studio per la carta Pedologica della Lombardia.

Con il termine "litologia di superficie" viene descritto il substrato coerente e non, che si trova al di sotto degli orizzonti pedogenizzati fino ad una profondità di 3-5 metri dal piano campagna.

Le aree identificate in carta sono state definite in base alla classificazione ERSAL; per gli scopi del presente studio si è fatto riferimento ai Codici ERSAL indicati nella prima colonna della tabella 2.1.

CODICE ERSAL	Codice	Definizione
G1	G1P	Ghiaie poco gradate
	G1PS	Ghiaie poco gradate con sabbia
	G1W	Ghiaie ben gradate
	G1WS	Ghiaie ben gradate con sabbia
G2	G2PA	Ghiaie poco gradate con argilla
	G2PAS	Ghiaie poco gradate con argilla e sabbia
	G2PL	Ghiaie poco gradate con limo
	G2PLS	Ghiaie poco gradate con limo e sabbia
	G2WA	Ghiaie ben gradate con argilla
	G2WAS	Ghiaie ben gradate con argilla e sabbia
	G2WL	Ghiaie ben gradate con limo
	G2WLS	Ghiaie ben gradate con limo e sabbia
G3	G3A	Ghiaie argillose
	G3AS	Ghiaie argillose con sabbia
	G3L	Ghiaie limose
	G3LS	Ghiaie limose con sabbia
S1	S1P	Sabbie poco gradate
	S1PG	Sabbie poco gradate con ghiaia
	S1W	Sabbie ben gradate



	S1WG	Sabbie ben gradate con ghiaia
S2	S2PA	Sabbie poco gradate con argilla
	S2PAG	Sabbie poco gradate con argilla e ghiaia
	S2PL	Sabbie poco gradate con limo
	S2PLG	Sabbie poco gradate con limo e ghiaia
	S2WA	Sabbie ben gradate con argilla
	S2WAG	Sabbie ben gradate con argilla e ghiaia
	S2WL	Sabbie ben gradate con limo
	S2WLG	Sabbie ben gradate con limo e ghiaia
S3	S3A	Sabbie argillose
	S3AG	Sabbie argillose con ghiaia
	S3L	Sabbie limose
	S3LG	Sabbie limose con ghiaia
L4	L4	Limi
	A4	Argille
	L4G	Limi con ghiaia
	A4G	Argille con ghiaia
	L4S	Limi con sabbia
	A4S	Argille con sabbia
L5	L5G	Limi ghiaiosi
	A5G	Argille ghiaiose
	L5GS	Limi ghiaiosi con sabbia
	A5GS	Argille ghiaiose con sabbia
	L5S	Limi sabbiosi
	A5S	Argille sabbiose
	L5SG	Limi sabbiosi con ghiaia
	A5SG	Argille sabbiose con ghiaia

Tab. 2.1: Classificazione ERSAL delle litologie

I dati stratigrafici relativi all'intervallo di profondità 3-5m sono stati ricavati dalle stratigrafie dei pozzi e delle indagini disponibili; va precisato che tali informazioni puntuali sono risultate solo in parte congruenti con quanto riportato sulla base cartografica prodotta (Carta litologica) procedendo di conseguenza ad una completa definizione dei limiti tra le varie Unità all'interno dell'area urbanizzata.

La carta riporta, con colori differenti, le Unità pedologiche presenti nel territorio comunale ricavate da carte ufficiali pubblicate, dalla letteratura scientifica o da sopralluoghi effettuati.

Gli elementi geomorfologici indicati sono le forme di erosione e di accumulo presenti, interpretandone la genesi di origine antropica.

I dati derivano dalle indagini svolte sul territorio nel tempo, quali sondaggi, prove penetrometriche, trincee esplorative, distribuite sul territorio e derivate dalle diverse realizzazioni di ingegneria civile che hanno interessato il territorio comunale.



### 3. COMPONENTE IDROGEOLOGICA

#### 3.1. *La struttura idrogeologica*

La geologia della pianura è particolarmente complessa; vi si possono, infatti, riconoscere diverse Unità idrogeologiche, e strutture (quali dorsali del substrato e paleolavei) la cui descrizione è necessaria per una comprensione adeguata del problema in esame.

Riteniamo opportuno esporre dapprima la struttura idrogeologica come risulta dagli studi fino ad ora pubblicati, e successivamente lo schema semplificato adottato per il seguente lavoro. In tutti questi studi, sono state proposte classificazioni essenzialmente analoghe, ma di difficile comprensione perché si sono utilizzate denominazioni differenti per indicare le medesime unità.

Nel presente lavoro, allo scopo di facilitare la comprensione della letteratura precedente, molto ricca di informazioni ma altrimenti non utilizzabile, vengono riportate ove possibile le varie denominazioni delle Unità così da agevolare la lettura dei documenti meno recenti.

Nella tabella 3.1 sono riportate le denominazioni delle diverse Unità secondo gli Autori che hanno trattato l'argomento.

UNITA' LITOLOGICHE (MARTINIS B. & MAZZARELLA S., 1971)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE (FRANCANI & POZZI, 1981),	UNITA' STRATIGRAFICHE (PIERI & GROPPI, 1981)	UNITA' IDROGEOLOGICHE (AVANZINI, BERETTA, FRANCANI et Al., 1995)	GRUPPI ACQUIFERI (REGIONE LOM-BARDIA & AGIP, 2002)
LITAZONA GHIAIOSO - SABBIOSA	FLUVIOGLACIALE WURM AUCT. (Dil. Recente)	ALLUVIONE	UNITA' GHIAIOSO - SABBIOSA	A
	FLUVIOGLACIALE RISS - MINDEL AUCT. (Dil. Medio - Antico)		UNITA' SABBIOSO - GHIAIOSA	B
	CEPPO AUCT		UNITA' A CONGLOMERATI E ARENARIE BASALI	
LITAZONA SABBIOSO - ARGILLOSA	VILLAFRANCIANO	SABBIE DI ASTI	UNITA' SABBIOSO - ARGILLOSA (facies continentali e di transizione)	C
LITAZONA ARGILLOSA			UNITA' ARGILLOSA (facies marine)	D

Tabella 3.1: Unità idrogeologiche presenti nel sottosuolo di Milano e hinterland secondo le denominazioni dei diversi Autori (Regione Lombardia & ENI – Divisione AGIP, 2002; modificata).



*I criteri che presiedono alla scelta delle Unità idrogeologiche della pianura*

Le motivazioni delle diverse denominazioni, ai fini di una migliore comprensione delle documentazioni tecniche e scientifiche, necessitano di una breve descrizione.

Il metodo proposto da Martinis B. e Mazzarella S., elaborato in un'epoca in cui la cartografia geologica di superficie era ancora poco nota, ricostruisce l'età delle Unità sulla base della paleontologia e micropaleontologia più profonde mentre le Unità superiori corrispondono alle Unità fluvio-glaciali affioranti nella media e alta pianura lombarda; tra i depositi più recenti e quelli più antichi è riconoscibile un livello discontinuo di sedimenti fini che separa la falda libera da quella semiconfinata sottostante.

Il criterio idrostratigrafico adottato da Francani V. & Pozzi R. (1981) assume una relazione diretta tra le caratteristiche litologiche e stratigrafiche e le proprietà idrauliche, sulla base della tradizione della cartografia idrogeologica internazionale (Castany, 1968, Margat 1962) che consente un approccio pratico alla comprensione della circolazione idrica sotterranea per la soluzione dei problemi di idrogeologia regionale.

Questo metodo consiste sostanzialmente nel seguire in profondità le Unità geologiche di superficie riportate nelle cartografie geologiche nazionali attraverso i numerosi dati ricavati dalle prospezioni geognostiche e dai pozzi per acqua.

Le denominazioni delle Unità idrogeologiche vengono quindi fatte corrispondere a quelle delle Unità di superficie.

La suddivisione in Unità idrogeologiche, proposta dallo studio sulle falde profonde della Provincia di Milano curato da Avanzini M., Beretta G.P., Francani V. et Al. (1995), si basa invece sul riconoscimento di associazioni di litotipi che presentano le seguenti caratteristiche:

- analoghe condizioni di circolazione idrica sotterranea;
- rapporti comparabili di alimentazione - deflusso delle falde;
- disposizione geometricamente conforme rispetto agli altri acquiferi.

Questo criterio essenzialmente idrogeologico mette in relazione le caratteristiche litologico - stratigrafiche con le modalità di circolazione idrica e consente, rispetto ai criteri precedentemente



illustrati, una maggiore razionalizzazione del modello stratigrafico del sottosuolo a vantaggio di una maggiore corrispondenza tra i livelli acquiferi e le falde presenti.

I criteri utilizzati da ENI – Divisione Agip e Regione Lombardia (2002) fanno riferimento ai risultati di un'indagine multidisciplinare, compiuta utilizzando diverse fonti di dati (stratigrafie di pozzo, linee sismiche e log elettrici); tale indagine propone un modello stratigrafico basato sul riconoscimento e la definizione di 4 Unità idrostratigrafiche, definite informalmente Gruppi Acquiferi A, B, C, D.

Il Gruppo Acquifero D, il più profondo, è costituito da una sequenza in facies negativa, o a granulometria inversamente crescente (Coarsening Upward) di età pleistocenica inferiore, caratterizzata da argilla siltosa e silt con intercalazioni di sabbia fine e finissima in strati sottili alla base, sabbia grigia fine e media nella porzione intermedia, e ghiaia poligenica alternata a sabbia nella parte alta.

La successione sedimentaria è interpretata come un sistema deposizionale di delta - conoide progradante da Nord verso Sud.

Il soprastante Gruppo Acquifero C, attribuito al Pleistocene Medio, è ripartito in due distinti cicli regressivi: il ciclo inferiore è costituito, alla base, da sedimenti marini di piattaforma, rappresentati in prevalenza da argilla siltoso - sabbiosa che passano superiormente a depositi prevalentemente sabbiosi di ambiente transizionale, la parte alta del ciclo è invece rappresentata da depositi continentali di piana alluvionale con sabbia grigia da finissima a media, laminata, alternata ad argilla siltosa e argilla palustre scura, ricca in sostanza organica.

Il ciclo regressivo inferiore è interrotto da una fase trasgressiva che ha coinciso con la deposizione di facies transizionali di un sistema litorale a prevalenti sabbie finissime passanti superiormente ad argille marine di piattaforma.

La porzione basale del ciclo superiore è rappresentata da una sequenza di facies negativa di progradazione di sistemi deltizi (ambiente transizionale), con prevalente sabbia grigia fine e media in strati gradati. Segue una sedimentazione in ambiente continentale di piana alluvionale con sabbia grigia, da finissima a media, alternata ad argilla siltosa ed argilla nerastra.

Nel suo complesso il Gruppo Acquifero C corrisponde ad una fase di progradazione da Ovest verso Est dei sistemi deposizionali padani, la quale determina il rapido colmamento dei bacini profondi a sedimentazione torbida, ancora presenti nella parte orientale e Sud - orientale della Lombardia.



La notevole variabilità sedimentaria ha importanti conseguenze di natura idrogeologica; gli intervalli sabbiosi rappresentano infatti dei serbatoi caratterizzati da spessori significativi (10 - 30 m), buona continuità laterale e valori dei parametri idrogeologici (porosità e permeabilità) favorevoli allo sfruttamento idrico, mentre i livelli argillosi garantiscono una sufficiente protezione e confinamento delle falde idriche presenti.

Il Gruppo Acquifero B è suddivisibile in due distinti cicli positivi (fining upward) di spessore pari a circa 20 m mentre nel ciclo inferiore prevalgono i litotipi sabbiosi, con sabbia grigia da fine a grossolana, raramente ciottolosa, massiva o laminata, in strati gradati da sottili a molto spessi.

Il ciclo superiore è caratterizzato da granulometrie più grossolane, con chiara prevalenza delle ghiaie, nelle aree più prossime alle aree alpine di alimentazione, e delle sabbie in quelle meridionali più distali.

Il limite di base del Gruppo Acquifero B coincide con una fase molto importante nell'evoluzione sedimentaria della pianura lombarda per quanto attiene a litologie, facies sedimentarie, ambienti e sistemi deposizionali e direzione degli apporti. Esso segna infatti il passaggio alla deposizione generalizzata di sedimenti grossolani, rappresentati da sabbie medio - grossolane, sabbie ciottolose e ghiaie a matrice sabbiosa.

L'ambiente di deposizione è esclusivamente continentale con sistemi deposizionali di piana alluvionale dominata da sistemi fluviali braided ad alta energia, caratterizzati da sedimenti sabbioso - ghiaiosi poco classati organizzati in strati molto spessi, per lo più amalgamati.

Il Gruppo Acquifero A presenta forti analogie con il sottostante Gruppo B in termini di litofacies, ambienti e sistemi deposizionali.

I depositi sono costituiti da ghiaie e ghiaie ciottolose poligeniche a matrice sabbiosa da media a molto grossolana; l'ambiente deposizionale è continentale e dominano, in particolare, le piane alluvionali con sistemi fluviali di tipo braided.

Ai fini della classificazione delle Unità idrogeologiche di Milano, si osserva che la classificazione della Regione Lombardia e di ENI del 2002 presenta indubbi vantaggi per il fatto di essere basata su un numero di dati molto maggior rispetto a quelle precedenti.



Questa classificazione risulta ancora suscettibile di miglioramenti che la rendano idonea ad affrontare i problemi geologico-applicativi di dettaglio .

Per tale motivo è da accogliere con favore l'iniziativa di procedere a classificazioni più vicine a questa esigenza, utilizzando il criterio delle Unità dette alloformazioni (Bini A. e al.) che potrà fornire, una volta estesa all'area regionale, importanti contributi.

### **3.2.            *Gli studi precedenti***

Il sottosuolo della pianura milanese è formato, come indicato in precedenza, da una successione di sedimenti plio-pleistocenici, costituiti nella parte basale prevalentemente da limi ed argille d'origine marina con rare sabbie e ghiaie, mentre nella parte sommitale si hanno alternanze di ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine alluvionale e fluvioglaciale.

#### *Unità idrogeologiche*

##### a) Unità argilloso-sabbiosa

Questa Unità attribuita al Pleistocene inferiore (Martinis B. e Mazzarella S., 1971; Martinis B. e Robba E., 1978; Casati, 1986) si rinviene nei pozzi con profondità superiore ai 220-280 m nella media pianura e 130-180 m nell'alta pianura.

Si tratta prevalentemente di argille e limi di colore grigio cinereo con micro e macro fossili marini, ai quali sono subordinati livelli sabbiosi generalmente di modesto spessore.

I sedimenti della parte basale, riferiti al Pliocene – Pleistocene Inf. (Calabriano), sono rappresentati da limi e argille d'origine marina.

Dalla fine del Pleistocene Inferiore, a seguito di fasi neotettoniche legate allo spostamento verso NE dei fronti Appenninici (Regione Lombardia & ENI – Divisione AGIP, 2002) e del conseguente ritiro della linea costiera, si impostano condizioni di sedimentazione di tipo lagunare – deltizio caratterizzate da una successione di alternanze di depositi fini argilloso – limosi e più grossolani a tessitura sabbiosa.

Il ritrovamento di macrofossili marini in numerose perforazioni condotte nella provincia di Milano ha permesso agli Autori di ricostruire con discreto dettaglio l'andamento del tetto dell'Unità argillosa in





tutta l'area milanese, evidenziando una generale immersione dell'Unità verso Sud con inclinazione di 0.6-1.5 % ed un aumento di spessore procedendo da monte (circa 100 m nelle zone dell'alta pianura) verso valle (1000 m a Sud di Milano). (Avanzini M., Beretta G.P., Francani V., Nespoli M., Peterlongo G., 1995).

b) Unità sabbioso-argillosa (Pleistocene inferiore – Ploiocene superiore ,Unità C della classificazione regionale)

Questa Unità rappresenta una successione di sedimenti di origine continentale, i litotipi che caratterizzano tale Unità, spesso indicata in letteratura come “Argille Villafranchiane”, sono costituiti da argille e limi di colore grigio e talora giallo, con frequenti intercalazioni di livelli torbosi più o meno continui, e di orizzonti lenticolari a tessitura sabbiosa, più raramente, ghiaiosa; questi costituiscono i livelli acquiferi con falde confinate (“terzo acquifero” di Francani V. & Pozzi R., 1981).

Nordio E. (1957) Suddivide la successione dei depositi Villafranchiani in un complesso inferiore, a carattere prevalentemente lacustre – palustre, e uno superiore di ambiente fluvio – lacustre. In linea generale si riscontra un aumento verso l'alto delle componenti granulometriche più grossolane e una contemporanea diminuzione degli spessori degli orizzonti prettamente argillosi.

Sempre secondo Nordio E. E. (1965), la natura del passaggio tra questa Unità e quella inferiore testimonierebbe una graduale trasformazione delle condizioni di sedimentazione da marine a transizionali, fino a continentali.

Si tratta di un'Unità formata in prevalenza da limi e limi argillosi di colore grigio meno frequentemente giallo con alternanze nella colorazione e presenza di torbe, a cui si interpongono lenti più o meno estese di sabbie, ghiaie e conglomerati che formano acquiferi con falde solitamente confinate. Sono depositi di tipo lagunare e alluvionale originatisi a seguito della fase di regressione marina.

L'Unità nei suoi livelli superiori non contiene macrofossili mentre risultano abbondanti i resti vegetali e le torbe. Nella zona della media e bassa pianura è stata definita anche come litozona-sabbioso argillosa (Martinis B. e Mazzarella S., 1971). E' identificata come “terzo acquifero” nella classificazione di Pozzi R. e Francani V. del 1981.



Il tetto di questa Unità ha un'inclinazione media verso Sud dello 0.5-0.8 % ed è caratterizzato da leggere ondulazioni solitamente di origine erosiva che vanno accentuandosi man mano che ci si avvicina alle aree pedemontane (Avanzini M., et al., op.cit., 1995).

Per questa ragione i limiti con l'Unità sovrastante nei settori dell'alta pianura, verso i confini settentrionali della Provincia, non sono facilmente riconoscibili per la maggiore abbondanza di materiali grossolani, tanto da non potere in alcuni casi, permettere una distinzione nella circolazione idrica delle due unità.

Le interpretazioni delle prove di pompaggio di pozzi, che captano le falde contenute nei livelli acquiferi dell'Unità in esame, indicano valori di trasmissività variabili da un minimo di  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  circa fino a un massimo di  $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

c) Unità sabbioso - ghiaiosa (Pleistocene Medio), Unità B della classificazione ENI-Regione Lombardia

Si caratterizza per una successione di sedimenti sabbioso - ghiaiosi e sabbiosi, con frequenti intercalazioni lenticolari limoso - argillose.

Questi depositi, che costituiscono un sistema deposizionale fluviale (fluvioglaciale) tradizionalmente attribuito al Pleistocene Medio, nelle aree pedemontane e di alta pianura, affiorano in corrispondenza dei terrazzi morfologicamente più elevati, mentre più a Sud si immergono al di sotto dell'Unità ghiaioso - sabbiosa più recente, costituendo così la parte basale dell'acquifero tradizionale ("secondo acquifero" di Francani V. & Pozzi R., 1981, che fanno coincidere questa Unità con i fluvioglaciali Mindel e Riss).

Si segnala una progressiva diminuzione granulometrica procedendo da Nord a Sud, tanto che, nel settore meridionale della Provincia di Milano, si hanno caratteri litologici simili all'Unità sabbioso - argillosa di facies continentale .

All'altezza di Milano, il limite con quest'ultima Unità si colloca ad una profondità di circa 100 m.

La portata specifica si attesta su valori compresi tra 5 e 15 l/s m mentre la trasmissività è compresa tra  $5 \times 10^{-3}$  e  $8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , anche se si possono avere valori più elevati in corrispondenza di paleoalvei fluviali o notevolmente più bassi laddove prevalgono le granulometrie sabbiose.



Nel settore della media pianura, al tetto di questa Unità è presente un livello limoso - argilloso, con uno spessore medio di una decina di metri circa, la cui continuità laterale determina il carattere semiconfinato della falda contenuta nella Unità sabbioso - ghiaiosa.

Alla base dell'Unità sabbioso-ghiaiosa, non è infrequente trovare una serie di livelli a conglomerati e arenarie, che alcuni Autori tendono a distinguere come una vera e propria Unità idrogeologica, che si raccorda con gli affioramenti del Ceppo Lombardo.

Essa risulta costituita da depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi caratterizzati da vari gradi di cementazione; dove presente, il cemento è sempre di tipo calcareo.

Per la sua importanza idrogeologica, essa è stata distinta da Avanzini M. e altri (1995), nella classificazione già descritta.

Questa Unità è facilmente riconoscibile nel settore pedemontano e dell'alta pianura in corrispondenza dei primi 50 - 100 m di profondità, dove costituisce il primo acquifero.

Perde invece la sua connotazione stratigrafica nella zona di Milano dove una diminuzione del grado di cementazione impedisce di distinguerla dagli adiacenti depositi ghiaioso - sabbiosi sciolti.

I parametri idrogeologici e la potenzialità idrica di questi depositi possono variare notevolmente in funzione del grado di cementazione e di fratturazione; si registra un valore medio di portata specifica pari a 5 - 10 l/s•m mentre la trasmissività è compresa tra  $5 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

d) Unità ghiaioso-sabbiosa (Pleistocene superiore e Olocene, Unità A della classificazione Eni-Regione Lombardia)

La litozona ghiaioso - sabbiosa, identificata per la prima volta da Martinis B. B. & Mazzarella S. S. (1971), si sviluppa dal piano campagna fino a una profondità di circa 40 m, è costituita da ghiaie e sabbie, talora cementate, con rare intercalazioni argillose, che vanno aumentando come continuità e spessore nella parte meridionale della città.

Essa corrisponde al fluvioglaciale Wurm (Diluvium recente Auct.) e all'Unità A della classificazione regionale.



Gli Autori successivi (Cavallin A. et al, 1983; Provincia di Milano, 1995), hanno identificato questa litozona con una successione caratterizzata dalla netta prevalenza di litotipi grossolani e dal limitato spessore e continuità laterale degli orizzonti a tessitura più fine.

L'ambiente deposizionale di questi sedimenti è del tutto analogo a quello dell'Unità ghiaioso - sabbiosa anche se cronologicamente correlabili con le ultime fasi dell'espansione glaciale quaternaria e con episodi alluvionali recenti e attuali.

Lo spessore saturo dei depositi dell'Unità ghiaioso - sabbiosa ("primo acquifero") è rilevante nella media e bassa pianura dove è contenuta la falda libera.

L'insieme degli acquiferi contenuti in questa Unità e in quella precedentemente descritta costituisce un successione di livelli permeabili che viene indicata come acquifero tradizionale.

Questa denominazione, rappresenta una semplificazione a volte eccessiva, in quanto a rigore sarebbe più corretto indicare questo sistema come multifalda; tuttavia agli effetti pratici, data la complessità geometrica dei vari livelli acquiferi, risulta conveniente trattare l'insieme come un unico monostrato acquifero.

Nell'area della media pianura i valori di trasmissività sono di circa  $2 \times 10^{-2} - 4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ; questi si mantengono relativamente elevati anche procedendo verso i settori più meridionali della Provincia di Milano, nonostante una progressiva diminuzione della granulometria, dove si riscontra una trasmissività di  $8 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .



### 3.3. *Caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi*

Ai fini della gestione delle acque sotterranee, appare della massima importanza la conservazione dello stato di equilibrio del bilancio idrico, in modo che possano essere evitati interventi gestionali capaci di alterarne la funzionalità.

Si nota infatti che la stessa delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi può comportare scelte nella collocazione delle opere di estrazione che possono pesantemente influire sul bilancio idrico locale.

Alla base di una corretta gestione del bilancio, è l'identificazione di un modello concettuale della circolazione idrica sotterranea basato sui dati idrogeologici conosciuti, che restituisca con chiarezza la struttura idrogeologica.

Una descrizione di tale modello concettuale è stata sintetizzata in numerosi studi regionali, a partire da quello di Pozzi R. e Francani V. del 1981, e in quello di Avanzini M. e al.(1995) precedentemente descritti, e in altri lavori eseguiti dalla Provincia di Milano in collaborazione con il Politecnico, che hanno illustrato le modalità di circolazione e di alimentazione delle falde..

Alcune sezioni geologiche proposte illustrano la struttura dell'area studiata, permettendo di verificare le modalità di alimentazione e flusso delle acque sotterranee.

#### *a) Alimentazione*

Le acque si infiltrano nelle permeabili alluvioni del Pleistocene superiore e Olocene dell'alta pianura fra Adda e Ticino, in una "zona di ricarica degli acquiferi" che è oggetto di particolare attenzione da parte della Regione, in quanto la sua tutela garantisce la qualità delle acque sotterranee del Milanese. Questa "zona di ricarica" si estende dalle propaggini delle colline moreniche varesine fino a comprendere tutta l'alta pianura fino a Legnano e Busto Arsizio. Ne sono esclusi i terrazzi fluvioglaciali mindeliani e rissani Auct, ricoperti da una coltre argilloso-limosa molto spessa che impedisce la ricarica degli acquiferi. Nella zona di ricarica degli acquiferi, il primo livello argilloso di separazione fra il primo acquifero e quelli più profondi, si trova generalmente a profondità compresa fra i 25 e i 40 m. Le acque di infiltrazione, provenienti anche dal Canale Villoresi e dalle acque di scorrimento superficiale provenienti dai terrazzi fluvioglaciali pleistocenici dianzi menzionati, possono quindi pervadere il primo acquifero e da questo trasferirsi a quelli inferiori.



### *b) Zona di deflusso*

Le acque di infiltrazione si distribuiscono negli acquiferi del Milanese seguendo i corpi idrici di maggiore trasmissività, fra i quali soprattutto i paleovalvei dei fiumi Olona, Lambro e Seveso, che penetrano profondamente all'interno della città costruendo le vie preferenziali di alimentazione; rimangono quindi meno favorite dall'alimentazione le zone in cui i terrazzi fluvioglaciali di Garbagnate e Monza, costituiti dall'Unità B della classificazione regionale, sono più vicini alla superficie ( direttrici V.le Espinasse – P.za Napoli e Riguarda-Porta Com'asina ),dove la resa dei pozzi è in effetti complessivamente minore

Le sezioni idrogeologiche mostrano come si venga a delineare, in senso East-Ovest, una dorsale dell'Unità C, che dal F.Lambro si spinge fino al F.Adda all'altezza di Monza.. Questa dorsale è determinata da un sollevamento dei depositi del Pleistocene medio ed inferiore che, anche senza raggiungere il centinaio di metri, risulta peraltro sensibilmente apprezzabile; ad esempio, si osserva che il tetto dell'Unità sabbioso-argillosa, arriva fino a poche decine di metri dalla superficie già a Nord del territorio comunale. Questa struttura, rallentando il flusso idrico verso valle con terreni di minore trasmissività, determina un certo impoverimento delle portate di falda fra Monza e il F.Adda e riduce gli afflussi verso Milano.

Gli effetti di tale dorsale sulle caratteristiche idrogeologiche dell'area si manifestano in una cospicua riduzione di spessore e di estensione dei depositi più permeabili e trasmissivi, che nella parte centroccidentale della provincia ospitano le maggiori disponibilità idriche.

Questi terreni sono infatti sostituiti lateralmente, verso oriente, da depositi di minore trasmissività, di età più antica (Pleistocene medio).

La separazione tra l'acquifero freatico e quello semiconfinato comincia a delinearsi al di sotto della città di Milano, dove livelli limoso-argillosi fra i 60 e 80 m di profondità rendono più accentuata la separazione fra Unità B e A. Dalle sezioni condotte da N a S, si osserva come tale distinzione si accentui procedendo verso Sud, quindi verso la parte meridionale del comune di Milano e della Provincia, per l'aumento di spessore e di continuità dei livelli poco permeabili.

Agli effetti della qualità delle acque, questo stato di fatto determina drastiche variazioni del chimismo della falda, o comunque differenze di concentrazione paragonabili a quelle che si hanno al passaggio fra l'acquifero B e l'acquifero C della classificazione della Regione



Non è stata quindi introdotta una cartografia dello stato di contaminazione del solo acquifero freatico, anche per la mancanza di un sufficiente numero di pozzi pubblici attestati in questi livelli.

L'esame delle sezioni geologiche eseguite in occasione dei precedenti studi consente di ricostruire l'assetto idrogeologico dell'area metropolitana.

In sintesi si osserva:

- a) una netta distinzione in più settori a carattere idrogeologico marcatamente differente: il settore della pianura wurmiana, immediatamente a Nord del comune di Milano, fra Parabiago e Garbagnate; il settore del terrazzo di Garbagnate; quello dei depositi alluvionali del fiume Lambro e del torrente Seveso; il terrazzo di Vimercate-Roncello, risultante dalla presenza della dorsale settentrionale ricordata in precedenza;
- b) la buona continuità laterale dell'acquifero freatico, che peraltro risulta contenuto in terreni a permeabilità e trasmissività differente;
- c) la rilevante eterogeneità dell'acquifero semiconfinato;
- d) l'intercomunicazione verticale fra i due acquiferi, che non sono mai nettamente separati da un aquiclude.

#### *Distribuzione dei valori di trasmissività*

Per il calcolo dei valori di trasmissività sono stati utilizzati i dati riportati nelle stratigrafie dei pozzi.

Il valore del gradiente idraulico è basato sul valore medio rilevato, nell'area circostante ogni singolo pozzo, attraverso le campagne piezometriche condotte tra il 1996 e il 1998 dove il diametro del pozzo utilizzato corrisponde al valore medio dei tratti con presenza di filtri.

Nella scelta dei pozzi da utilizzarsi per queste operazioni si è fatta attenzione a selezionare esclusivamente quelli non multifalda: attraverso le sezioni stratigrafiche veniva controllato che i filtri del pozzo considerato cadessero all'interno di un solo acquifero; in questo modo è stato possibile ottenere valori di trasmissività dei singoli corpi idrici principali.

Per il calcolo dei valori di trasmissività si è fatto ricorso anche ad alcuni valori desunti da prove di pompaggio condotte da privati e da Autori precedenti.

Per una prima indicazione, si riportano i valori medi per acquifero, suddivisi in tre zone (settentrionale, centrale e meridionale); in questa suddivisione, la zona centrale corrisponde alla



fascia dei fontanili. Si avrà modo successivamente di rilevare che in realtà i valori della trasmissività, nei diversi punti dell'area di indagine, variano in modo più marcato.

### Gli acquiferi A e B

Nell'area d'indagine è presente un numero elevato di pozzi pubblici a servizio dell'acquedotto con profondità superiore ai 70 m, che prelevano acque sia da A sia da B, è stato possibile calcolare numerosi valori di trasmissività, ottenendo una carta d'interpolazione che soddisfacesse le necessità di una modellazione matematica del flusso idrico sotterraneo.

I valori variano nell'area Milanese in un intorno di  $2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

I valori di trasmissività decrescono in senso N-S, e questo trend è tutt'altro che regolare e a piccola scala sono individuabili diverse eccezioni che nei casi isolati possono essere imputate a particolari condizioni di efficienza del pozzo o a errori nelle prova di collaudo.

### L'acquifero C

Il numero di dati che è stato possibile raccogliere per l'acquifero C è notevolmente ridotto rispetto a quelli riguardanti l'acquifero TR: raramente i pozzi a disposizione presentavano filtri esclusivamente in questo corpo idrico. Sono stati così ottenuti 29 dati che a seconda dei casi riguardano esclusivamente i corpi idrici C1/C2, C3/C4 o l'acquifero C nel suo complesso.

In quest'ultimo caso dal valore di trasmissività è stata ricavata la permeabilità in funzione dello spessore complessivo dell'acquifero C, e da questa poi il presunto valore di trasmissività

Si può notare come generalmente la trasmissività dei livelli permeabili in questo corpo idrico sia fortemente influenzata dalla qualità del dato a disposizione. Nella parte più superficiale dell'acquifero C la trasmissività media è pari a  $1,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  contro la media di  $8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  riscontrati nella parte basale.

Si tratta di una differenza imputabile allo spessore delle sabbie che costituiscono i livelli permeabili rispetto a quelli sottostanti (Avanzini M., op.ct., 1995).





### 3.4. *Conclusioni sulla struttura idrogeologica.*

Tra le diverse osservazioni che si possono fare esaminando le sezioni geologiche si nota come le aree favorevoli allo sfruttamento delle riserve idriche siano di rilevante estensione (almeno due terzi della città).

I prelievi sono ormai di una tale entità che non esistono ulteriori risorse sfruttabili: quelle esistenti si concentrano negli orizzonti più permeabili del settore centro-orientale (limitati nell'area Parco Sempione-Duomo, da un potente banco sabbioso che sostituisce le ghiaie del primo acquifero) e settentrionale.

In questi due settori, infatti, gli acquiferi hanno la migliore resa con il minimo abbassamento, inducendo in passato alla costruzione di impianti a grande diametro (pozzi radiali) lungo la fascia orientale della città.

Nel settore occidentale, nel primo acquifero si interpongono frequenti lenti di argilla di scarsa continuità ma di elevato spessore complessivo (fino a 30 m nell'impianto di piazza Accursio, che raggiunge solo 100 m di profondità), riducendo molto la resa dei pozzi. In conclusione, possiamo restringere l'area più valida per ulteriori prospezioni alla periferia Nord della città e alla periferia orientale, fra circonvallazione esterna e tangenziale Est (inquinamenti a parte).

Appare evidente che gli acquiferi di Milano sfruttabili ai fini acquedottistici (in sintesi: la parte inferiore dell'acquifero A e l'acquifero B, parte dell'acquifero C) hanno esaurito le loro possibilità di sfruttamento per molti fattori (eccesso di prelievi, inquinamenti): è necessario predisporre studi atti ad individuare la zona destinata ai prelievi.

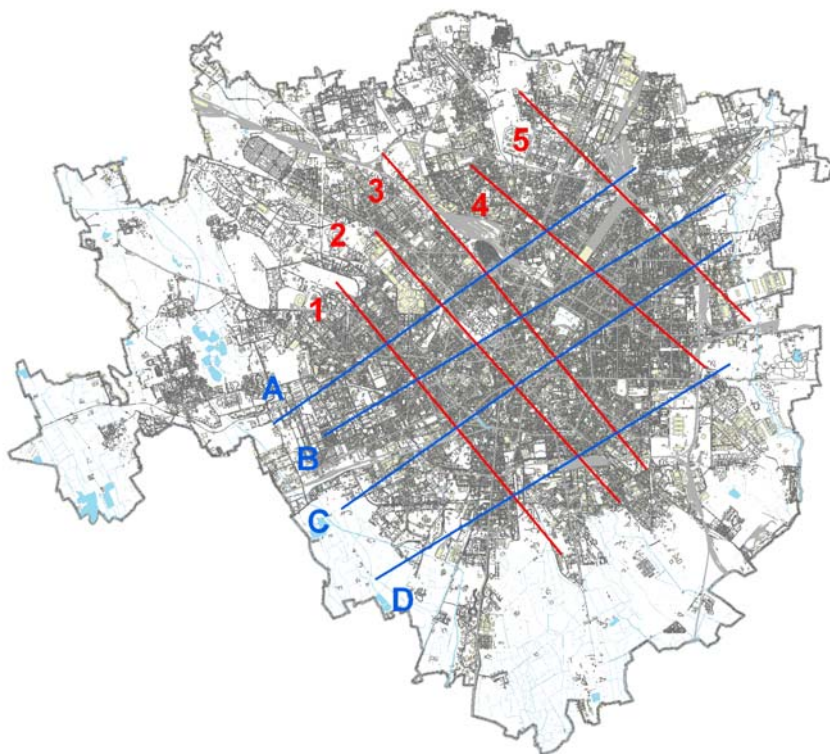
Sia sufficiente questa constatazione: il solo Acquedotto civico estrae, da una superficie di soli 100 km<sup>2</sup>, e da acquiferi di soli 50 metri di spessore in media, come evidenziato dalle sezioni, con una porosità efficace del 15 % circa, oltre 300 milioni di m<sup>3</sup>/s, pari a 11 m<sup>3</sup>/s.

Tale cifra aumenta di almeno un terzo considerando industrie e privati, arrivando a poco meno di 15 m<sup>3</sup>/s nel solo comune di Milano.

Dal momento che l'ampiezza delle aree di salvaguardia può essere regolata riducendo o aumentando i prelievi, o spostando i punti di prelievo, appare opportuno tener conto del fatto che l'acquifero milanese solo in alcuni settori può sopportare variazioni nei prelievi senza produrre problemi.

La gestione delle portate rappresenta quindi un problema di non indifferente difficoltà, la cui soluzione può essere trovata solamente agendo previa approfondite considerazioni confortate dai calcoli.

Vengono qui di seguito evidenziate le tracce di alcune sezioni idrogeologiche pubblicate dalla Provincia di Milano che interessano il territorio del Comune di Milano (Fig 3.1).



*Figura 3.1: Ubicazione delle sezioni rappresentative dell'acquifero milanese.*

Le sezioni rappresentative degli acquiferi sopra descritti sono riportate di seguito (Fig 3.2 : 3.6).

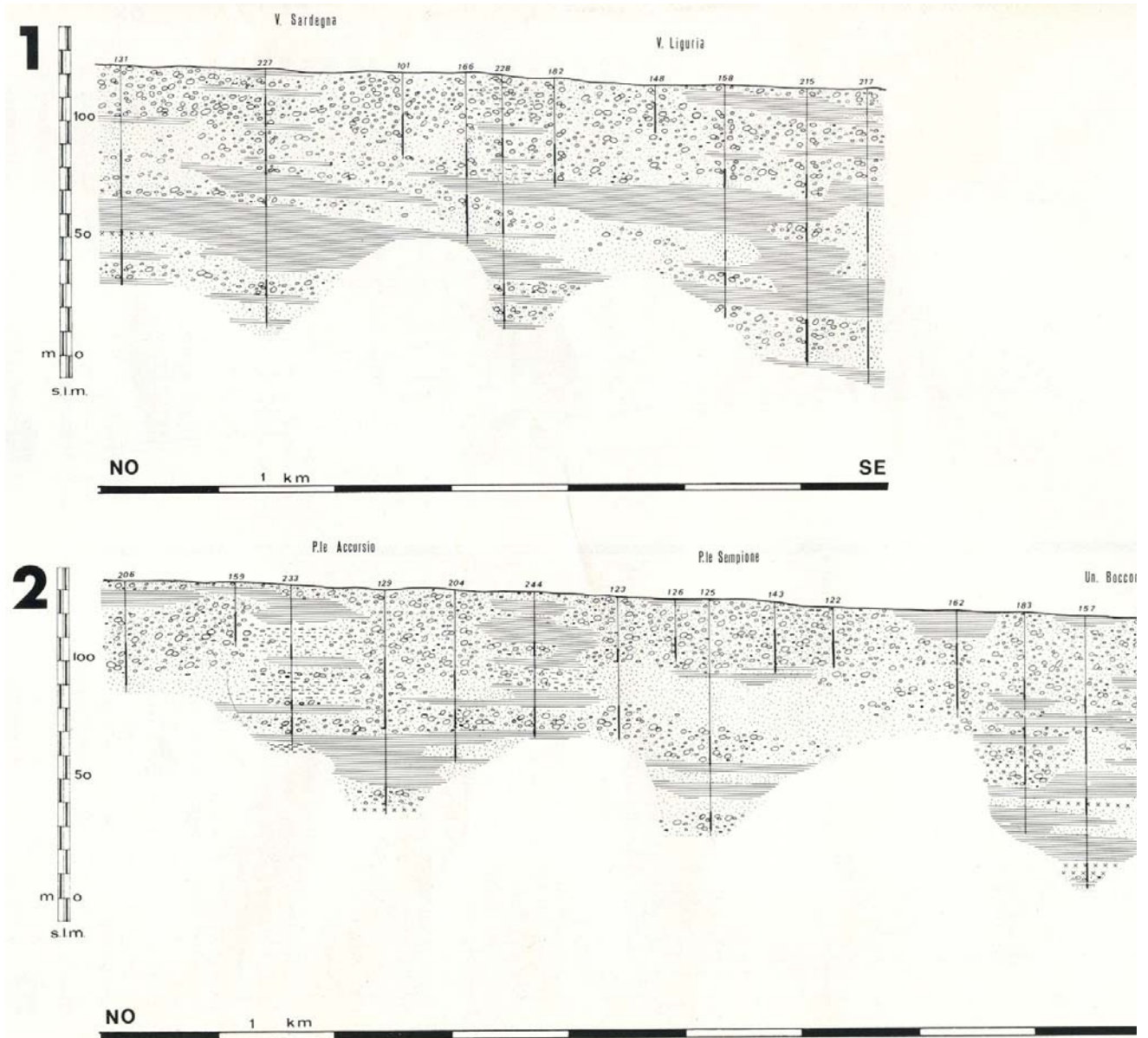


Figura 3.2: Sezioni rappresentative dell'acquifero milanese aventi direzione NO-SE

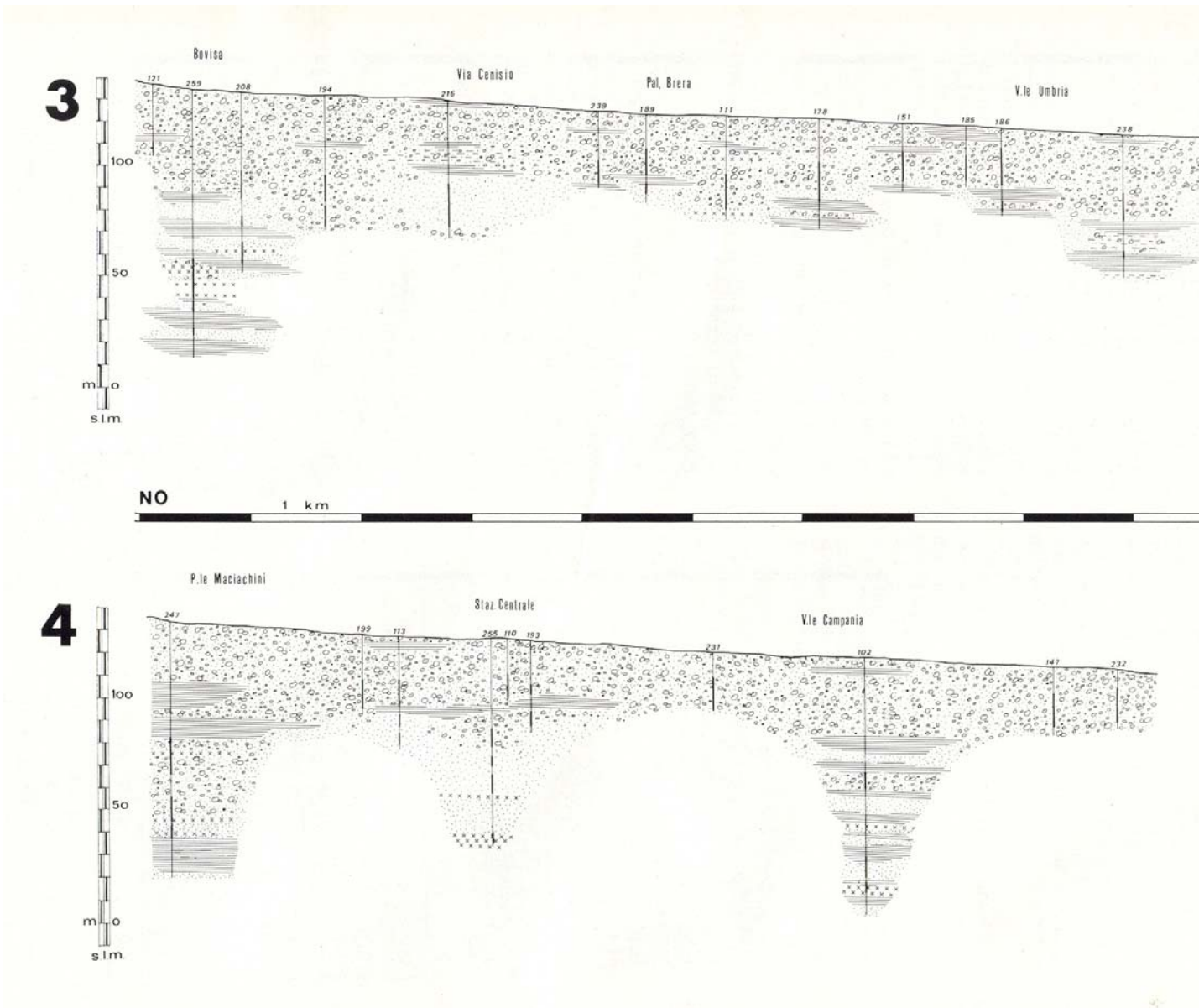


Figura 3.3: Sezioni rappresentative dell'acquifero milanese aventi direzione NO-SE

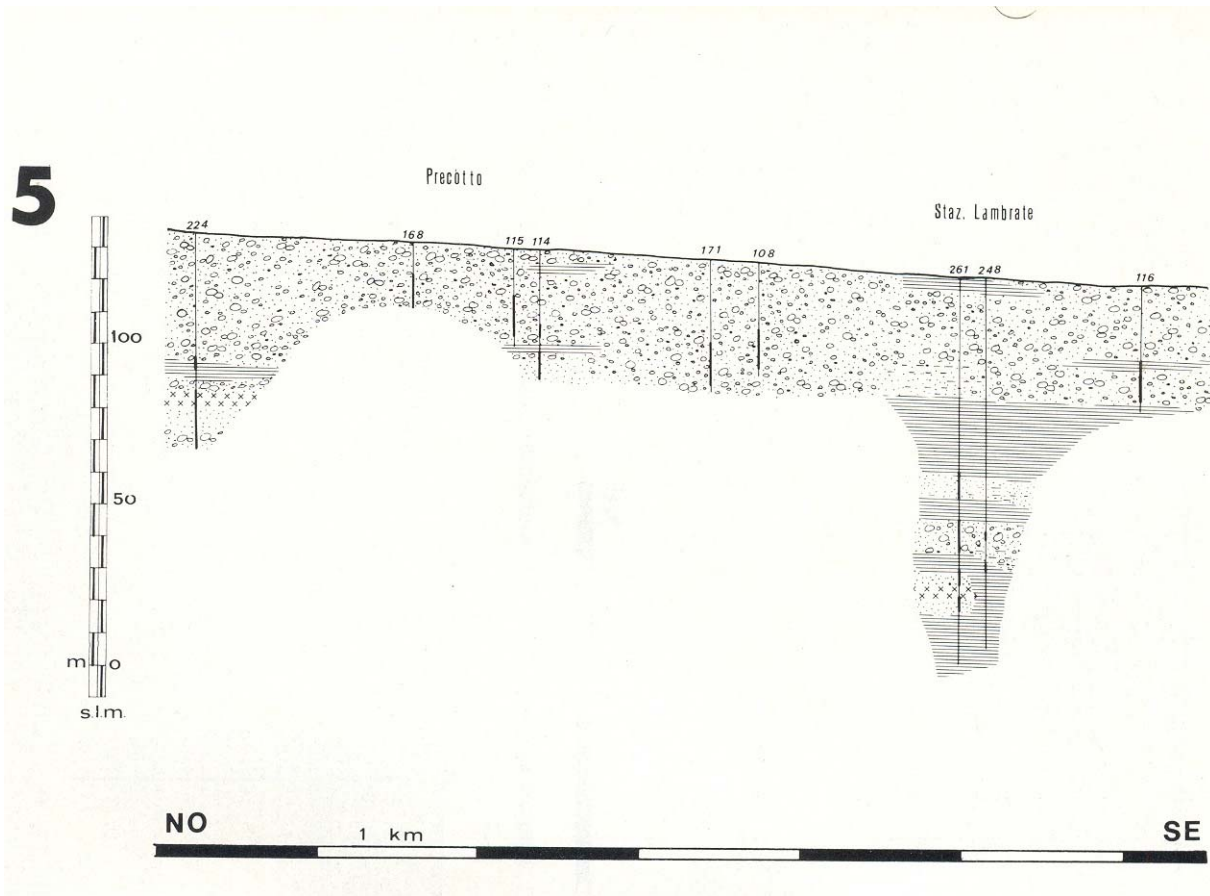


Figura 3.4: Sezioni rappresentative dell'acquifero milanese aventi direzione NO-SE

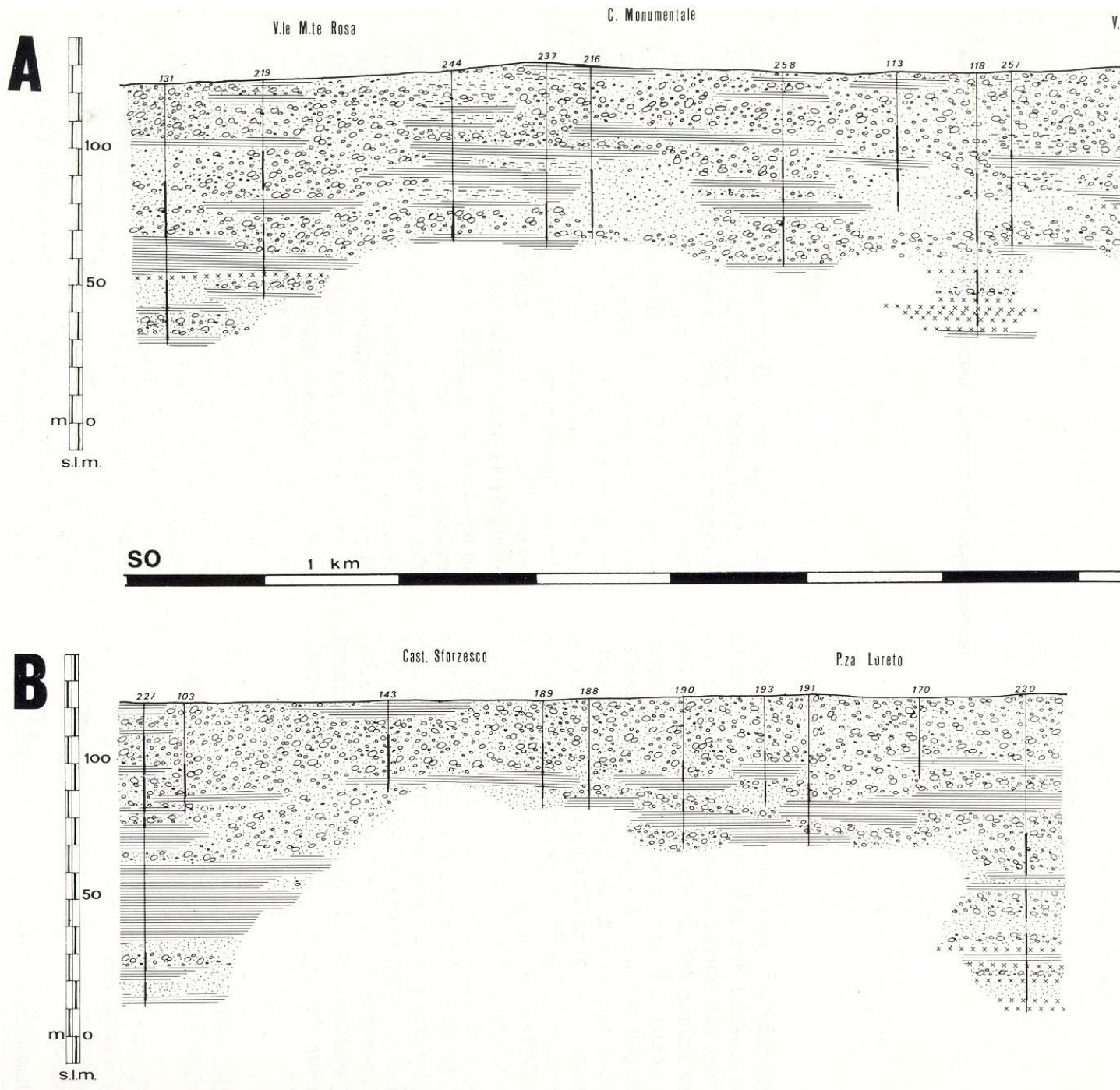


Figura 3.5: Sezioni rappresentative dell'acquifero milanese aventi direzione SO-NE

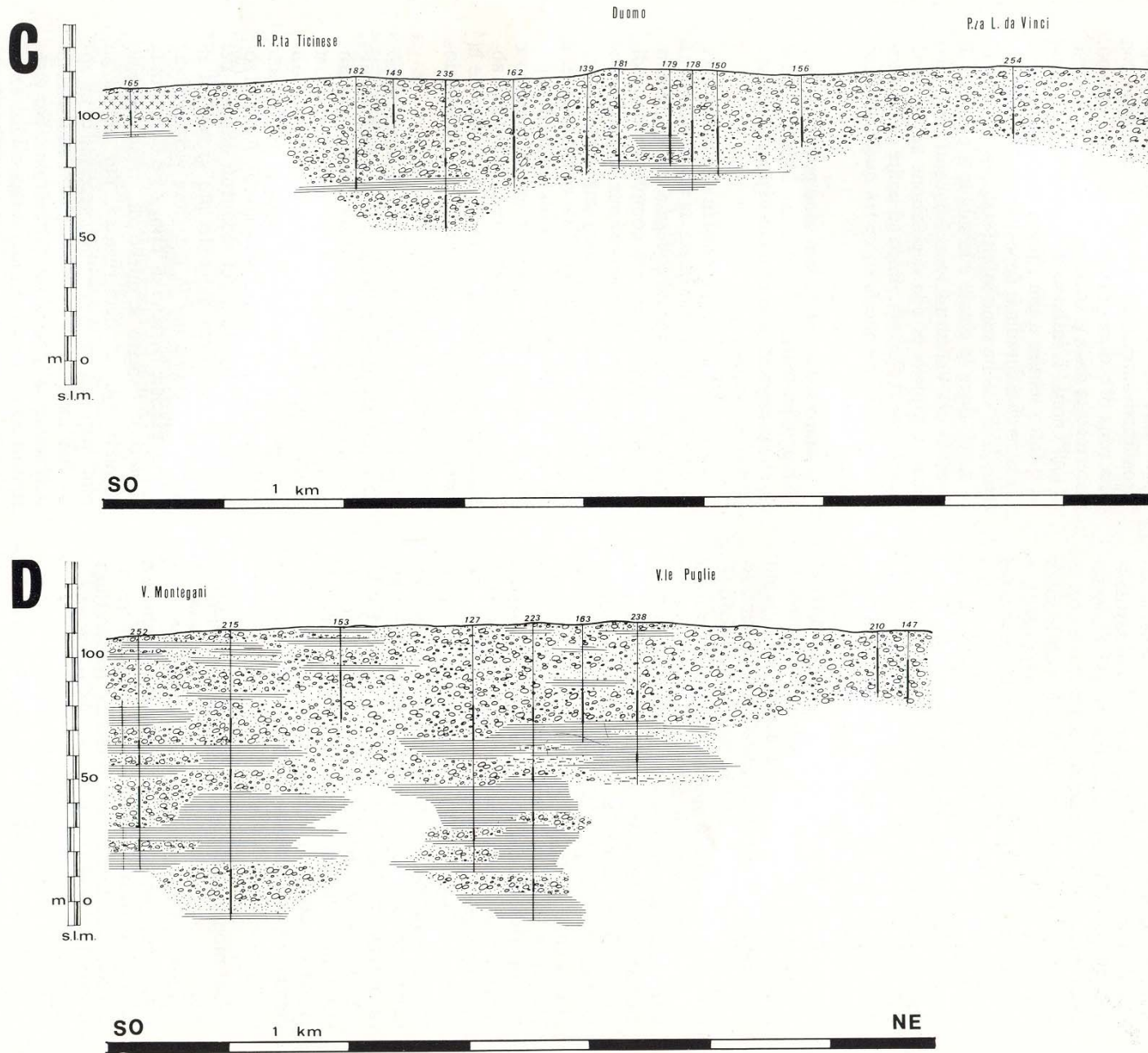


Figura 3.6: Sezioni rappresentative dell'acquifero milanese aventi direzione SO-NE



#### 4. COMPONENTE SISMICA

Il Dipartimento della Protezione Civile ha approvato lo schema di Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri recante i “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e la formazione e l’aggiornamento degli elenchi e delle medesime zone”.

Il testo è stato approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici il 10 marzo 2005; poi in sede di Commissione della Protezione Civile della Conferenza dei Presidenti delle Regioni del 30 marzo 2006 e successivamente dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome riunitasi il 20 aprile 2006.

Le procedure di seguito definite considerano già le avvenute modifiche in materia proposte dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (DM 14 gennaio 2008).

##### 4.1. *Inquadramento sismico*

I “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e la formazione e l’aggiornamento degli elenchi e delle medesime zone” classificano il territorio comunale di Milano in zona sismica 4 secondo quanto espresso dall’accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni compresa tra 0,025 g e 0,050g (Zona a bassa sismicità) e riportato nella DGR 8/7374 del 28/05/2008.

La sismicità del territorio è legata alla sola presenza di attività neotettonica, intendendo con questo termine i movimenti tettogenetici relativi al periodo compreso tra il Pliocene e l’attuale (cioè negli ultimi 5,2 milioni di anni).

I movimenti neotettonici sono di tipo sia lineare, ovvero che si sviluppano lungo superfici di discontinuità preesistenti (faglie o superfici di sovrascorrimento) sia di tipo areale ovvero che determinano sollevamenti e/o abbassamenti differenziali.

Nella Carta neotettonica dell’Italia (Ambrosetti et al., 1987) il territorio del comune di Milano appartiene interamente ad un’area interessata da movimenti alterni di sollevamento e abbassamento, con tendenza al sollevamento durante il Pliocene ed il Quaternario.

Il rischio sismico del territorio può essere identificato con i danni attesi prodotti da un terremoto e deriva dall’interazione tra la pericolosità sismica e la vulnerabilità sismica del sito stesso.





La pericolosità sismica, intesa come la misura dello scuotimento al suolo atteso in un dato sito, è legata invece alle caratteristiche sismotettoniche, alle modalità di rilascio dell'energia alla sorgente, al percorso di propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito e alla loro interazione con la geologia e la geomorfologia locale.

La vulnerabilità sismica, intesa come la propensione di un edificio a subire un danneggiamento a seguito di un evento sismico, è legata alle caratteristiche costruttive dell'edificio stesso; la convoluzione di questi due fattori porta alla valutazione del rischio sismico.

La pericolosità sismica è dunque lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese su base probabilistica mentre la valutazione della pericolosità è propedeutica a qualsiasi azione di valutazione e mitigazione del rischio sismico.

Le carte di pericolosità si basano quindi su parametri di scuotimento maggiormente significativi a fini ingegneristici (intensità macrosismiche Fig. 4.1 e valori di picco dell'accelerazione Fig. 4.2).

I parametri si riferiscono alle azioni attese con una probabilità non superiore al 10% in 50 anni, valore standard assunto dalla normativa italiana e da molte normative internazionali per definire il livello di scuotimento da utilizzare ai fini della progettazione degli edifici per civile abitazione.

I massimi valori storicamente registrati nell'area milanese sono in ogni caso coerenti con quanto indicato dai più recenti studi sulla pericolosità sismica del territorio nazionale, nei quali vengono definiti i seguenti valori degli indicatori di pericolosità con probabilità di non superamento pari al 90% dei casi in 50 anni (G.N.D.T. e S.S.N. 1999):

- accelerazione orizzontale di picco	amax.	0,025 - 0,050g
- intensità macrosismica	IM.C.S.	VI

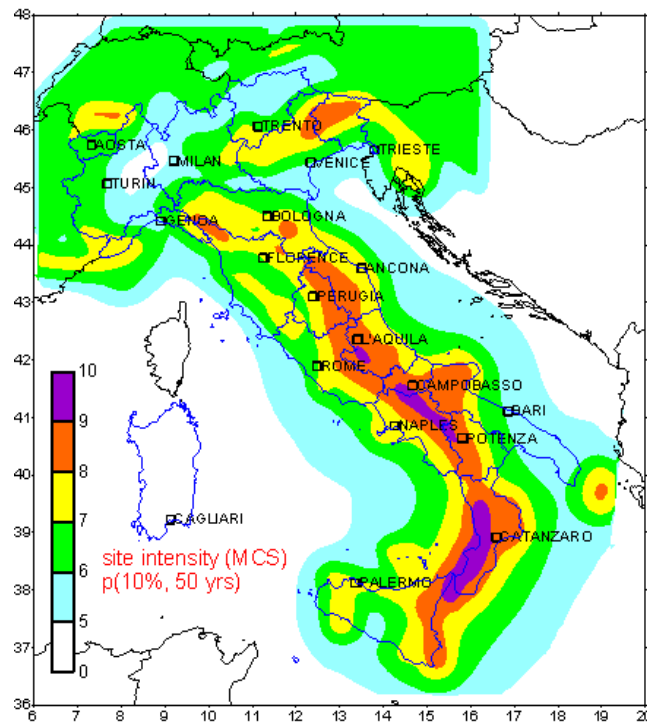


Figura. 4.1 - Intensità macrosimiche attese secondo la scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg). Secondo la scala MCS l'inizio del danno agli edifici si ha a partire dal 6° grado.

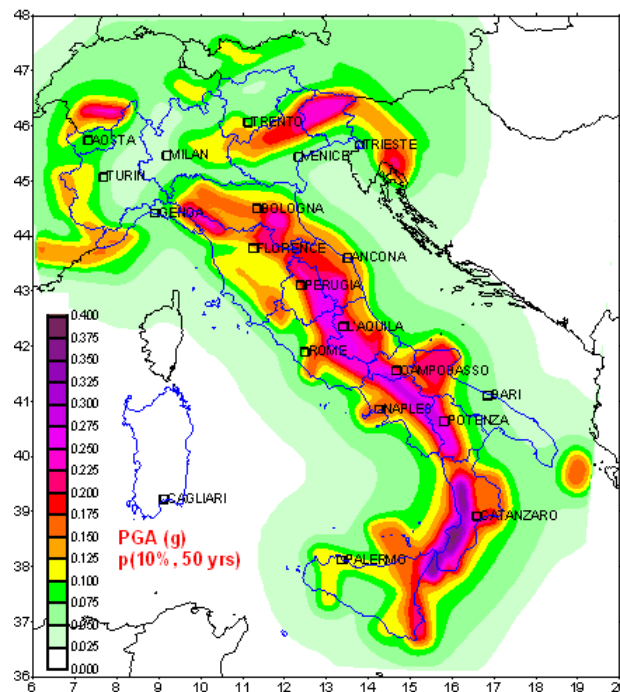


Figura 4.2: Picco di accelerazione, PGA (valori in g, accelerazione di gravità).

La carta mostra i valori del picco di accelerazione atteso al suolo su sito rigido di riferimento (per definizione  $V_s > 800$  m/sec); gli intervalli (di 0.025g, pari a circa  $24.5 \text{ cm/s}^2$ ) sono quelli previsti dall'ordinanza 3274 della PCM ai fini della classificazione sismica del territorio Italiano.

La nuova normativa sismica suddivide il territorio nazionale in 4 zone sismiche in base al valore del parametro **ag** definita come accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi), ed espresso come frazione dell'accelerazione di gravità **g**.

Il territorio comunale di Milano come già affermato, ricade in Zona Sismica 4, a cui è stato attribuito un valore di **ag** pari a 0.15g.

Questa suddivisione nazionale costituisce la prima macrozonazione sismica del territorio, che non tiene conto degli effetti locali legati alle caratteristiche geologico-strutturali, litologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del territorio comunale (Fig. 4.3).

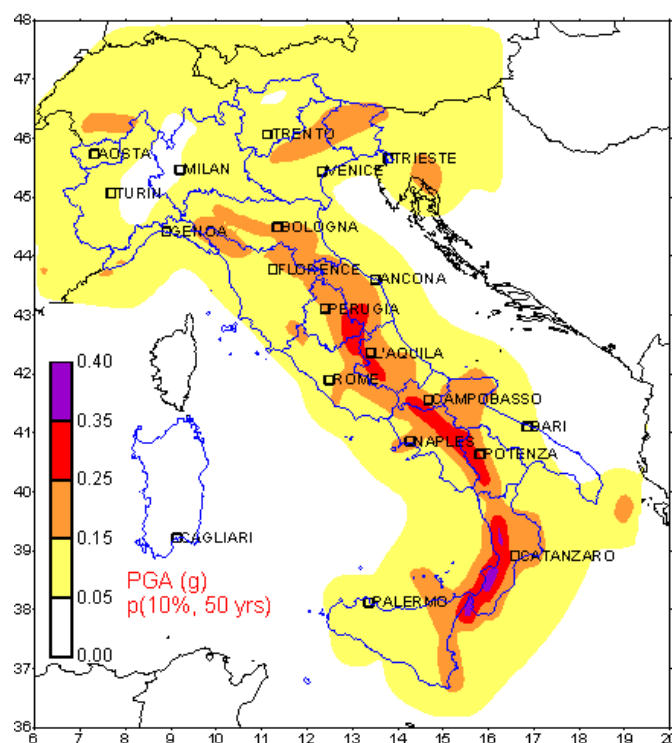


Figura 4.3 - PGA - Classificazione. La carta mostra i valori di PGA raggruppati secondo i limiti previsti dall'ordinanza 3274 della PCM per l'inserimento dei comuni in una delle quattro zone sismiche. Vale al riguardo la seguente corrispondenza: zona 4:  $0.05 < \text{PGA} < 0.15\text{g}$



#### **4.2.            *Coefficienti sismici***

In accordo alla classificazione previgente l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, applicabile, ex art. 2 comma 2, fino a maggio 2005, il comune di Milano appartiene ai sensi delle norme tecniche e della classificazione citata alla Zona 4.

Considerato il valore dell'accelerazione orizzontale di picco con probabilità di superamento del 10% in 50 anni attualmente disponibile, ne discende che l'accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico è pari a 0,035 g.

#### **4.3.            *Comportamento sismico locale***

Le previgenti norme nazionali per costruzioni in zone sismiche non hanno mai formalmente accolto i criteri della microzonazione del territorio in prospettiva sismica, pur riconoscendo il principio secondo cui è possibile "...eseguire analisi più approfondite, fondate su un'opportuna e motivata scelta di un «terremoto di progetto»...".

Sulla base del quadro geologico generale dell'area e delle formazioni presenti entro i 30 m da piano campagna, si ritiene il territorio dell'area milanese coerente con il profilo di classe.

Il territorio di Milano viene definito a "bassa sismicità" e pertanto escluso dall'applicazione delle procedure di controllo previste dalla L.R. 46/85 e Regolamento attuativo, fermo restando l'obbligo dell'applicazione, in fase di progettazione, delle norme tecniche allegate alla DGR 8/7374 del 28/05/2008, secondo le modalità indicate e previste dal DM 14 gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni".

Nella zona 4 le norme tecniche di cui alla DGR si applichino esclusivamente per gli edifici strategici e per le opere infrastrutturali, di nuova realizzazione, la cui funzionalità durante gli eventi sismici potrà assumere rilievo fondamentale ai fini di protezione civile e per gli edifici e le opere infrastrutturali che possano assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

Attualmente non sono disponibili previsioni di localizzazione di edifici pubblici e di opere infrastrutturali strategiche.

E' stata eseguita un'indagine geofisica mediante una serie di 8 prove MASW sul territorio del Comune di Milano per il calcolo del valore Vs30.



Lo scopo dell'indagine è stato quello di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali  $V_s$  da cui ricavare il parametro  $V_{s30}$  necessario per la perimetrazione della pericolosità sismica locale (PSL) così come richiesto dalla DGR 8/7374.

Le prove sono state definite tutte con stendimenti geofonici pari a 46 metri, 24 geofoni e punti di energizzazione posti rispettivamente a 2 metri dal geofono 1 (indagine diretta) e dal geofono 24 (indagine inversa).

#### **4.4.            *Analisi multicanale delle onde superficiali***

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga: questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.



L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente.

Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.



La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili ( $x$ ;  $y$ ), il cui legame costituisce la curva di dispersione; è anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma: in questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda.

Le onde di superficie sono state facilmente generate da una sorgente sismica quale un fucile sismico. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW è stata la medesima di in una convenzionale indagine a riflessione (CMP).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale.

Grazie a queste proprietà, la metodologia che utilizza le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità: la velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La strumentazione utilizzata è costituita da :

- un sismografo EEG BR24 24 canali
- 24 geofoni a 4.5Hz
- fucile sismico

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- 1- acquisizione dei dati di campo;
- 2- estrazione della curva di dispersione;
- 3- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$

In allegato sono riportati i risultati delle 8 prove MASW eseguite.



Nel riquadro in alto a sinistra è riportata l'immagine di dispersione dell'energia sismica; al di sotto è riportata l'estrazione della curva di dispersione eseguita sull'immagine precedente.

Ancora sotto sono riportati i grafici relativi al modello del terreno, sia sotto forma di stratificazione  $V_s$  (spezzata di colore blu) che di Modulo di Taglio (spezzata verde).

Per il calcolo del modulo di taglio è stata usata una formula approssimata per la valutazione della densità, non nota.

La formula utilizzata è stata la seguente:

$$\text{Densità} = 1,5 + V_s/1000$$

Poiché il valore del modulo di taglio  $G$  in MegaPascal si ottiene dalla formula

$$G = V_s \times V_s \times \text{Densità} / 10^3$$

è facile ricalcolare il modulo  $G$  esatto quando si disponesse di valori più precisi di densità.

Con una curva di colore rosso è stato tracciato il valore di  $V_s$  progressiva.

Dalla curva si può quindi ricavare il valore di  $V_{s10}$ ,  $V_{s20}$  e così via, e quindi anche il valore di  $V_{s30}$ , quest'ultimo ovviamente alla profondità 30.

A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro  $V_{s30}$  calcolato utilizzando la stratigrafia  $V_s$  e la formula

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato  $i$  - esimo, per un total e di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.





Il sito è stato classificato sulla base del valore di VS30 come riportato nella seguente tabella (Tab. 4.1):

Grado	Classe	Velocità sismica (m/s)
Molto buono	A	$VS30 > 800$
<b>Buono</b>	<b>B</b>	<b><math>360 &lt; VS30 &lt; 800</math></b>
Discreto	C	$180 < VS30 < 360$
Sufficiente	D	$VS30 < 180$
Insufficiente	E	Strati sup. all. (5 - 20 m) tipo C e D soprastanti substrato tipo A
Scadente	S1	$VS30 < 100$
Pessimo	S2	$VS30 < 50$

Tab. 4.1: Classificazione del tipo di suolo in funzione della risposta sismica.

La stratigrafia Vs riportata nelle tavole allegate è quella utilizzata per il calcolo del Vs30 ed è sismicamente equivalente e ragionevolmente prossima alla stratigrafia reale ma probabilmente non esattamente coincidente.

I terreni investigati appartengono tutti alla classe B con velocità comprese tra i 360 m/s e gli 800 m/s.

## 5. Idrografia

L'idrografia dell'area milanese è piuttosto complessa anche a causa dei numerosi interventi effettuati nel corso dei secoli: questi interventi idraulici sulle acque traggono origine dalla risoluzione della questione dello scarico dei reflui prima ancora di quello della regolazione dei diversi corsi d'acqua, naturali ed artificiali, che attraversano la città (Fig. 5.1).

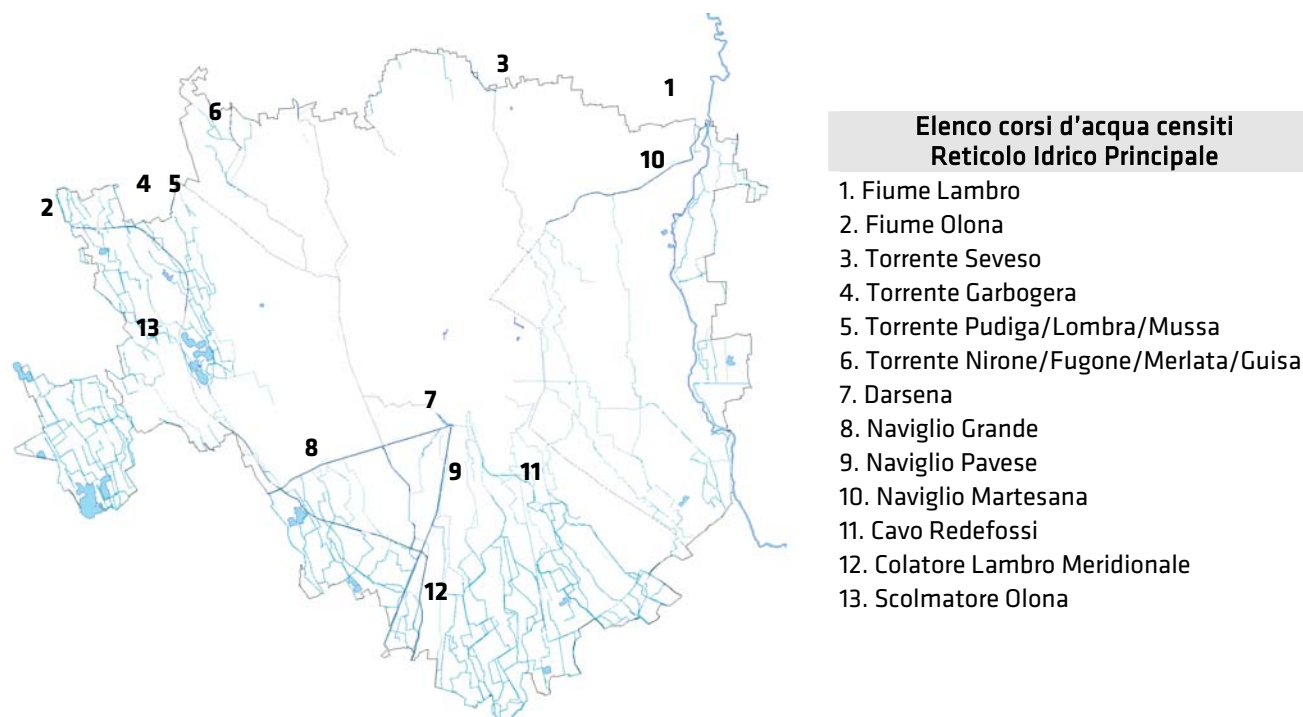


Figura 5.1: Elenco corsi d'acqua afferenti al reticolo idrico principale presenti sul territorio del Comune di Milano.

Il dato di fatto fondamentale che si può osservare nell'area milanese è l'andamento dei corsi d'acqua, all'incirca paralleli fra di loro, e con direzione di scorrimento da Nord-Ovest verso Sud-Est, corrispondentemente alla direzione di pendenza del piano padano.

A Nord-Ovest entrano in città vari corsi d'acqua, il principale dei quali è il torrente Seveso, proveniente dai rilievi morenici del comasco; segue la via Ornato e con un percorso sotterraneo confluisce nella Martesana in via Melchiorre Gioia.

Nel Medioevo le acque dei torrenti Seveso e Nirone alimentavano il fossato difensivo, a ridosso della cerchia muraria.

Il naviglio Martesana, costruito fra il 1457 ed il 1465, deriva le sue acque dall'Adda nei pressi di Trezzo ed entra in città da via Padova.



Un tempo esso alimentava la fossa interna dei navigli passando dalla conca dell'Incoronata e dal laghetto di San Marco; dopo la confluenza col torrente Seveso, che avviene all'altezza di via Carissimi, dà origine, al Ponte delle Gabelle, vicino a Porta Nuova, al Cavo Redefossi.

Quest'ultimo scorre (tombinato) sotto i viali della cerchia orientale dei Bastioni, fino a Porta Romana, dove devia lungo il Corso Lodi e le vie Cassinis e Rogoredo, sbucando poi in un condotto che fiancheggia la via Emilia, fino alla confluenza nel Lambro.

Il tratto del Cavo Redefossi che va da piazza Medaglie d'Oro al Lambro venne scavato tra il 1783 ed il 1786 per rimediare alle frequenti esondazioni che interessavano le zone di Porta Vittoria, Porta Romana e Porta Ludovica.

Il fiume Olona, che nasce nelle prealpi varesine, raggiunge Milano nei pressi dell'attuale Quartiere Gallaratese; percorrendo in sotterraneo i viali della circonvallazione occidentale fino a San Cristoforo, un tempo si immetteva direttamente nella darsena di Porta Ticinese; attualmente supera il Naviglio Grande e dà origine al Colatore Lambro Meridionale.

Nella zona di San Siro confluiscono nel fiume Olona il torrente Fugone (o Merlata), e poco più a valle il torrente Mussa: entrambi attraversano in sotterraneo parte dell'attuale territorio cittadino.

Ad Est della città scorre a cielo aperto, proveniente dal triangolo Iariano, il Lambro settentrionale, che presso Melegnano raccoglie le acque del Cavo Redefossi e della Roggia Vettabbia, e più a valle quelle del Colatore Lambro Meridionale.

Il Lambro Meridionale, oltre a ricevere le acque dell' fiume Olona, funge anche da scaricatore del Naviglio Grande.

Quest'ultimo deriva le sue acque dal Ticino, nei pressi di Tornavento, e confluisce in città nella darsena di Porta Ticinese.

Dalla Darsena prende origine il Naviglio Pavese, che collega Milano con Pavia.

Per rimediare alle frequenti esondazione del torrente Seveso e del fiume Olona esiste inoltre lo scolmatore di Nord-Ovest, che si è però spesso dimostrato insufficiente ad evitare allagamenti in città, soprattutto nella zona di Niguarda, così come indicato nella cartografia allegata..

Notiamo infine che a Nord di Milano, trasversalmente alla pianura scorre il Canale Villoresi, che collega il fiume Ticino al fiume Adda, fornendo acqua di irrigazione ad un ampio comprensorio naturalmente meno ricco di acqua della zona a Nord della città.



Gli adempimenti tecnici previsti per la definizione dei vincoli territoriali riferiti al reticolo idrico minore (DGR. 25 gennaio 2002 n. 7/7868 e s.m.i.) sono stati affidati al Gestore del Servizio Idrico Integrato del Comune di Milano- Metropolitana Milanese S.p.A.

### **5.1. *Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI)***

Il rispetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo è, in particolare, disciplinato dalla Legge 18.05.1989 n° 183.

Le finalità che la citata legge persegue sono la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, nonché la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi (art. 1).

Per il conseguimento di dette finalità la legge di cui trattasi esplicita il contenuto delle attività conoscitive e di pianificazione e programmazione che devono essere espletate (art. 2 – 3); in sintesi la prima attività riguarda lo svolgimento delle azioni di raccolta, di elaborazione, di dichiarazione e di diffusione dei dati, di ricerca e di studio degli elementi dell'ambiente fisico e delle condizioni generali di rischio, mentre la seconda concerne lo svolgimento delle azioni di sistemazione, di conservazione e di recupero dei suoli, dei bacini idrografici, di difesa, di sistemazione e di regolamentazione dei corsi d'acqua, dei rami terminali dei fiumi e delle loro foci nel mare, di moderazione delle piene, di risanamento delle acque superficiali e sotterranee allo scopo di fermarne il degrado.

In conformità a quanto disposto dall'art. 17, comma 6 – ter della citata L. 183/89, il Comitato Istituzionale dall'Autorità di Bacino del fiume Po ha adottato (11 maggio 1999) e approvato il "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po" (P.A.I.) con D.P.C.M. 24 maggio 2001, pubblicato in G.U. n° 183 dell'8.8.2001

Il Piano contiene prescrizioni e vincoli specifici di natura idraulica e idrogeologica, individua tra l'altro fasce fluviali per la tutela del bacino idrografico per prevenire situazioni di rischio idrogeologico e adotta nel contempo misure di salvaguardia dei valori presenti nel territorio.

Le norme di attuazione, e gli elaborati del Piano dettano disposizioni specifiche per disciplinare le fasce fluviali (Fascia A-Fascia di deflusso della piena: porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme



fluviali riattivabili durante gli stati di piena; Fascia B-Fascia di esondazione: porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni; Fascia C-Area di inondazione per piena catastrofica: porzione di territorio esterna alla Fascia B, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento) e introducono per le Fasce A, e B, norme che limitano l'uso a scopo urbanistico.

Ai sensi dell'art. 17, comma 5, della citata Legge 183/89 ed in conformità a quanto stabilito dall'art. 5, comma 2, delle Norme di Attuazione del P.A.I., la Giunta Regionale della Lombardia, con deliberazione in data 11/12/2001 n°7/7365, ha emanato un'apposita direttiva contenente disposizioni per l'applicazione del P.A.I. stesso in campo urbanistico; tale Direttiva (pubblicata sul B.U.R.L. del 20.12.2001, 2° suppl. ord. al n° 51), nel ribadire che l'intervenuta approvazione del P.A.I. "comportando effetti immediati in termini di indirizzi e limitazioni d'uso del suolo, determina la necessità di avviare le procedure di adeguamento degli strumenti urbanistici", enuclea una serie di criteri ed indirizzi ai quali attenersi nella fase applicativa.

Il P.A.I, che come detto, rappresenta l'atto di pianificazione per la difesa del suolo dal rischio idraulico e idrogeologico, è però lo strumento conclusivo e unificante di due strumenti di pianificazione parziale; quali il P.S. 45 e il P.S.F.F.

-P.S. 45 piano stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell'assetto idraulico, all'eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché per il ripristino delle aree di esondazione.

-P.S.S.F. piano stralcio delle fasce fluviali.

Il "Piano Stralcio delle Fasce Fluviali" (P.S.F.F.) contiene la definizione e la delimitazione cartografica delle fasce fluviali dei corsi d'acqua principali piemontesi, del fiume Po e dei corsi d'acqua emiliani e lombardi, limitatamente ai tratti arginati a monte della confluenza in Po.

Le opzioni di fondo del P.S.F.F. sono riconducibili ai seguenti punti:

- definire il limite dell'alveo di piena e delle aree inondabili e individuare gli interventi di protezione dei centri abitati, delle infrastrutture e delle attività produttive che risultano a rischio;



- stabilire condizioni di equilibrio tra le esigenze di contenimento della piena, al fine della sicurezza della popolazione e dei luoghi, e di laminazione della stessa, in modo tale da non incrementare i deflussi nella rete idrografica a valle;
- salvaguardare e ampliare le aree naturali di esondazione;
- favorire l'evoluzione morfologica naturale dell'alveo, riducendo al minimo le interferenze antropiche sulla dinamica evolutiva;
- favorire il recupero e il mantenimento in condizioni di naturalità, salvaguardando le aree sensibili e i sistemi di specifico interesse naturalistico e garantendo la continuità ecologica del sistema fluviale.

Il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po con delibera n° 3/2003 del 25 febbraio 2003 ha adottato un "Progetto di variante al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri il 24 maggio 2001.- Fasce fluviali del fiume Lambro nel tratto dal lago di Pusiano alla confluenza con il deviatore Redefossi", successivamente pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n° 189 del 16.8.2003.

## **5.2.            *Idraulica fluviale – Fiume Lambro***

Si è reso dunque necessario definire gli scenari di rischio idrogeologico ed idraulico per la fascia C del fiume Lambro secondo quanto previsto dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

I risultati di tale approfondimento verranno introdotti nella Normativa del P.R.G. del Comune di Milano in adeguamento al PAI.

Le fasce fluviali adottate sono state modificate, dall'Autorità di Bacino del fiume Po, con variante in data 2 luglio 2003, che ha previsto un'estensione della fascia C e la modifica delle fasce A e B.

All'Amministrazione Comunale è stata dunque demandata la definizione dei criteri di valutazione del rischio idraulico ed idrogeologico per i territori di fascia C, ex "Direttive regionali in attuazione dell'art. 3 L.R. 41/97 per lo studio geologico a supporto del PRG" (3° supplemento straordinario al BURL n. 48 del 30 novembre 2001), ed inoltre di dotare le attuali norme tecniche di attuazione (N.T.A.) di disposizioni che tengano conto delle diverse condizioni di rischio sui detti territori.



Ai sensi dell' allegato 3 del DGR 7/7365 del 11 dicembre 2001 è possibile individuare le seguenti classi di rischio per la fascia C a tergo della fascia B del fiume Lambro:

- Fascia R1 ( rischio moderato): per il quale sono possibili danni sociali ed economici marginali;
- Fascia R2 ( rischio medio): per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio-economiche;
- Fascia R3 (rischio elevato): per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e l'interruzione delle attività socio-economiche, danni al patrimonio culturale;
- Fascia R4 (rischio molto elevato): per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale.

Le aree caratterizzate dai livelli di rischio R4 sono quindi da considerarsi in condizioni di non compatibilità urbanistica e in Suddette aree dovranno esser escluse nuove edificazioni e/o dovranno essere, se possibile, individuate e attuate le misure di mitigazione del rischio necessarie per rendere compatibili le previsioni urbanistiche con le modalità di deflusso della piena catastrofica definita nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

La delimitazione delle fasce di rischio è stata effettuata in ottemperanza alla prescrizioni dell'Allegato 3 della DGR 7/6645 del 29 Ottobre 2001.

Il lavoro è stato effettuato innanzi tutto procedendo alla modellazione del fiume Lambro all'interno del territorio comunale per mezzo di un modello di calcolo monodimensionale che sarà di seguito meglio descritto.

Con questa modellazione si sono ottenuti i risultati che hanno consentito di determinare le zone di maggior rischio e un andamento complessivo dei livelli idrici.

Successivamente è stato implementato un modello bidimensionale che ha consentito una determinazione del campo di inondazione atteso di maggiore precisione, per i motivi che saranno esposti nel seguito della presente relazione.



Inoltre, la determinazione delle caratteristiche dell'allagamento effettuata con modello bidimensionale consente il calcolo di alcuni parametri della piena, per esempio della velocità della corrente, che nel caso della valutazione del rischio rivestono una notevole importanza.

La cartografia utilizzata per la costruzione dei modelli corrisponde alla Carta Tecnica Comunale Numerica, edizione agosto 2003.

Per la vastità dell'area indagata, sono state effettuate alcune ipotesi semplificative, come descritto nel seguito quando si parla della costruzione del modello, che tuttavia si ritiene non inficino i risultati ottenuti alla scala del lavoro. Evidentemente, per la descrizione di particolari singolarità e di zone di dettaglio, deve essere effettuato uno studio specifico.

Le risultanze della sottoperimetrazione del rischio idraulico in Fascia C, per la porzione settentrionale del fiume Lambro nel territorio comunale hanno consentito di proporre una disciplina degli interventi attraverso la stesura di Norme Tecniche di Attuazione che fossero omogenee e congruenti con lo sviluppo di una porzione di territorio intensamente urbanizzato.

### **5.3. Criteri di valutazione della pericolosità idraulica**

Il rischio è l'entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento.

Si definisce ingegneristicamente il *rischio specifico*  $R$  la convoluzione tra *pericolosità*  $H$  di un evento e *vulnerabilità*  $V$  dell'oggetto, eventualmente moltiplicando questo risultato per l'*esposizione*  $E$  relativa al numero di oggetti sottoposti allo stesso pericolo. Di conseguenza:

$$R = H \cdot V \cdot E$$

Si tratta evidentemente di una convoluzione in quanto sia la pericolosità, sia la vulnerabilità sono date per mezzo di distribuzioni probabilistiche.

La pericolosità è data per mezzo di distribuzioni probabilistiche in quanto non è nota la distribuzione temporale futura degli eventi da trattare, che viene assunta stazionaria e quindi viene valutata la probabilità di accadimento di un evento futuro sulla base degli eventi pregressi.





D'altro canto la vulnerabilità degli elementi soggetti all'evento non è nota in quanto di difficile indagine ed effettuata dovendo tenere conto delle caratteristiche sia degli elementi stessi, sia delle loro reciproche interrelazioni.

La stesura delle fasce fluviali è effettuata in modo da assegnare pericolosità alta alle aree maggiormente soggette ad inondazione, basandosi sul consueto concetto di tempo di ritorno  $T$  di un evento, ovvero quell'evento le cui caratteristiche sono raggiunte o superate almeno una volta ogni  $T$  anni.

In questo caso il criterio è relativo alle sole altezze raggiunte nel fiume, che vengono riportate sul territorio circostante trascurando (a favore di sicurezza) gli eventuali fenomeni di laminazione ed in sostanza ignorando il volume dell'onda di piena. Tale approssimazione può condurre a risultati troppo a favore di sicurezza.

Il criterio che si assume nell'Allegato 3 della DGR 7/6645 del 29 Ottobre 2001, è basato su una combinazione di velocità ed altezze, individuando una soglia di riferimento in modo tale da dividere le aree in sottozone di diversa pericolosità.

Un criterio alternativo potrebbe essere basato sulla spinta totale della corrente, ovvero da:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot L + \rho \cdot Q \cdot V$$

Le curve a spinta costante, ottenute per valori tra i 1000 ed i 5000 N e per una larghezza unitaria, sono riportati nella Figura 5.2.

Il criterio che ne potrebbe conseguire sarebbe quello di calcolare le coppie di punti dati dalle altezze  $h$  e dalle velocità  $V$  e posizzionarle sul grafico in modo tale da verificare il valore di spinta sulla struttura.

Il criterio appare comunque insufficiente, in quanto sono da imporre ulteriori limitazioni.

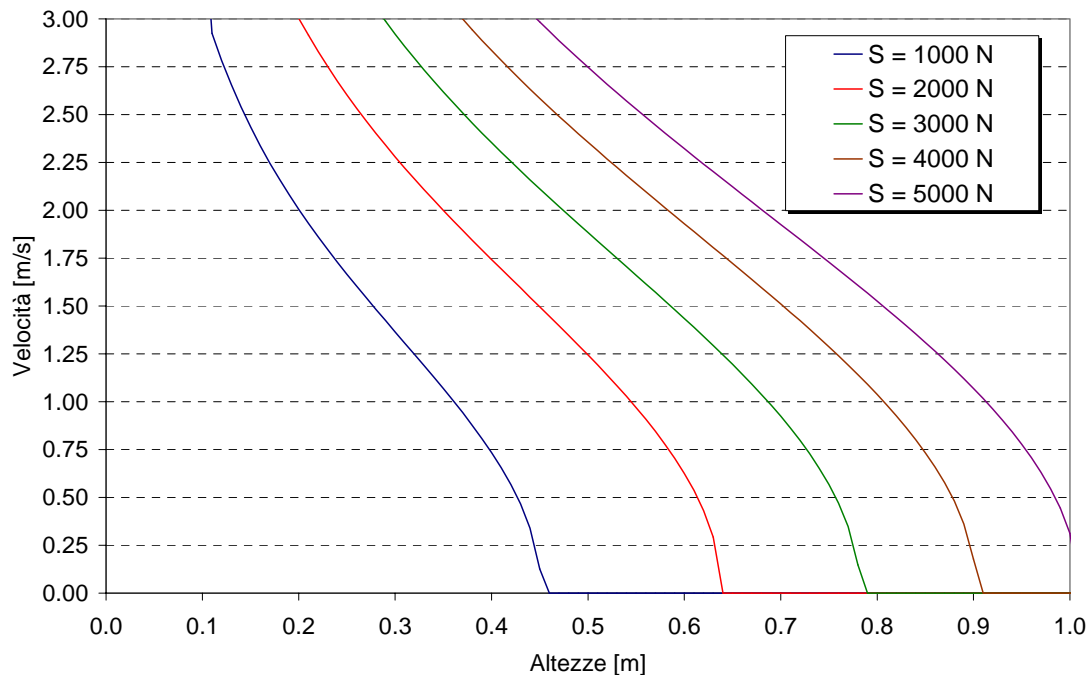


Figura 5.2 - Curve a spinta costante

È infatti evidente come per bassi valori delle altezze d'acqua, altissime velocità siano del tutto improbabili; tuttavia, qualora tali alti valori si verificassero, tiranti idrici anche molto bassi sarebbero inaccettabili. D'altro canto, anche nel caso di velocità nulle, non sarebbero accettabili nemmeno altezze d'acqua eccessive.

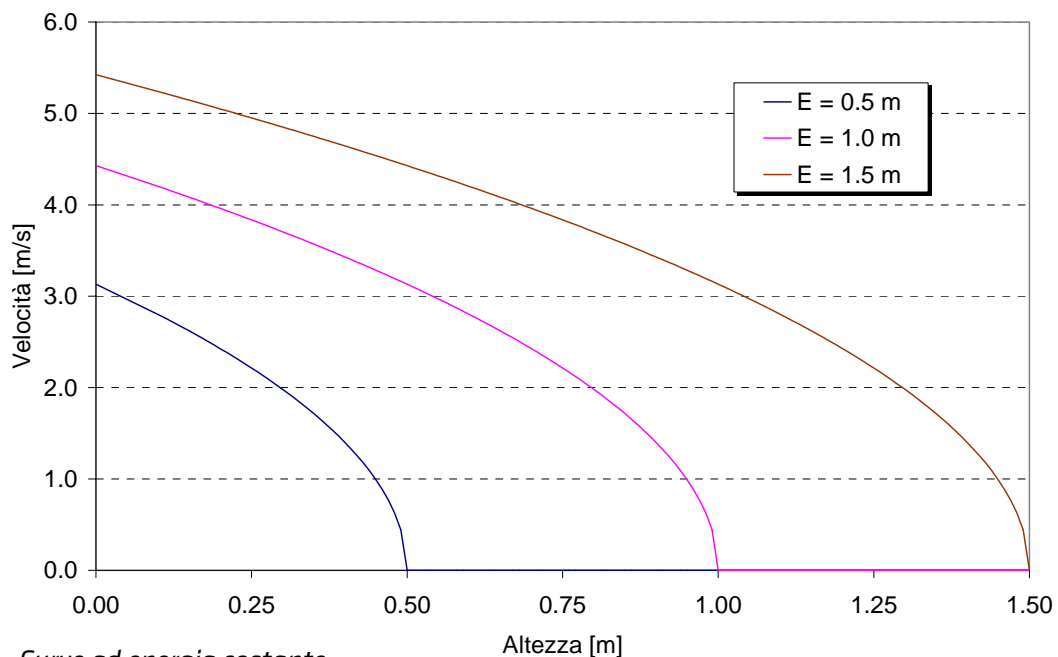


Figura 5.3 - Curve ad energia costante

Un criterio diverso potrebbe basarsi sulle curve ad energia  $E$  tenuta costante (Fig. 5.3); come è noto l'energia è data da:

$$E = h + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

con il quale criterio si ottengono i grafici riportati in Figura 2. Questo criterio risulta tuttavia di applicazione meno intuitiva del precedente e basa i criteri di scelta dei limiti di accettabilità sulla discrezionalità del legislatore.

È altresì possibile basarsi su criteri misti, che probabilmente conducono a risultati sia accettabili dal punto di vista pratico, sia ragionevolmente applicabili senza eccedere in discrezionalità (Fig. 5.4).

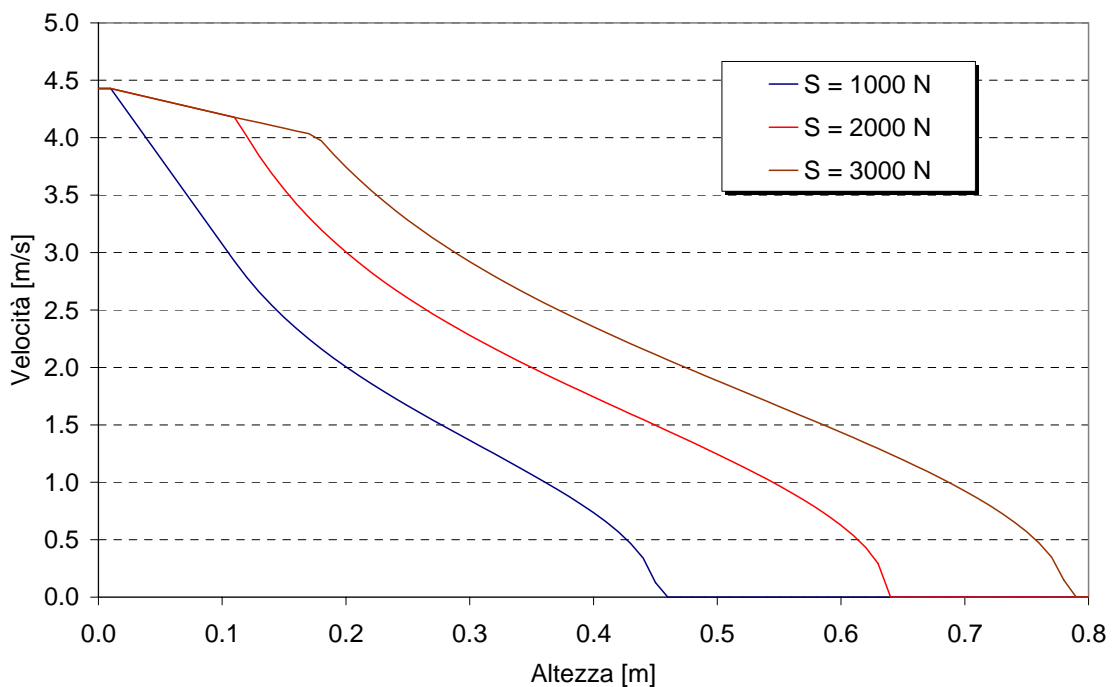


Figura 5.4- Combinazione delle condizioni di spinta ed energia (per  $E = 1.0$  m)

Si supponga quindi di accettare un valore di spinta fino a 2000 N, ma di richiedere altresì che non sia superato un livello pari a 1.0 m di tirante od il suo equivalente energetico. In questo caso la funzione risultante è evidentemente data da:

$$V = \min \left( \sqrt{\frac{S - \frac{1}{2} \cdot 9806 \cdot h^2}{1000 \cdot h}}; \sqrt{2 \cdot g \cdot (E - h)} \right)$$



ponendo ovviamente  $S = 2000 N$  ed  $E = 1.0 m$ . Il grafico risultante è rappresentato in Figura 3.

Questo criterio, quando valutati in modo appropriato sia i massimi tiranti, sia le massime spinte che possono essere considerati accettabili, conduce alla Suddivisione in classi di pericolosità che sono del tutto affidabili.

La normativa regionale adotta, sostanzialmente, questo criterio nel tracciamento dei suoi grafici di compatibilità di urbanizzazione.

Criteri speditivi basati sulla pendenza del terreno, per la zona milanese non sono raccomandabili dati gli scarsi dislivelli e la conseguente incertezza di valutazione del legame tra pendenza e velocità, per cui la stima di quest'ultima deve essere effettuata mediante modelli idraulici completi.

#### *Studi precedenti*

Dall'esame degli studi precedenti si è osservato che la stessa modellazione idrologica del fiume Lambro, non oggetto del presente incarico, comporta notevoli incertezze ed è fonte di valutazioni di portate estremamente diversificate.

La valutazione della portata in ingresso nel modello (ovvero a monte della città di Milano) è d'altro canto evidentemente fondamentale per il presente studio.

Per questo lavoro si sono presi in considerazione solo gli studi più recenti.

L'Autorità di Bacino del fiume Po, nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), nella definizione degli interventi sulla rete idrografica e sui versanti (Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6ter), adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001, nelle norme di attuazione definisce diverse direttive. Tra queste, la direttiva 2 indica la piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica. In tabella 6, per il Lambro in Provincia di Milano, le portate riportate sono le seguenti:

$$Q_{20} = 350 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = 490 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200} = 550 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{500} = 630 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il pedice si riferisce al tempo di ritorno.



Successivamente Paoletti A., nel settembre 1999 (Studio sulla perimetrazione delle aree a rischio idraulico – fiume Lambro a valle di Villasanta), procede ad una nuova determinazione delle portate effettuando una revisione principalmente sulle caratteristiche del bacino.

In particolare, suddivide l'apporto del bacino naturale dall'apporto del reticolo artificiale, tenendo conto anche degli scarichi fognari. Una immediata conseguenza è data dal fatto che, dal punto di vista pratico, gli scarichi fognari, a partire dall'evento che ne provoca la crisi (entrata in pressione) mantengono la portata costante anche all'aumentare del tempo di ritorno dell'evento meteorico, essendo tale portata pari alla massima convogliabile a sezione piena.

Le portate assunte nello studio del settembre 1999, soprattutto quelle con i maggiori tempi di ritorno, evidentemente sono inferiori ed adottate come segue:

$$Q_{50} = 385 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200} = 415 \text{ m}^3/\text{s}$$

Successivamente, la Relazione “Rivista ed integrata in relazione alle osservazioni presentate ai sensi dell'art. 18 della L. 183/89 e risultanti dalla fase di consultazione art. 1 bis della L. 365/2000” dell'Autorità di Bacino, che tiene conto anche dell'entità dell'evento del novembre 2002, procede alla rivalutazione delle portate idrologiche tenendo conto anche delle esondazioni del fiume a monte della città di Milano. In questo studio viene anche mostrato come le portate *idrologiche* differiscano dalle portate *idrauliche*, queste ultime essendo inferiori proprio a causa della ridotta capacità dell'alveo.

La portata massima *idrologica* per la città di Milano è assunta concordemente con quella dello Studio del settembre 1999, in:

$$Q_{200} = 415 \text{ m}^3/\text{s}$$

Mentre, la portata massima *idraulica* sia attuale, sia in fase di progetto, è posta pari a:

$$Q_{200} \text{ (progetto)} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$$

Questo dato risulta anche congruente con quello registrato in occasione del già citato evento del novembre 2002.



Al fine quindi di consentire l'applicazione delle verifiche di compatibilità idraulica con il Metodo di Approfondimento (Allegato 3 DGR 7/7365 del 11 dicembre 2001) ai soggetti interessati l'Amministrazione ha deciso di rendere disponibile le risultanze delle modellazioni monodimensionale effettuate.

#### **5.4. Simulazione del Fiume Lambro con modello monodimensionale**

Per la propagazione dell'onda di piena nel corso d'acqua si è utilizzato il codice di calcolo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)<sup>2</sup>.

È un software appositamente sviluppato per le applicazioni su alvei naturali, in grado di fornire le grandezze idrauliche della corrente.

HEC-RAS permette di ricostruire l'andamento del pelo libero in moto permanente, schematizzando la corrente come monodimensionale; è possibile modellizzare tutte le strutture presenti nell'alveo, quali: ponti, briglie, sfioratori laterali, argini, ostacoli vari, chiuse, etc.

La geometria del corso d'acqua viene rappresentata mediante la schematizzazione dell'andamento planimetrico del fiume e l'inserimento di sezioni idrauliche rilevate lungo l'asta: nel caso in esame si sono utilizzate le sezioni rilevate dallo "Studio Paoletti" relative ai ponti presenti nel tratto fluviale compreso tra Cascina Gobba e la traversa Bolgiano (ponte di via Vittoriani), per una lunghezza complessiva di 8,5 km.

Per ciascuna sezione è stato assegnato un coefficiente di scabrezza, espresso con la formulazione di Manning; si è cautelativamente assunto lungo il tronco fluviale un valore medio pari a  $n=0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ . Riguardo ai manufatti analizzati, realizzati in calcestruzzo, si è assunto un valore pari a  $n=0.017 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Il tratto in esame presenta in genere situazioni di corrente lenta, per cui la condizione al contorno (livello dell'acqua in una opportuna sezione di controllo) è stata ricercata a valle.

L'assenza di particolari singolarità idrauliche ha consigliato di adottare, quali condizioni al contorno, l'altezza di moto uniforme calcolata nella sezione estrema di valle del tratto analizzato. Tale valore è stato individuato assumendo una pendenza dell'alveo a valle pari a 0.15%.

---

<sup>2</sup> Ved. Appendice I Proposta Normativa.

Per la simulazione dei deflussi in condizioni di moto permanente sono stati utilizzati i valori di portata relativi a tempi di ritorno di 50 e 200 anni e la portata massima idraulica di 215 m<sup>3</sup>/s.

I valori di interesse per il fiume Lambro sono di seguito riportati nella tabella 5.1:

T [anni]	Portata [m <sup>3</sup> /s]
--.	215
50	385
200	415

Tab 5.1 – Portate calcolate in funzione del tempo di ritorno.

### Analisi dei risultati

Dalle simulazioni effettuate, si verificano esondazioni nell’area a Nord del comune di Milano nei pressi dello stabilimento Rizzoli e a Sud, a monte di via Vittorini, già per portate superiori a 130 m<sup>3</sup>/s, valore piuttosto inferiori alla massima portata idraulica indicata dall’Autorità di Bacino; per valori di 215 m<sup>3</sup>/s quasi tutti i ponti presenti lungo il fiume Lambro nel tratto studiato generano condizioni di pressione avendo occupata la piena sezione (Fig. 5.5).

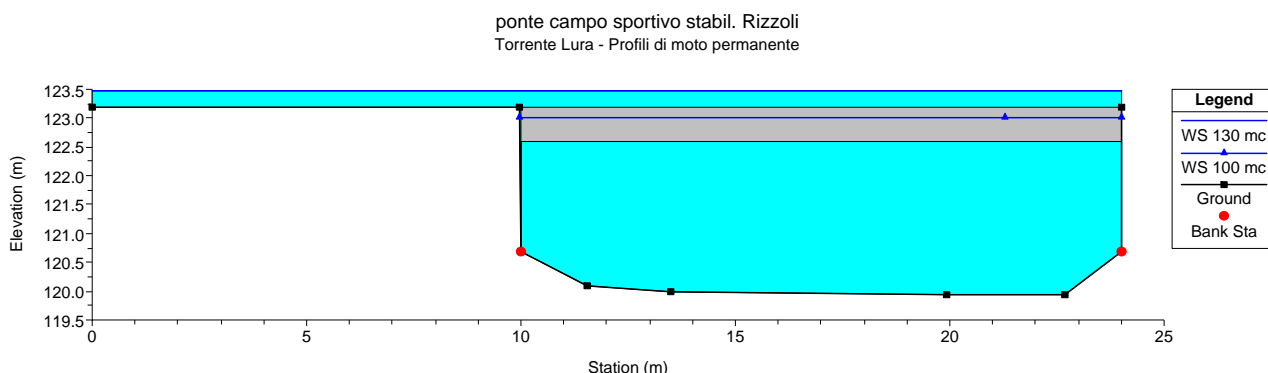


Figura 5.5: Sezione del ponte in via Rizzoli: livelli idrici raggiunti per portate di 100 e 130 m<sup>3</sup>/s.

Le portate relative ai tempi di ritorno di 50 e 200 anni risultano del tutto incompatibili con le sezioni fluviali, causando fenomeni di sormonto dei ponti praticamente per tutti i manufatti presenti e raggiungendo dei livelli idrici superiori in alcuni casi anche di qualche metro alla quota di estradosso dei ponti stessi.

Tuttavia, mediante una schematizzazione della corrente di tipo monodimensionale, non si tiene conto dei possibili effetti di laminazione dei volumi idrici da parte del territorio circostante, ne, tanto



meno, si è in grado di indicare con precisione le direzioni principali di propagazione dell'acqua nella aree esondate; ciò sarebbe possibile mediante una attenta analisi della topografia della zona, ma condurrebbe comunque a valutazioni speditive e con un certo grado di imprecisione.

Per queste motivazioni è sorta l'esigenza di effettuare uno studio bidimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena.

### **5.5. Simulazione del Fiume Lambro con modello bidimensionale**

Per una valutazione di maggiore dettaglio, è necessario impiegare modelli idraulici più complessi (modelli matematici bidimensionali) per tenere conto correttamente delle modalità di propagazione dell'onda di piena nell'alveo fluviale, nonché delle modalità di formazione dell'onda di allagamento (sormonto e/o rottura arginale) e di propagazione della stessa in relazione all'andamento plano-altimetrico del terreno e dei vincoli esistenti (rilevati stradali e ferroviari, altre infrastrutture).

Limitando l'analisi al problema della propagazione dell'onda di allagamento, bisogna dire che l'aspetto fondamentale del problema di modellazione matematica dei fenomeni di allagamento di vaste zone consiste nell'impossibilità di utilizzare una schematizzazione monodimensionale.

Per tale motivo, nel presente studio, si è utilizzato il codice di calcolo "FLO-2D", che impiega, per la propagazione dell'onda di piena, una schematizzazione bidimensionale nell'integrazione delle equazioni di De Saint Venant, con uno schema esplicito centrato alle differenze finite. Il codice fornisce l'andamento spazio-temporale dell'onda che fuoriesce dall'alveo fluviale e si muove nel territorio circostante la rotta.

La fase preliminare è consistito nello sviluppo di una griglia a maglie regolari, poi sovrapposta ad una carta sufficientemente dettagliata dell'area inondabile.

Foto aeree e mappe digitalizzate hanno permesso di localizzare con precisione elementi quali edifici, strade, eventuali ostacoli alla corrente, dei quali il codice di calcolo tiene conto nella simulazione.

Ciascuna maglia è caratterizzata dalla quota del terreno nel suo baricentro e dal coefficiente di scabrezza "n" di Manning.

"Flo-2D" ha permesso di studiare l'avanzamento della piena su di un territorio non confinato e aperto, senza fiumi o canali, semplicemente caratterizzando l'area in questione con i valori della quota del terreno e della scabrezza.





Ha consentito di tener conto della propagazione dell'onda di piena nel fiume, caratterizzato dalle sue sezioni effettivamente rilevate e quindi, dell'andamento dell'inondazione sul terreno adiacente il corso d'acqua.

Lo scambio di portata tra fiume e terreno circostante è regolato da un'interfaccia costituita dagli elementi della maglia che delimitano il fiume e che possono comprendere le sponde, gli argini o le eventuali zone golenali.

Le differenze di quota del pelo libero all'interno di queste celle regola la circolazione dell'acqua. dove questa propagazione sul territorio è nella realtà legata ad una serie di parametri, fra i quali, la scabrezza del piano di scorrimento, gli ostacoli incontrati, la capacità del terreno di immagazzinare acqua e la topografia stessa della zona interessata; nonché il volume dell'idrogramma di piena.

Inoltre l'onda di allagamento generalmente si riversa nel corso d'acqua in una zona più a valle di quella da cui ha avuto origine, transitando per tratti fuori alveo.

È utile sottolineare la flessibilità del codice di calcolo: nelle zone urbanizzate è possibile ad esempio tener conto della presenza di edifici, di eventuali ostacoli alla corrente e delle strade. Queste vengono rappresentate come bassi canali a sezione rettangolare, delimitati da bordi esterni e caratterizzate da una larghezza e da un valore di scabrezza  $n$  di Manning (solitamente pari a  $0.02 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ). Per ogni cella che costituisce la strada viene definita una direzione di scorrimento della corrente, rispetto al baricentro, tra tutte le possibili considerate dal codice di calcolo.

Per queste ragioni il modello utilizzato ci ha consentito di escludere il passaggio di corrente, sia totalmente che parzialmente lungo specifiche direzioni, simulando la presenza di ostacoli realmente presenti attraverso la definizione della percentuale di area e di larghezza della cella occupata dall'acqua.

Queste caratteristiche hanno permesso un buon grado di dettaglio nella descrizione dell'ambiente urbano e, conseguentemente, una buona affidabilità dei risultati.

Il modello ha dunque stimato in ogni punto del dominio spaziale di interesse le velocità ed i livelli idrici in corrispondenza di eventuali strutture presenti sul territorio; in tal modo, è stato possibile definire le classi di rischio all'interno della fascia C di pertinenza fluviale.



Nel caso in studio è stata modellizzata un'area molto vasta, comprendente quasi tutta la parte orientale del territorio comunale di Milano: questa si estende per 7,3 km in lunghezza e da un minimo di 2 a un massimo di 3,5 km in larghezza, per una superficie complessiva di 20 km<sup>2</sup>.

Date le dimensioni dell'area, si è utilizzata una griglia a maglie quadrate di lato 50 m che è sembrato, in relazione alle caratteristiche del territorio, un buon compromesso tra livello di precisione ed onere computazionale.

Per la simulazione, il programma richiede l'inserimento delle sezioni fluviali relative al tratto in esame; per ogni sezione viene richiesto di specificare la scabrezza, la distanza da quella successiva e la posizione dell'alveo inciso.

Lo studio richiede la valutazione delle aree a rischio di alluvione in regime stazionario.

Si è svolta una simulazione per ognuna delle seguenti portate:

- 130 m<sup>3</sup>/s, relativa all'incipiente esondazione;
- 400 m<sup>3</sup>/s, portata con tempo di ritorno 200 anni ricavata dallo Studio Paoletti;
- 630 m<sup>3</sup>/s, portata con tempo di ritorno 500 anni desunta dal PAI.

Negli allegati a seguire vengono riportate le aree di esondazione in corrispondenza delle portate di piena sopraccitate.

#### *Analisi dei risultati*

I risultati ottenuti dalle simulazioni evidenziano una buona attinenza con le aree storiche alluvionate.

Le zone maggiormente esposte al rischio di alluvione risultano, scendendo da Nord verso Sud:

- a) l'area di Crescenzago
- b) il parco Lambro,
- c) l'area compresa tra via Crespi e via Rubattino sino al rilevato ferroviario (che attraversa il fiume Lambro tra via Cima e via Corelli), corrispondente ai quartieri tra Lambrate Sud e Ortica
- d) viale Forlanini, specialmente in sponda sinistra dove si estende sino a comprendere lo stesso parco Forlanini
- e) il quartiere di Parco Lambro, in sponda destra.



Nell'area di Crescenzago, si verificano le maggiori altezze idriche, variabili da 0.5 m fino quasi 3 m; ciò è giustificato dalla topografia della zona, che presenta variazioni marcate delle quote del terreno; in questa zona ed in quella del parco Lambro si riscontrano velocità piuttosto ragguardevoli, di circa 1,5 m/s, con punte di 2 m/s.

Anche nei pressi di via Cima si verificano valori elevati dei battenti idrici (compresi tra 0.5 e 1.8 m) e delle velocità (comprese tra 0.5 e 1.5 m/s), dovuti alla presenza del rilevato ferroviario il quale, da una parte, provoca un forte rigurgito della corrente verso monte, causando ingenti esondazioni sia in sponda sinistra che in sponda destra, dall'altra costringe la corrente a propagarsi solamente in direzione trasversale al corso d'acqua.

Nei pressi del parco Forlanini ed del quartiere Ponte Lambro invece, i battenti idrici presentano valori più moderati, mentre le velocità, in quest'ultima zona, hanno valori simili a quelli delle aree menzionate precedentemente.

Il parco Lambro si comporta come una naturale cassa di espansione delle piene fluviali, permettendo una considerevole laminazione delle portate.

I risultati delle simulazioni evidenziano come i rilievi stradali e ferroviari ed in genere la topografia influenzino la propagazione dell'onda di piena; basti pensare al rilevato ferroviario di cui si è parlato prima, il quale, comportandosi come un argine artificiale, costituisce un ostacolo per la corrente, impedendone la propagazione dell'onda verso Sud; lo stesso vale per viale Forlanini, il quale si trova ad una quota di 1-2 m superiore rispetto alle aree circostanti e per alcuni tratti rialzati della Tangenziale Est, rivestiti in terrapieno.

Quanto detto trova riscontro nelle aree di esondazioni ricavate; questi risultano inoltre più estesi in sponda sinistra, a cui corrispondono quote del terreno, in generale, inferiori che in sponda destra.

In particolare, gli areali di alluvione si estendono per una superficie complessiva di circa 4.7 km<sup>2</sup>, per la portata di 400 m<sup>3</sup>/s e di 5 km<sup>2</sup>, per la portata di 630 m<sup>3</sup>/s, valori per altro piuttosto simili tra loro: ciò è probabilmente dovuto al fatto che, oltre una certa portata, in base alla conformazione topografica del territorio, le aree alluvionate in grado di contenere la piena risultano essere pressoché le stesse. Inoltre si deve anche tener conto che l'area studiata riguarda solamente quella del territorio del comune di Milano, mentre l'estensione della fascia fluviale C sconfinava anche nei comuni di Segrate e Linate; il programma è infatti in grado di stimare gli eventuali volumi uscenti, calcolati lungo il



confine dell'area di indagine, e questi, nel caso della simulazione con portata pari a  $630 \text{ m}^3/\text{s}$ , risultano ben superiori rispetto a quella con portata pari a  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Se quindi si ampliassero i confini e si considerassero anche questi volumi uscenti, si otterrebbero, molto probabilmente, degli areali di alluvione ben diversi nei due casi di  $400$  e  $630 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **5.6. Considerazioni sulla simulazione numerica**

L'utilizzo di una maglia di lato  $50 \text{ m}$ , per quanto permetta di raggiungere un buon livello di accuratezza (in proporzione alle dimensioni considerevoli dell'area studiata), non consente lo sviluppo di indagini più dettagliate, come la simulazione degli edifici e di strade secondarie. Questo è dovuto al fatto che la simulazione di zone densamente urbanizzate, specialmente in sponda destra, mediante celle di lato  $50 \text{ m}$ , risulterebbe piuttosto grossolana; si dovrebbe infatti considerare interi gruppi di edifici come blocchi unici e questo non rispecchierebbe la dinamica effettiva della diffusione dell'onda di piena nelle aree allagate. Lo stesso discorso vale per le strade secondarie di larghezza decisamente inferiore ai  $50 \text{ m}$  del lato della maglia. Per cui si è deciso di non trattare edifici nella modellizzazione, salvo casi isolati di strutture dalle dimensioni considerevoli, venendo però meno al fatto che questi possano costituire un ostacolo per la corrente e determinare delle vie preferenziali di scorrimento idrico.

Una prima proposta di approfondimento consiste nello spezzare l'area di indagine in due parti, in corrispondenza del rilevato ferroviario (precedentemente nominato) il quale costituisce un ostacolo praticamente invalicabile per la corrente; in questo modo si otterrebbero due zone, di superficie pari circa alla metà di quella di partenza, nelle quali sarebbe possibile diminuire il lato della maglia, permettendo un'analisi più accurata.

Mentre per questa divisione del territorio di Milano in due aree (la prima a Nord e la seconda a Sud del rilevato ferroviario) non vi sono problemi dal punto di vista idraulico, l'ulteriore suddivisione delle due aree, per quanto conduca a simulazioni sempre più dettagliate, richiede una maggiore attenzione e l'introduzione di ipotesi, non sempre valide: infatti, procedendo in questo modo, verrebbero considerate solo le esondazioni provenienti dal tratto ridotto di fiume considerato, senza tener conto dei volumi idrici provenienti dalle zone circostanti.



Una seconda proposta di approfondimento consiste nell'adattamento ed ampliamento delle sezioni fluviali del Lambro le quali, per il momento, sono state ricavate in corrispondenza degli attraversamenti fluviali; mediante queste sezioni, infatti, non è sempre possibile descrivere accuratamente l'andamento del corso fluviale, il quale in alcuni punti può presentare degli allargamenti o restringimenti, degli innalzamento o abbassamenti degli argini, una pendenza delle sponde diversa rispetto a quella in corrispondenza dei ponti.

Infine, per la sola zona di Crescenzago, area di interesse per la presenza dello stabilimento della Rizzoli e particolarmente sensibile al rischio di alluvione, si potrebbe compiere uno studio di dettaglio, dal momento che si trova a Nord dell'area complessivamente studiata e quindi, non influenzata da ciò che sta monte.



## 6. Fattibilità geologica

Il confronto, e le relazioni reciproche tra le carte di base sin qui definite porta all'elaborazione di uno strumento cartografico riassuntivo chiamato Carta di Fattibilità Geologica all'utilizzazione urbanistica, nel quale il territorio viene distinto in aree omogenee in funzione del grado e del tipo di rischio ambientale cui esso è sottoposto.

La carta della fattibilità geologica per le azioni di piano, redatta alla stessa scala dello strumento urbanistico, deriva dalla carta di sintesi e dalla carta dei vincoli (per gli ambiti ricadenti entro le fasce fluviali PAI) attribuendo al territorio un valore di classe di fattibilità individuato da ciascun poligono e fornisce le indicazioni sulle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio, a cui sono affiancate le “norme geologiche di attuazione” che riportano la relativa normativa d'uso, nonché indica le prescrizioni per gli interventi urbanistici, agli studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, alle opere di mitigazione del rischio ed alle necessità di controllo dei potenziali fenomeni naturali.

Il territorio è stato diviso in tre classi di fattibilità, con grado di limitazione d'uso del territorio crescente.

Per ogni classe vengono introdotte norme (documento Proposta di Norme Geologiche di Piano) che precisano, in funzione delle tipologie di fenomeno in atto, gli interventi ammissibili, le precauzioni da adottare e indicazioni per eventuali studi approfondimento.

### **6.1. Criteri di valutazione del rischio ambientale**

I criteri, approvati con DGR n. 8/1566 del 22/12/2005 e modificati con DGR n. 8/7374 del 28/05/2008, forniscono le linee guida per la prevenzione del rischio idrogeologico attraverso una pianificazione territoriale compatibile con l'assetto geologico, geomorfologico e con le condizioni di sismicità del territorio a scala comunale, in raccordo con le disposizioni dell'art. 57 della l.r. 12/2005.

La direttiva regionale indica quindi i criteri relativi per la definizione dei Piani di Governo del Territorio sulla base di criteri geologico-morfologici, idrogeologici, idraulici, con cui viene analizzato e classificato il territorio, proponendo quattro classi (I, II, III, IV) per meglio definire l'idoneità all'utilizzo urbanistico del territorio.



Nel caso del territorio comunale di Milano sono state riconosciute le classi II, III e IV, riportate sulla cartografia e di seguito specificate.

*Classe II Fattibilità con modeste limitazioni (verde)*

Si tratta di aree nelle quali, in generale, sono ammissibili tutte le categorie di opere edificatorie, fatto salvo l'obbligo di verifica della compatibilità geologica e geotecnica ai sensi del D.M. 14/01/08, per tutti i livelli di progettazione previsti per legge.

*Classe III - Fattibilità con consistenti limitazioni (arancione)*

In questa classe III sono state riconosciute 5 sottoclassi individuate con lettere da IIIa) a IIIe) ricadono:

- a) le aree di esondazione del fiume Lambro
- b) le aree a bassa soggiacenza della falda acquifera
- c) le aree di salvaguardia delle opere di captazione dell'acquedotto pubblico ad uso idropotabile e nello specifico la “zona di rispetto”
- d) le aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche del primo orizzonte
- e) le aree di cava attiva o cessate

*Classe IV - Fattibilità con gravi limitazioni (rossa)*

L'alto rischio riconosciuto in questi settori di territorio pregiudica la fattibilità delle opere civili e più in generale di ogni modifica di destinazione d'uso del territorio.

Questa classe IV raggruppa tre sottoclassi da IVa) ae IVc):

- a) le aree che ricadono negli ambiti ricadenti nella fascia A e B del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico ed in classe R4 di rischio idraulico così come definito per le aree di fascia C (PSFF-PAI) per il fiume Lambro
- b) le zone di tutela assoluta sia dei pozzi che dei corsi d'acqua; in tale aree sono interdette qualsiasi tipo di intervento ad esclusione di quelli di servizio all'opera stessa, per motivi grafici tali zone non sono state riportate graficamente sull'allegato cartografico e presentano una estensione di 10 m di raggio.
- c) gli ambiti di pertinenza delle teste di fontanili per una distanza di 50 m dall'orlo della testa e del primo tratto dell'asta di irrigazione, costituente fascia di tutela idrogeologica e ambientale



## 7. Norme Geologiche di Piano

Le prescrizioni geologiche definiscono le Norme Geologiche di Piano e dovranno essere integralmente riportate nel Piano delle Regole del P.G.T., di cui formeranno parte integrante formale e sostanziale.

A questo scopo viene redatto il presente capitolo con le Norme Geologiche di Piano con allegata cartografia alla scala di piano.

Gli elaborati della componente geologica, idrogeologica e sismica sono costituiti dai seguenti elaborati:

- Relazione illustrativa suddivisa in Parte prima “Relazione geologica generale” e Parte seconda “Norme geologiche di Piano”.
- Carta geolitologica con elementi geomorfologici – scala 1:10.000 (n° 4 tavole);
- Carta idrogeologica – scala 1:10.000 (n° 4 tavole);
- Carta di sintesi – scala 1:5.000 (n° 15 tavole);
- Carta dei vincoli – scala 1:5.000 (n° 15 tavole);
- Carta della Fattibilità geologica – scala 1:5.000 (n° 15 tavole).

### 7.1. *Definizioni*

**Rischio:** entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito a verificarsi di un particolare evento.

**Elemento a rischio:** popolazione, proprietà, attività economica, ecc. esposta a rischio in una determinata area.

**Vulnerabilità:** attitudine dell'elemento a rischio a subire danni per effetto dell'evento.

**Pericolosità:** probabilità di occorrenza di un certo fenomeno di una certa intensità in un determinato intervallo di tempo ed in una certa area.

**Dissesto:** processo evolutivo di natura geologica o idraulica che determina condizioni di pericolosità a diversi livelli di intensità.





**Pericolosità sismica locale:** previsione delle variazioni dei parametri della pericolosità di base e dell'accadimento di fenomeni di instabilità dovute alle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito; è valutata a scala di dettaglio partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento) e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici e geologico-tecnici del sito. La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale è contenuta nell'Allegato 5 alla DGR 28 maggio 2008 n. 8/7374.

**Vulnerabilità** intrinseca dell'acquifero: insieme delle caratteristiche dei complessi idrogeologici che costituiscono la loro suscettività specifica ad ingerire e diffondere un inquinante idrico o idroveicolato.

**Studi ed indagini preventive e di approfondimento:** insieme degli studi, rilievi, indagini e prove in sito e in laboratorio, commisurate alla importanza ed estensione delle opere in progetto e alle condizioni al contorno, necessarie alla verifica della fattibilità dell'intervento in progetto, alla definizione del modello geotecnico del sottosuolo e a indirizzare le scelte progettuali ed esecutive per qualsiasi opera/intervento interagente con i terreni e con le rocce, ottimizzando la progettazione sia in termini di costi che di tempi.

Gli studi e le indagini a cui si fa riferimento sono i seguenti:

- Indagini geognostiche: indagini con prove in sito e laboratorio, comprensive di rilevamento geologico di dettaglio, assaggi con escavatore, prove di resistenza alla penetrazione dinamica o statica, indagini geofisiche in foro, indagini geofisiche di superficie, caratterizzazione idrogeologica ai sensi del DM 14 gennaio 2008.
- Valutazione di stabilità dei fronti di scavo: valutazione preliminare, ai sensi del DM. 14 gennaio 2008, della stabilità dei fronti di scavo o di riporto a breve termine, in assenza di opere di contenimento, determinando le modalità di scavo e le eventuali opere provvisorie necessarie a garantire la stabilità del pendio durante l'esecuzione dei lavori. Nei terreni/ammassi rocciosi posti in pendio, o in prossimità a pendii, oltre alla stabilità localizzata dei fronti di scavo, deve essere verificata la stabilità del pendio nelle condizioni attuali, durante le fasi di cantiere e nell'assetto definitivo di progetto, considerando a tal fine le sezioni e le ipotesi più sfavorevoli, nonché i sovraccarichi determinati dalle opere da realizzare, evidenziando le opere di contenimento e di consolidamento necessarie a garantire la stabilità a lungo termine. Le indagini geologiche devono inoltre prendere in esame la circolazione idrica superficiale e



profonda, verificando eventuali interferenze degli scavi e delle opere in progetto nonché la conseguente compatibilità degli stessi con la suddetta circolazione idrica.

- Recupero morfologico e ripristino ambientale: studio volto alla definizione degli interventi di riqualificazione ambientale e paesaggistica, che consentano di recuperare il sito alla effettiva e definitiva fruibilità per la destinazione d'uso conforme agli strumenti urbanistici.
- Compatibilità idraulica: studio finalizzato a valutare la compatibilità idraulica delle previsioni degli strumenti urbanistici e territoriali o più in generale delle proposte di uso del suolo, ricadenti in aree che risultino soggette a possibile esondazione secondo i criteri dell'Allegato 4 alla DGR 28 maggio 2008 n. 8/7374 e della direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" approvata con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 dell'11 maggio 1999, aggiornata con deliberazione n. 10 del 5 aprile 2006, come specificatamente prescritto nelle diverse Classi di fattibilità geologica.
- Indagini preliminari sullo stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento di Igiene comunale o dei casi contemplati nel D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152: insieme delle attività che permettono di ricostruire gli eventuali fenomeni di contaminazione a carico delle matrici ambientali suolo, sottosuolo e acque sotterranee.
- Nel caso di contaminazione accertata (superamento delle concentrazioni soglia di contaminazione) devono essere attivate le procedure di cui al D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152, comprendenti la redazione di un Piano di caratterizzazione e il Progetto operativo degli interventi di bonifica in modo da ottenere le informazioni di base su cui prendere decisioni realizzabili e sostenibili per la messa in sicurezza e/o bonifica del sito.
- Verifica della qualità degli scarichi e della portata adottata per la corretta gestione delle acque sotto il profilo qualitativo

Interventi di tutela ed opere di mitigazione del rischio da prevedere in fase progettuale: complesso degli interventi e delle opere di tutela e mitigazione del rischio, di seguito elencate:

- Opere di regimazione idraulica e smaltimento delle acque meteoriche superficiali e sotterranee; individuazione dell'idoneo recapito finale delle acque nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche locali
- Interventi di recupero morfologico e/o di funzione e/o paesistico ambientale.



- Opere per la difesa del suolo
- Predisposizione di sistemi di controllo ambientale per gli insediamenti a rischio di inquinamento da definire in dettaglio in relazione alle tipologie di intervento
- Interventi di bonifica ai sensi del D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152, qualora venga accertato uno stato di contaminazione dei suoli
- Collettamento in fognatura degli scarichi fognari e delle acque non smaltibili in loco .

**Zona di tutela assoluta dei pozzi a scopo idropotabile:** è costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni; deve avere un'estensione di almeno 10 m di raggio dal punto di captazione, deve essere adeguatamente protetta e deve essere adibita esclusivamente a opere di captazione e ad infrastrutture di servizio (D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152, art. 94, comma 3).

**Zona di rispetto dei pozzi a scopo idropotabile:** è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta, da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia dell'opera di captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa (D.Lgs 3 aprile 2006 n. 152, art. 94, comma 4).

**Edifici ed opere strategiche** di cui al d.d.u.o. 21 novembre 2003 n. 19904 "Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'ordinanza p.c.m. n. 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003": categorie di edifici e di opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza regionale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile.

**Edifici ed opere rilevanti** di cui al d.d.u.o. 21 novembre 2003 n. 19904 "Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'ordinanza p.c.m. n. 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003": categorie di edifici e di opere infrastrutturali di competenza regionale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

**Polizia idraulica:** comprende tutte le attività che riguardano il controllo degli interventi di gestione e trasformazione del demanio idrico e del suolo in fregio ai corpi idrici, allo scopo di salvaguardare le aree di espansione e di divagazione dei corsi d'acqua e mantenere l'accessibilità al corso d'acqua stesso.



## **7.2. Indagini ed approfondimenti geologici – Criteri generali**

Lo studio “Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio ai sensi della L.R. 12/2005 e secondo i criteri della d.g.r. n. 8/7374/08”, contenuto integralmente nel Documento di Piano - Quadro conoscitivo del Piano di Governo del Territorio del Comune di Milano, ha la funzione di orientamento urbanistico, ma non può essere sostitutivo delle relazioni di cui al DM 14 gennaio 2008.

Tutte le indagini e gli approfondimenti geologici prescritti per le diverse classi di fattibilità dovranno essere consegnati contestualmente alla presentazione dei piani attuativi o in sede di richiesta di permesso di costruire/DIA e valutati di conseguenza prima dell’approvazione del piano o del rilascio del permesso.

Gli approfondimenti d’indagine non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dal DM 14 gennaio 2008.

Piani Attuativi: rispetto alla componente geologica ed idrogeologica, la documentazione minima da presentare a corredo del piano attuativo dovrà necessariamente contenere tutte le indagini e gli approfondimenti geologici prescritti per le classi di fattibilità geologica in cui ricade il piano attuativo stesso, che a seconda del grado di approfondimento, potranno essere considerati come anticipazioni o espletamento di quanto previsto dal DM 14 gennaio 2008. In particolare dovranno essere sviluppati, sin dalla fase di proposta, gli aspetti relativi a:

- interazioni tra il piano attuativo e l’assetto geologico-geomorfologico e l’eventuale rischio idraulico;
- interazioni tra il piano attuativo e il regime delle acque superficiali;
- fabbisogni e smaltimenti delle acque (disponibilità dell’approvvigionamento potabile, differenziazione dell’utilizzo delle risorse in funzione della valenza e della potenzialità idrica, possibilità di smaltimento in loco delle acque derivanti dalla impermeabilizzazione dei suoli e presenza di un idoneo recapito finale per le acque non smaltibili in loco).

5-. Gli interventi edilizi di nuova costruzione, di ristrutturazione edilizia, di restauro e risanamento conservativo e di manutenzione straordinaria (quest’ultima solo nel caso in cui comporti all’edificio esistente modifiche strutturali di particolare rilevanza) dovranno essere progettati adottando i criteri di cui al DM 14 gennaio 2008.



La documentazione di progetto dovrà comprendere i seguenti elementi:

- indagini geognostiche per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, in termini di caratteristiche granulometriche e di plasticità e di parametri di resistenza e deformabilità, spinte sino a profondità significative in relazione alla tipologia di fondazione da adottare e alle dimensioni dell'opera da realizzare;
- determinazione della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità al di sotto del prescelto piano di posa delle fondazioni, ottenibile a mezzo di indagini geofisiche o attraverso correlazioni empiriche di comprovata validità con prove di resistenza alla penetrazione dinamica o statica. La scelta della metodologia di indagine dovrà essere commisurata all'importanza dell'opera e dovrà in ogni caso essere adeguatamente motivata;
- definizione della categoria del suolo di fondazione in accordo al DM 14 gennaio 2008 sulla base del profilo di VS ottenuto e del valore di VS30 calcolato;
- definizione dello spettro di risposta elastico in accordo al DM 14 gennaio 2008.

All'interno del territorio del comune di Milano solo per gli edifici il cui uso prevede affollamenti significativi, per gli edifici industriali con attività pericolose per l'ambiente, per le reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e per le costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti e con funzioni sociali essenziali di cui al d.d.u.o. 21 novembre 2003 n. 19904, la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici di cui al DM 14 gennaio 2008.

La documentazione di progetto dovrà comprendere i seguenti elementi:

- Indagini geognostiche per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, in termini di caratteristiche granulometriche e di eventuale plasticità e di parametri di resistenza e deformabilità, spinte sino alle profondità interessate dal bulbo di pressione da valutarsi in relazione alla tipologia di fondazione da adottare e alle dimensioni dell'opera da realizzare;
- Determinazione della velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs30) nei primi 30 m di profondità al di sotto del prescelto piano di posa delle fondazioni ottenibile a mezzo di indagini geofisiche o attraverso correlazioni empiriche di comprovata validità. La scelta della metodologia di indagine dovrà essere commisurata all'importanza dell'opera e in ogni caso dovrà essere adeguatamente motivata;



- Definizione, con indagini o da bibliografia, del modulo di taglio  $G$  e del fattore di smorzamento  $D$  dei terreni di ciascuna unità geotecnica sito specificamente individuata e delle relative curve di decadimento al progredire della deformazione di taglio  $\gamma$ ;
- Definizione del modello geologico-geotecnico di sottosuolo a mezzo di sezioni geologico-geotecniche, atte a definire compiutamente l'assetto morfologico superficiale, l'andamento dei limiti tra le diverse unità stratigrafiche, i loro parametri geotecnici, l'assetto idrogeologico e l'andamento della superficie piezometrica;
- Valutazione della risposta sismica locale consistente nel calcolo degli accelerogrammi attesi al suolo mediante codici di calcolo bidimensionali o tridimensionali in grado di tenere adeguatamente conto della non linearità del comportamento dinamico del terreno e degli effetti di amplificazione topografica di sito.

### **7.3. Classi di fattibilità geologica**

#### *Norme Geologiche di Piano per la Classe II Fattibilità con modeste limitazioni (verde)*

Si tratta di aree nelle quali, in generale, sono ammissibili tutte le categorie di opere edificatorie, fatto salvo l'obbligo di verifica della compatibilità geologica e geotecnica ai sensi del DM 14/01/08, per tutti i livelli di progettazione previsti per legge.

Tale classificazione non risulta, quindi, particolarmente restrittiva nei confronti della possibilità di espansione edilizia; non si riscontrano, infatti, generali limitazioni all'edificabilità o alla modifica dell'uso del territorio.

In ogni caso occorrerà attenersi a quanto previsto dal DM 14/01/08 e prevedere, di volta in volta, la realizzazione di idonei approfondimenti di carattere idrogeologico e geologico-tecnico, finalizzati a:

- fornire una puntuale valutazione delle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni di fondazione, con specifico riferimento alle eventuali interferenze della falda superficiale con le porzioni inferiori dei fabbricati e con i terreni stessi di fondazione, soprattutto in considerazione del fatto che la falda nel periodo primavera estate manifesta accentuati innalzamenti.
- svolgere una accurata analisi delle scelte progettuali in merito alla capacità portante dei terreni di fondazione, nonché alla valutazione dei cedimenti.



Lo studio delle componenti consente di definire le aree in classe di fattibilità geologica 2 come pianeggianti, litologicamente costituite da depositi di natura sabbioso ghiaiosa con percentuali variabili di matrice limosa o limoso sabbiosa.

Talvolta sono aree con presenza di terreni granulari/coesivi con mediocri/scadenti caratteristiche geotecniche fino a 5-6 m circa di profondità.

Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia (così come definiti dall'art. 27 della L.R. 12/2005), nel rispetto delle normative vigenti.

Relativamente agli ambiti produttivi la realizzazione dei vani interrati o seminterrati è condizionata dalla bassa soggiacenza dell'acquifero (< 5m); si vieta pertanto in tali aree la realizzazione di vani interrati adibiti ad uso produttivo o con utilizzo di sostanze pericolose/insalubri, mentre si sconsiglia la realizzazione di vani adibiti a stoccaggio di sostanze pericolose.

Potranno invece essere realizzati vani interrati compatibilmente con le situazioni idrogeologiche locali, ospitanti magazzini e/o depositi di sostanze non pericolose, parcheggi sotterranei, uffici dotati di collettamento delle acque di scarico con rilancio alla fognatura.

Si rende necessaria l'esecuzione di Indagini di approfondimento preventive alla progettazione per la verifica idrogeologica e litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie.

La verifica idrogeologica deve prevedere una disamina della circolazione idrica superficiale e profonda, verificando eventuali interferenze degli scavi e delle opere in progetto nonché la conseguente compatibilità degli stessi con la suddetta circolazione idrica.

Nel caso di opere che prevedano scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei versanti di scavo.

La modifica di destinazione d'uso di aree produttive esistenti necessita la verifica dello stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento Locale d'Igiene Pubblica e/o dei casi contemplati nel D. Lgs. 152/06.



Qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni mediante un'indagine ambientale preliminare, dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs 152/06 (Piano di Caratterizzazione con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica).

Le suddette indagini dovranno essere commisurate al tipo di intervento da realizzare ed alle problematiche progettuali proprie di ciascuna opera.

Gli interventi da prevedere in fase progettuale: per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti per lo smaltimento delle acque meteoriche e quelle di primo sottosuolo.

Quale norma generale a salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario inoltre che per ogni nuovo intervento edificatorio, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento degli scarichi idrici e/o dei reflui in fognatura.

Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica qualora venga accertato uno stato di contaminazione dei suoli e delle acque ai sensi del D.Lgs 152/06.

Le norme sismiche da adottare per la progettazione trattandosi di aree PSL, per gli edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03), la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del DM 14 gennaio 2008 definendo le azioni sismiche di progetto a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello - metodologie di cui all'allegato 5 della DGR n. 8/7374/08, o in alternativa utilizzando lo spettro previsto dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore.

#### *Norme Geologiche di Piano per la Classe III - Fattibilità con consistenti limitazioni (arancione)*

In questa classe III ricadono:

- a) le aree di esondazione del fiume Lambro
- b) le aree a bassa soggiacenza della falda acquifera
- c) le aree di salvaguardia delle opere di captazione dell'acquedotto pubblico ad uso idropotabile e nello specifico la "zona di rispetto"
- d) le aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche del primo orizzonte
- e) le aree di cava attiva o cessate





**III a)** Sono aree allagate in occasione di eventi meteorici rilevanti e dovranno essere prese in considerazione per la mitigazione del rischio i seguenti accorgimenti:

Misure per evitare il danneggiamento dei beni e delle strutture:

- progettare la disposizione dei fabbricati e della viabilità minore interna così da limitare allineamenti di grande lunghezza nel senso di scorrimento delle acque, che potrebbero indurre la creazione di canali di scorrimento a elevata velocità;
- progettare la disposizione dei fabbricati in modo da limitare la presenza di lunghe strutture trasversali alla corrente principale e favorire il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo.

Misure atte a garantire la stabilità delle fondazioni:

- opere drenanti per evitare le sottopressioni idrostatiche nei terreni di fondazione;
- opere di difesa per evitare fenomeni di erosione delle fondazioni superficiali;
- fondazioni profonde per limitare i fenomeni di cedimento o di rigonfiamento di suoli coesivi.
- utilizzo di materiali e tecnologie costruttive che permettano alle strutture di resistere alle pressioni idrodinamiche
- utilizzo di materiali da costruzione e tecnologici adatti a subire contatti con l'acqua.

Le prescrizioni complessive generali, come previsto già da PTCP (art. 45 Ambiti a rischio idrogeologico) in questi ambiti vietano la nuova localizzazione e/o l'ampliamento di industrie chimiche e petrolchimiche, discariche di rifiuti solidi urbani e assimilabili, discariche di rifiuti speciali e tossico nocivi, impianti di incenerimento e trattamento dei rifiuti.

Sono comunque fatte salve le eventuali indicazioni più restrittive presenti negli articoli dei criteri di prima applicazione nonché nei Piani sovraordinati e nella normativa regionale e nazionale vigente in materia.

**III b)** Sono aree che presentano una soggiacenza dell'acquifero superficiale inferiore a 5 metri da piano campagna. Per queste aree quale norma generale a salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario che per ogni nuovo insediamento sia civile che industriale, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento degli scarichi idrici in fognatura. Sono da prevedere interventi di regimazione idraulica per lo smaltimento delle acque superficiali e sotterranee.



Qualora venga accertato uno stato di contaminazione dei suoli e delle acque ai sensi del D. Lgs 152/06, dovranno essere previsti interventi di bonifica (POB).

**III c)** Sono zone di rispetto dei singoli pozzo pubblici ad uso idropotabile definite col criterio geometrico 200 metri di raggio. Come già indicato precedentemente, in presenza di indagini specifiche vengono adottati i parametri definiti delle leggi (D.P.R. 236 del 24/05/88, D.Lgs. 152 /2000 e dal D.G.R. n° 6/15137 del 27/06/96 e loro successive modifiche), relative alla Zona di Rispetto entro le quali gli interventi urbanistici risultano oggetto di precise limitazioni come già indicato nel paragrafo “Vincoli legislativi”. Sono ammessi interventi urbanistici a seguito di indagini idrogeologiche approfondite che mettano in luce la non interferenza fra le nuove opere e gli acquiferi da cui emungono i pozzi idropotabili.

**III d)** Sono aree aventi scadenti caratteristiche geotecniche del primo orizzonte litologico. Per gli interventi edificatori ammissibili si rendono necessarie indagini geologico-tecniche per la verifica delle caratteristiche litotecniche dei terreni, di capacità portante e di valutazione di stabilità dei versanti di scavo, valutazioni di compatibilità dell'intervento sull'assetto idrogeologico ed ambientale dell'area. A fronte di qualsiasi azione sono da prevedere contestualmente interventi di recupero morfologico e paesistico ambientale delle aree interessate, opere di regimazione idraulica e smaltimento delle acque superficiali e sotterranee, collettamento degli scarichi idrici in fognatura a salvaguardia della falda idrica sotterranea.

**III e)** Sono aree caratterizzate dalla presenza di ambiti estrattivi attivi e recuperati o in fasi di recupero. Sono aree con possibilità di riempimenti e ripristino morfologico con terreni litologicamente disomogenei e con scadenti caratteristiche geotecniche. L'edificabilità deve essere verificata puntualmente attraverso la definizione delle caratteristiche litotecniche dei terreni di riempimento. I tipi di intervento ammissibili sono da definirsi mediante specifici Piano di Recupero. Le particolari condizioni di tali aree richiedono necessariamente l'effettuazione di studi per il recupero morfologico e di ripristino ambientale, indagini di stabilità dei fronti di scavo, indagini geognostiche di approfondimento per la verifica litotecnica dei terreni mediante rilievo geologico di dettaglio e prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva di qualunque opera sul territorio. Qualora venga accertato uno stato di contaminazione dei suoli e delle acque ai sensi del D.Lgs 152/06, dovranno essere previsti interventi di bonifica.



Le norme sismiche da adottare per la progettazione di tutte le aree definite in classe di fattibilità geologica III, trattandosi di aree PSL, per gli edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03), la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del DM 14 gennaio 2008 definendo le azioni sismiche di progetto a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello - metodologie di cui all'allegato 5 della DGR n. 8/7374/08, o in alternativa utilizzando lo spettro previsto dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore.

#### *Norme Geologiche di Piano per la Classe IV - Fattibilità con gravi limitazioni (rossa)*

L'alto rischio riconosciuto in questi settori di territorio pregiudica la fattibilità delle opere civili e più in generale di ogni modifica di destinazione d'uso del territorio.

Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non per opere tese al consolidamento o alla sistemazione idraulica ed idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti.

Questa classe IV raggruppa:

- a) le aree che ricadono negli ambiti ricadenti nella fascia A e B del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico ed in classe R4 di rischio idraulico così come definito per le aree di fascia C (PSFF-PAI) per il fiume Lambro
- b) le zone di tutela assoluta sia dei pozzi che dei corsi d'acqua; in tale aree sono interdette qualsiasi tipo di intervento ad esclusione di quelli di servizio all'opera stessa, per motivi grafici tali zone non sono state riportate graficamente sull'allegato cartografico e presentano una estensione di 10 m di raggio.
- c) gli ambiti di pertinenza delle teste di fontanili per una distanza di 50 m dall'orlo della testa e del primo tratto dell'asta di irrigazione, costituente fascia di tutela idrogeologica e ambientale

Per gli edifici esistenti ricadenti in classe 4 sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della LR 11 marzo 2005 n. 12, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo.

Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.



È fatto salvo quanto previsto per le infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, che possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e che dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione dello specifico fenomeno che determina la situazione di rischio.

Gli approfondimenti di 2° e 3° livello per la definizione delle azioni sismiche di progetto non devono essere eseguiti nelle aree classificate in classe di fattibilità 4, in quanto considerate inedificabili, fermo restando tutti gli obblighi derivanti dall'applicazione della normativa specifica.

Per le infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico eventualmente ammesse, la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del DM 14 gennaio 2008, definendo in ogni caso le azioni sismiche di progetto a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello.

**IV a)** Per i fabbricati e le aree ricadenti nella fascia A e B del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del fiume Po, si applicano le norme di cui alla Direttiva "Verifica di compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico in fascia A e B", Autorità di Bacino Fiume Po e le indicazioni sono di competenza della Autorità di Bacino stessa. Per gli ambiti ricadenti in classe di rischio idraulico 4 molto elevato (Fattibilità con gravi limitazioni, condizione di non compatibilità) sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture.

Per i fabbricati e nelle aree ricadenti nella classe di fattibilità 4a, ai sensi dell'articolo 39 del PAI, sono esclusivamente consentiti:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di cui all'articolo 31, lettere a), b) e c), della legge 457/78, ovvero manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, senza aumento di superficie o volume, salvo gli adeguamenti igienico-sanitari e quelli necessari per il rispetto delle norme di legge;
- la manutenzione, l'ampliamento o la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico riferiti a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture parimenti essenziali, purchè non concorrano ad incrementare il carico insediativo e non precludano la possibilità di attenuare o eliminare le cause che determinano le condizioni di rischio, e risultino essere comunque coerenti con la pianificazione degli interventi d'emergenza di protezione civile. I progetti relativi agli interventi ed alle realizzazioni di nuove opere pubbliche o di interesse pubblico, dovranno essere valutati



puntualmente dall'Amministrazione Comunale, a tal fine dovrà essere acquisito il parere obbligatorio dell'Autorità di Bacino del fiume Po e allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico e/o idraulico;

- gli interventi volti alla tutela ed alla salvaguardia degli edifici e dei manufatti vincolati ai sensi del D.Lgs. 29.10.1999 n.490, nonché quelli di valore storico – culturale così come classificati in strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale vigenti;
- gli interventi per la mitigazione del rischio idraulico;
- gli interventi di sistemazione idrogeologica dei terreni;
- per la residenza esistente al servizio dell'attività agricola è consentita la dismissione dei piani allagabili con il contestuale trasferimento degli stessi a quote di sicurezza. Non sono comunque consentiti usi che prevedano la presenza continuativa di persone.
- gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità con riferimento alle caratteristiche del fenomeno alluvionale atteso. Le sole opere consentite sono quelle rivolte al recupero strutturale dell'edificio o alla protezione dello stesso, è consentita la dismissione dei piani allagabili con il contestuale trasferimento degli stessi a quote di sicurezza.

Come previsto già da PTCP nei territori della fascia C è vietata la nuova localizzazione e/o l'ampliamento di industrie chimiche e petrolchimiche, discariche di RSU e assimilabili, discariche di rifiuti speciali e T/N, impianti di incenerimento e trattamento dei rifiuti.

**IV b)** Nella zona di tutela assoluta valgono le limitazioni d'uso di cui all'art. 94 (disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano) del D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 a salvaguardia delle opere di captazione.

**IV c)** Sono le aree di rispetto fluviale necessarie a consentire l'accessibilità al corso d'acqua ai fini della manutenzione, fruizione e riqualificazione ambientale. Considerata la presenza di fasce di protezione con finalità idrogeologiche e ambientali è vietata qualsiasi nuova opera edificatoria, ad eccezione di eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico solo se non altrimenti localizzabili, corredati da uno studio di compatibilità idraulica degli interventi. Sono consentiti gli interventi atti a favorire il deflusso delle acque. Per le opere infrastrutturali sono necessarie indagini geognostiche per la verifica delle condizioni geotecniche locali con valutazione di stabilità dei versanti di scavo, finalizzate alla progettazione delle opere e alla previsione delle opportune opere di protezione degli scavi o degli sbancamenti durante i lavori di cantiere. Ferma restando la necessità di



acquisire autorizzazione da parte dell’Autorità idraulica competente, ogni intervento che interessi direttamente l’alveo, incluse le sponde, dei corsi d’acqua del reticolo idrografico naturale e/o naturaliforme, di natura strutturale (modifica del corso), infrastrutturale (attraversamenti), idraulico-qualitativa (scarichi idrici), richiede necessariamente l’effettuazione di studi di compatibilità idraulica.

## 8. Cartografia

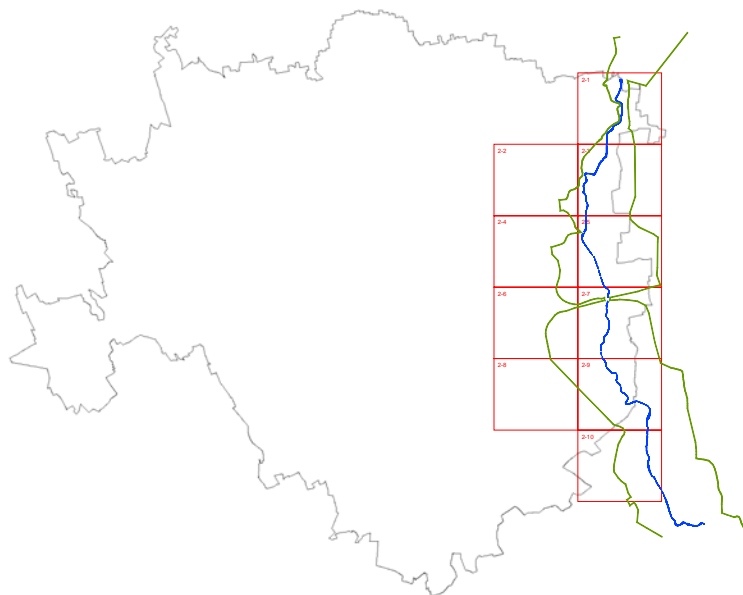
Si riassumono gli elaborati costituenti lo studio commissionato:

- n° 4 Carte geopedologiche con elementi geomorfologici di inquadramento alla scala 1:10.000 per l'intero territorio comunale. Le carte riportano, con colori differenti, le Unità litologiche presenti nel territorio comunale ricavate da carte ufficiali pubblicate, dalla letteratura scientifica o da sopralluoghi. Per ogni unità è riportato in legenda una breve descrizione (litologia, facies, caratteri peculiari evidenziati nell'area esaminata). Gli elementi geomorfologici indicati sono le forme di erosione e di accumulo presenti, interpretandone la genesi in funzione dei processi geomorfologici attuali e passati, stabilendone la sequenza cronologica (Fig. 8.1).
- n° 4 Carte idrogeologiche, con delimitazione delle fasce di rispetto dei pozzi pubblici e del sistema idrografico di inquadramento alla scala 1:10.000 per l'intero territorio comunale. Le carte forniscono l'indicazione dell'andamento della piezometria della falda più superficiale e degli acquiferi significativi desunta dalle misure più recenti e le aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile (aree di tutela assoluta e di rispetto) (Fig. 8.1).



*Figura 8.1-Quadro d'insieme carte in scala 1:10.000.*

- n° 10 Carte dei vincoli PAI per il fiume Lambro e sottoperimetrazione del rischio idraulico;



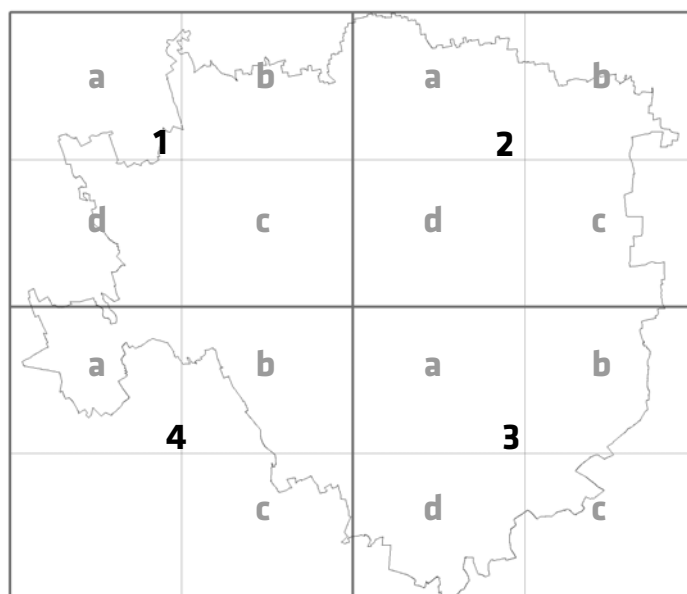
*Figura 8.2-Quadro d'insieme carte pericolosità idraulica Fiume Lambro..*

- n° 15 Carte dei vincoli alla scala di piano per l'intero territorio comunale. Le carte dei vincoli rappresentano le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore di contenuto prettamente geologico con particolare riferimento ai vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della l. 183/89 ( Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, Quadro del dissesto, ecc), Vincoli di polizia idraulica (fasce di rispetto individuate nello studio finalizzato all'individuazione del reticolo idrico minore), Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile (aree di tutela assoluta e di rispetto, ai sensi del d.lgs. 258/2000), Geositi (beni geologici già soggetti a forme di tutela) (Fig. 8.3).
- n° 15 Carte di sintesi alla scala di piano per l'intero territorio comunale. Le carte di sintesi redatte su tutto il territorio comunale contengono le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità riferita allo specifico fenomeno che la genera. Tali aree sono costituite da una serie di poligoni che definiscono porzioni di territorio caratterizzate da pericolosità geologico-geotecnica e vulnerabilità idraulica e idrogeologica omogenee. Gli ambiti di pericolosità/vulnerabilità considerati sono: aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico, aree vulnerabili dal punto di vista idraulico (Fig. 8.3).
- n° 15 Carte di fattibilità geologica alla scala di piano per l'intero territorio comunale. Le carte della fattibilità geologica per le azioni di piano, redatta alla stessa scala dello strumento





urbanistico, derivano dalle carte di sintesi e dalle carte dei vincoli (per gli ambiti ricadenti entro le fasce fluviali e le aree in dissesto PAI) attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono. Le carte di fattibilità forniscono le indicazioni sulle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio. Ad esse sono affiancate le Norme geologiche di Piano che riportano la rispettiva normativa d'uso (Fig. 8.3).



*Figura 8.3-Quadro d'insieme carte in scala 1:5.000.*

Milano, 26 ottobre 2009

Responsabili scientifici:

Prof.ssa Laura Scesi

Prof. Vincenzo Francani

Collaboratore:

dott. geol. Gabriele Bardazza



## 9. Bibliografia

- [1] AA.VV., *Aspetti idrogeologici dell'Est milanese e tutela del bacino dell'Idroscalo*, Provincia di Milano, 1985
- [2] R. Airoidi, P. Casati, *Le falde idriche del sottosuolo di Milano*, Ed. Comune di Milano, 1989
- [3] A. Armanini, *Principi di idraulica fluviale*, Ed. Bios, cosenza, 1999
- [4] F. Arredi, *Costruzioni idrauliche*, vol. 1, Ed. UTET, Torino, 1980
- [5] M. Avanzini, G.P. Beretta, V. Francani, *Il controllo della falda*, Costruzioni n°516, Ed. La Fiaccola, 1999
- [6] M. Avanzini, G.P. Beretta, V. Francani, M. Nespoli, *Recharge and groundwater availability of deep aquifers in Milano province (Italy)*, Atti del convegno internazionale "L'impatto delle attività industriali sulle risorse idriche sotterranee, 1996
- [7] M. Avanzini, G.P. Beretta, V. Francani, M. Nespoli, *Indagine preliminare sull'uso sostenibile delle falde profonde nella Provincia di Milano*, CAP Milano, 1995
- [8] F. Ballio, A. Bianchi, S. Franzetti, F. De Falco, M. Mancini, *Vulnerabilità idraulica di ponti fluviali*, Atti del XXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Catania, 9-12 settembre 1998
- [9] A. Cavallin, V. francani, S. Mazzarella S., *Studio idrogeologico della pianura compresa fra Adda e Ticino*, Costruzioni, n°32 (pp326), 1983
- [10] V.T. Chow, *Handbook of applied hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1964
- [11] V.T. Chow, *Open channel hydraulics*, McGraw-Hill, New York, 1959
- [12] D. Citrini, G. Nosedà, *Idraulica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1976
- [13] L. Da Deppo, C. Datei, *Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali*, Ed. Bios, 1994
- [14] L. Da Deppo, C. Datei, P. Salandin *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Ed. Libreria Cortina, Padova, 1994
- [15] ERSAL, *I suoli del Parco Agricolo Sud Milano*, Progetto Carta Pedologica, 1993
- [16] V. Ferro, *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2002
- [17] HEC-RAS, River Analysis System, *Hydraulic Reference Manual*, Version 3.0, January 2001, US Army Corps of Engineers, Institute for water resources, Hydrologic engineering center
- [18] HEC-RAS, River Analysis System, *User's Manual*, Version 3.0, January 2001, US Army Corps of Engineers, Institute for water resources, Hydrologic engineering center
- [19] O'Brien J., *Flo-2D Users Manual*, Version 2001.06, Marzo, 2002.
- [20] U. Maione, U. Moisello, *Elementi di statistica per l'idrologia*, Ed. La Goliardica Pavese, 1993
- [21] U. Maione, *Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, Pavia, 1977
- [22] U. Maione, A. Brath, *La difesa idraulica del territorio*, Ed. Bios, 1996
- [23] U. Maione, A. Brath, *La difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati*, Ed. Bios, 1997
- [24] B. Martinis B., R. Pozzi, A. Cavallin, M. Mancuso, *Indagine sugli acquiferi della Lombardia centro settentrionale*, Quaderni IRSA, 1976
- [25] B. Martinis B., E. Robba E., *Contributo alla stratigrafia dei depositi quaternari del sottosuolo di Milano*, Rivista italiana di paleontologia, 1978



- [26] J. A. Maza Alvarez, *Introduction to river engineering*, Università Italiana per stranieri, Advanced course on water resources management, Perugia, 1989
- [27] E. Nordio E., *Il sottosuolo di Milano*, Comune di Milano, Servizio Acqua Potabile, 1957
- [28] A. Paoletti, *Lezioni di idraulica fluviale*, Istituto di Idraulica del Politecnico di Milano
- [29] E. Piga, M. Salis, G. Passoni, *Analisi statistica delle piogge intense di breve e brevissima durata nell'area metropolitana di Milano*, CittàStudi, 1990
- [30] R. Pozzi, V. Francani, *Modalità di alimentazione dell'acquifero milanese*, Le strade, Ed. La Fiaccola, 1985
- [31] Provincia di Milano, Politecnico di Milano, *Le risorse idriche sotterranee della Provincia di Milano*, Vol. 1, Lineamenti idrogeologici, a cura dell'Assessorato all'Ambiente e DSTM Politecnico di Milano, 1995
- [32] Soil Conservation Service SCS, *Procedures for collecting soil samples and methods for analysis for soil survey*, Soil Survey Investigation report, n°1, USDA, 1982