



## Sommario

1	INTRODUZIONE.....	2
2	METODOLOGIA DI STUDIO.....	3
2.1	FOTOINTERPRETAZIONE.....	3
2.2	RILEVAMENTO.....	5
2.3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	8
2.3.1	Indagini pregresse.....	8
2.3.2	Indagini geognostiche 2010-2011.....	9
2.3.3	Indagini geognostiche 2017.....	9
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E PALEGEOGRAFICO.....	11
4	GEOMORFOLOGIA.....	17
4.1	INQUADRAMENTO GENERALE.....	17
4.2	RETICOLO IDROGRAFICO.....	17
4.3	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.).....	20
4.4	PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (P.T.C.P.).....	22
4.5	PIANO COORDINAMENTO GESTIONE RISCHI ALLUVIONI (P.G.R.A.).....	23
5	CENNI DI IDROGEOLOGIA.....	25
6	CARTOGRAFIE TEMATICHE E LEGENDE.....	27
6.1	GEOLOGIA.....	27
6.1.1	Redazione del profilo geologico longitudinale.....	27
6.2	GEOMORFOLOGIA.....	28
6.3	VINCOLI.....	29
7	LIQUEFAZIONE.....	31
8	ELEMENTI DI SISMICA GENERALE.....	32
8.1	SISMICITÀ STORICA (DAL 1000 AL 2014).....	32
8.2	SISMICITÀ RECENTE (DAL 1985 AL 2017).....	35
8.3	FAGLIE CAPACI.....	37
8.4	STRUTTURE SISMOGENETICHE.....	38
8.5	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	40
9	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO.....	43
9.1	DA KM 4+852.25 (INIZIO INTERVENTO) A KM 11+030 C.A.....	43
9.2	DA KM 11+030 C.A. A KM 13+050 C.A.....	43
9.3	DA KM 13+050 C.A. A KM 22+306.27 (FINE INTERVENTO).....	44
10	PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO.....	45

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda lo studio geologico-geomorfologico dell'area interessata dal progetto esecutivo di ampliamento alla quarta corsia del tratto dell'Autostrada A1 tra Milano Sud e Lodi.

Lo scopo della presente relazione consiste nell'illustrare gli elementi utili ad individuare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni interessati dall'ampliamento, pertanto si intende definire quanto segue:

- unità geologiche presenti, sulla base di una caratterizzazione litologica delle singole formazioni, che nel contempo tenga conto delle classificazioni litostratigrafiche e cronostatigrafiche convenzionali;
- assetto geomorfologico del territorio;
- schema idrogeologico generale, finalizzato ad esporre i dati disponibili relativamente alla falda più superficiale.

La morfologia pianeggiante che contraddistingue l'intera area di studio (con quote topografiche digradanti verso sud) impone l'adozione di una metodologia per la ricostruzione dell'assetto geologico - stratigrafico differente da quella normalmente impiegata per zone collinari o montane. Il rilevamento di superficie, infatti, fornisce elementi significativi solo nei rari punti in cui incisioni fluviali o scarpate antropiche (cave, sbancamenti per opere edili, etc.) mettono a nudo "spaccati stratigrafici", mentre assumono grande rilevanza le verticali di indagine eseguite in sito (sondaggi geognostici, pozzi per acqua, ecc.), che consentono una interpretazione dei depositi del sottosuolo al di sotto del terreno di coltivo o di riporto.

Gli elementi utilizzati per la redazione della carta geologica e del profilo geologico longitudinale all'asse di progetto sono stati ricavati essenzialmente dall'analisi critica dei dati bibliografici e dall'esame di tutte le stratigrafie (reperite da bibliografia e dai sondaggi appositamente realizzati).

La relazione contiene anche un capitolo di sismica generale, che inquadra il territorio anche dal punto di vista della sismicità.

Viceversa, la definizione dell'accelerazione sismica di riferimento, della quota di falda di progetto, delle interferenze fra infrastruttura e la falda idrica, la stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili, la definizione degli interventi di minimizzazione / stabilizzazione, la caratterizzazione delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico, i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere non sono argomenti oggetto della presente relazione geologico - geomorfologica. Qualora la progettazione delle opere in argomento e/o i vincoli territoriali implicassero la definizione dei tematismi sopra elencati, essi sarebbero sviluppati nell'ambito di specifiche relazioni ingegneristiche.

## 2 METODOLOGIA DI STUDIO

La prima fase del lavoro è consistita nel reperimento di tutti i dati disponibili presso vari Enti pubblici e di ogni altro dato disponibile ritenuto significativo per l'elaborazione di un modello concettuale dell'area. I dati di base utili all'inquadramento geologico e geomorfologico dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti:

- Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000: Foglio 45 – Milano; Foglio 59 – Pavia; Foglio 60 – Piacenza. Per l'area del progetto non è stata a oggi ancora pubblicata la nuova cartografia CARG (Carta geologica d'Italia 1: 50000) con distinzione delle unità in alloformazioni (anche se è stato recentemente presentato il foglio CARG 118 "Milano", adiacente all'area di intervento);
- Piani di Coordinamento Provinciale di Milano e di Lodi (PTCP);
- Documentazione inerente la pianificazione territoriale reperibile nei siti delle Province di Milano e Lodi;
- Documentazione relativa al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, tavole 139040-139080-140050-140090-140100 (accesso di novembre 2017 al sito web dell'AdB Po: <http://www.adbpo.it/>);
- Piano Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (P.G.R.A.) dell'AdB Po (accesso web novembre 2017 al GeoPortale della Regione Lombardia: <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>);
- Servizio di cartografia *online* GeoPortale della Regione Lombardia: <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>;
- Servizio di cartografia *online* GeoPortale della Provincia di Lodi: <http://cartografia.provincia.lodi.it/>;
- Piano cave Città Metropolitana di Milano (2006, con proroga di validità fino al 30/06/2019);
- Piano cave Provincia di Lodi (2004, con proroga di validità fino al 15/12/2020);
- P.G.T. dei Comuni interessati dall'area di progetto

Dopo aver recepito la documentazione disponibile si è proceduto con l'analisi fotointerpretativa, seguita da apposito rilevamento geologico-geomorfologico in sito; per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo sono stati analizzati i seguenti documenti:

- Campagna d'indagine geognostica appositamente realizzata per il progetto esecutivo della tratta in oggetto;
- Campagna d'indagine geognostica appositamente realizzata per il progetto definitivo della tratta in oggetto;
- Campagne d'indagini geognostiche di precedenti progetti inerenti la tratta d'interesse;
- Campagne di indagini geognostiche eseguite da CEPAV UNO per la progettazione della Linea ad Alta Velocità tra Milano e Bologna;
- Campagne di indagini geognostiche eseguite per la progettazione definitiva ed esecutiva della Tangenziale Est Esterna di Milano (TEEM);
- Stratigrafie di pozzi fornite da ARPA (Dipartimento di Milano e Dipartimento di Lodi).

### 2.1 FOTOINTERPRETAZIONE

Per un più accurato riconoscimento dei tratti geomorfologici a grande scala, altrimenti non rilevabili date le deboli variazioni altimetriche dell'area ed il consistente sviluppo degli insediamenti antropici, si è fatto ricorso all'interpretazione di foto aeree scattate lungo una fascia di circa 2 km a cavallo del tracciato in progetto. La

fotointerpretazione è stata effettuata su 135 fotogrammi di un volo appositamente realizzato lungo il tracciato da BLOM – Compagnia Generale Ripreseeree S.p.A. di Parma. Le riprese del volo con restituzione di dettaglio (scala 1:4.000 circa) sono del 9 febbraio 2009 e sono raggruppate in 6 strisciate realizzate da una quota di 780 m s.l.m. con camera *Wild RC30* avente distanza focale di 153,28 mm. Nella tabella sottostante sono elencate le strisciate ed i relativi fotogrammi utilizzati per la fotointerpretazione e nella figura seguente lo schema delle strisciate rispetto al tracciato.

Strisciata	Fotogrammi	
	da	a
1	1084	1115
2	2013	2041
3	1065	1082
4	1038	1063
5	1013	1028
6	2046	2059

Tab.1 - Elenco dei fotogrammi utilizzati per la fotointerpretazione.

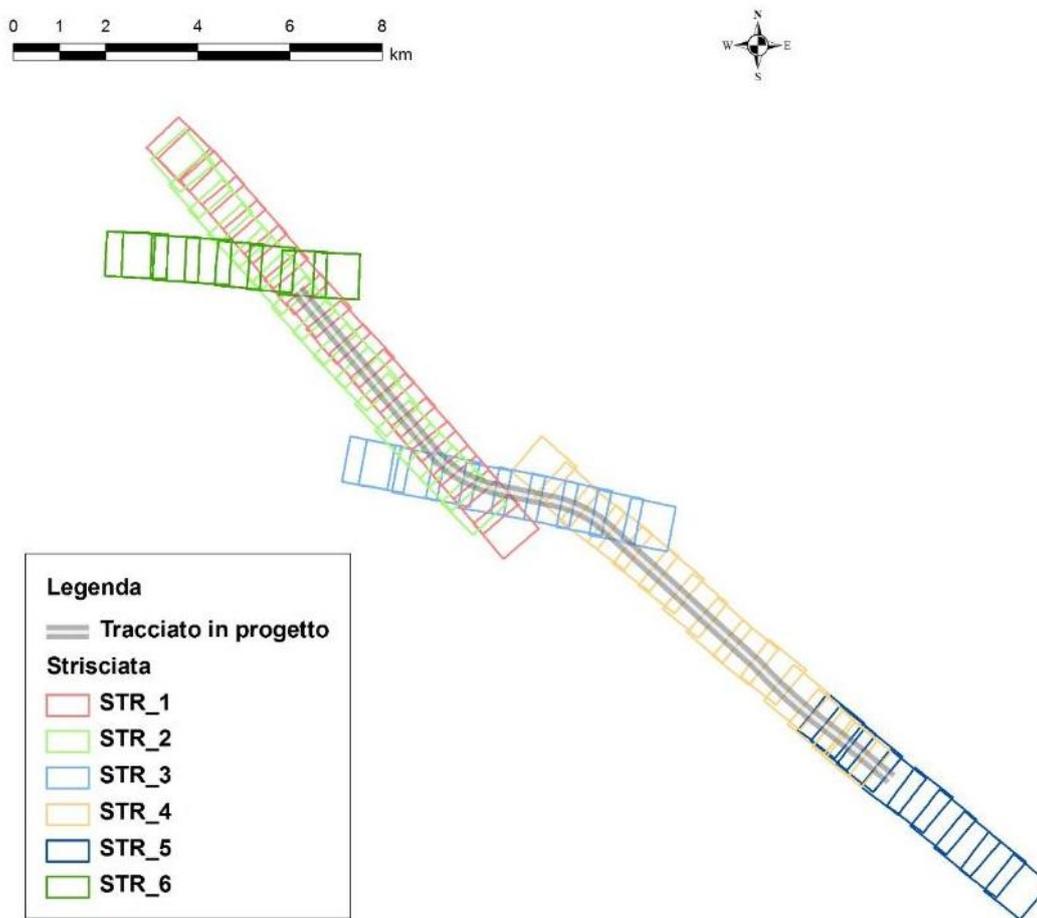


Fig. 3 - Schema delle strisciate utilizzate per la fotointerpretazione con evidenziato il tracciato del tratto Milano Sud-Lodi dell'autostrada A1.

Le osservazioni derivanti dalla fotointerpretazione integrate con quelle di campagna sono sintetizzate nella carta geomorfologica allegata al presente progetto.

## 2.2 RILEVAMENTO

Al fine di identificare le caratteristiche dei depositi afferenti la tratta in oggetto, di verificare e contestualizzare le forme individuate per mezzo della fotointerpretazione e di osservare gli elementi geomorfologici a media scala, che non sarebbero apprezzabili dall'analisi delle foto aeree, è stata condotta una campagna di rilevamento geologico – geomorfologico in sito.

L'estrema antropizzazione dell'area indagata ha alterato le morfologie originarie in questo tratto di pianura, rendendo molto difficoltosa l'individuazione delle forme ed in particolar modo delle discontinuità morfologiche, che rappresentano uno degli elementi chiave del rilevamento geomorfologico in pianura.

L'elemento geomorfologico più evidente è costituito dai terrazzi di erosione fluviale legati al F. Lambro che, come evidenziato nella figura sottostante, sono delimitati da scarpate asimmetriche, difatti le superfici terrazzate giacciono a quote diverse (in destra orografica sono a quote più alte di circa 5 m rispetto a quelle in sinistra orografica).



Fig. 4 - Superfici terrazzate poste a diversa quota a valle del ponte sul F. Lambro.

Altri elementi che hanno modificato sostanzialmente la morfologia originaria del terreno sono le ex cave, che sono reinserite nel paesaggio, essendo per la maggior parte occupate da colture. Questi elementi antropici presentano talvolta scarpate di altezza rilevante che raggiungono anche 7÷8 m.



*Fig. 5 - Ex cava in Località C.na Ghione a Salerano sul Lambro.*

Il rilevamento in sito ha permesso di confermare la presenza di un paleo alveo collocato nella porzione più meridionale dell'area di studio ed attualmente percorso dal Cavo Sillaro.

La figura sottostante evidenzia la modesta scarpata che delimita il paleoalveo (altezza circa 1 m).

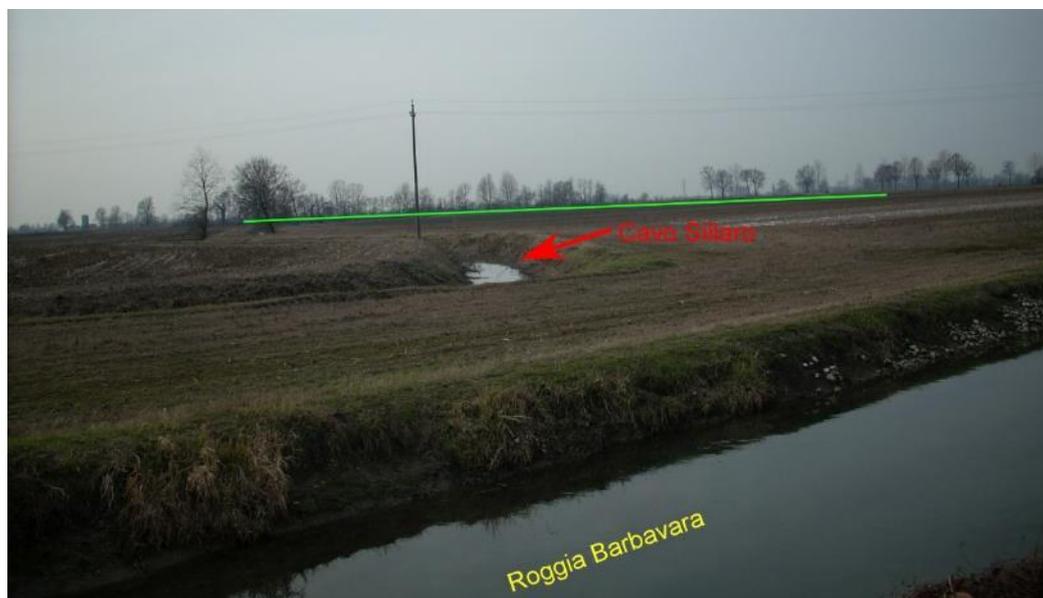


Fig. 6 - Cavo Sillaro e Roggia Barbavara a Borgo San Giovanni. La linea verde evidenzia la modesta scarpata del paleoalveo percorso dal Cavo Sillaro.

## 2.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di ricostruire la stratigrafia e le caratteristiche dei terreni presenti nel sottosuolo in una zona pianeggiante e priva di affioramenti come quella del progetto, è risultato indispensabile utilizzare in maniera massiccia i dati provenienti dai sondaggi geognostici e dai pozzi.

### 2.3.1 Indagini pregresse

Si è provveduto a reperire tutti i dati disponibili/indagini pregresse presso privati o società (indagini realizzate all'interno dell'area di interesse) e presso Enti quali ARPA e Regione Lombardia (indagini realizzate in un areale ben più ampio dell'area di interesse):

Committente/Ente	Progetto	Anno	N. e tipo di indagine
Società italiana per le strade ferrate del Mediterraneo	Autostrada Milano – Roma – Napoli 2° Lotto	-	9 sondaggi
Autostrade S.p.A.	Barriera Milano Sud	1979	7 sondaggi + 3 CPT
Autostrade S.p.A.	Ampliamento III corsia – tratto Milano-Piacenza Sud	1987	9 pozzetti (eseguiti in sede stradale)
CEPAV UNO	Sistema A.V. – Tratta Milano-Bologna	1992	38 sondaggi + 60 CPT
Spea S.p.A.	Tangenziale Est Esterna di Milano	2003	1 sondaggio
Autostrade S.p.A.	Area di Servizio S. Zenone Ovest	2004	38 sondaggi
Autostrade S.p.A.	Area di Servizio S. Zenone Est	2006	7 sondaggi
Enti pubblici (ARPA Milano e Lodi, altro)	-	-	113 pozzi con stratigrafia
CTE	PD Tangenziale Est Esterna di Milano	2009	16 sondaggi + 5 pozzetti + 4DPSH
TE	PE Tangenziale Est Esterna di Milano	2012	7 sondaggi + 3 pozzetti
Spea S.p.A.	Monitoraggio Ambientale Tangenziale Est Esterna di Milano	-	6 sondaggi (anche riperforati nel tempo per ripristinare la funzionalità della strumentazione piezometrica)

*Tab.2 – Tabella riassuntiva indagini geognostiche pregresse.*

La documentazione bibliografica consiste, specialmente per la documentazione più datata, in stratigrafie di difficile interpretazione, in quanto derivate da perforazioni realizzate frequentemente a distruzione di nucleo (ricostruzione granulometrica deriva da analisi di cutting e fanghi), e le descrizioni del materiale sono risultate sommarie, soprattutto per quanto attiene agli strati più superficiali e significativi ai fini della progettazione

geotecnica, o prive di quegli elementi indispensabili per una inequivocabile attribuzione alle unità geologiche (fuso granulometrico, colore ed alterazione dei granuli); inoltre, spesso non sono corredate da prove geotecniche (SPT, prove di permeabilità, etc.).

Per quanto riguarda le indagini fornite da CEPAV UNO, invece, la documentazione appare più completa ma, per la tratta iniziale, i sondaggi risultano molto distanti dal tracciato dell'A1 (oltre 700 m in prossimità del Fiume Lambro).

Tutte le ubicazioni delle indagini geognostiche pregresse e dei pozzi ARPA sono state riportate negli elaborati cartografici in scala 1:5000 utilizzando simbologia differente in relazione alla tipologia di indagine.

### 2.3.2 Indagini geognostiche 2010-2011

Ai fini della ricostruzione geologica e geotecnica della tratta in oggetto è stata realizzata una apposita campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) che viene di seguito sintetizzata:

- n. 17 sondaggi geognostici verticali (MLxx) di cui 14 eseguiti a carotaggio continuo e 3 a distruzione di nucleo, spinti a profondità fino a 45 m, con esecuzione di prove in foro tipo SPT e Lefranc, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati; i sondaggi sono stati completati mediante installazione di tubi piezometrici e/o di celle tipo Casagrande. Sono stati messi in opera anche le tubazioni in PVC per la realizzazione delle prove sismiche Cross Hole;
- n. 14 pozzetti esplorativi superficiali (PZ-MLxx) spinti a profondità fino a 4,2 m da p.c., con esecuzione di prove di carico su piastra, prove di densità e prelievo di campioni rimaneggiati ed ambientali;
- n. 5 prove penetrometriche dinamiche (DPSH-MLxx) spinte a profondità fino a 25,2 m da p.c. delle quali n. 2 prove sono state eseguite all'interno del rilevato autostradale;
- n. 2 prospezioni sismiche di tipo Cross Hole;
- n. 1 prospezione sismica di superficie di tipo MASW;
- Prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi: si è trattato di prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti), prove meccaniche (triassiali, edometri e tagli) e prove meccaniche dinamiche (colonna risonante);
- Prove di stabilizzazione a cemento su campioni di grosso volume prelevati in pozzetti superficiali.
- Prove ambientali (analisi chimiche di laboratorio) su campioni di terreno prelevati in pozzetti superficiali.

Le indagini geognostiche sono state eseguite, come previsto dalla norma vigente, sulla base di un progetto redatto in maniera multidisciplinare dalla figure indicate qui di seguito: dal geologo responsabile dell'ufficio geologia (GEO) per quanto riguarda la componente geologica; dall'ingegnere responsabile dell'ufficio opere all'aperto (APE) per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica delle terre; dall'ingegnere responsabile dell'ufficio idraulica (IDR) per quanto riguarda l'idrologia sotterranea e dall'ingegnere responsabile del monitoraggio ambientale (MAM) per quanto riguarda la caratterizzazione chimica delle acque e delle terre da scavo.

### 2.3.3 Indagini geognostiche 2017

Ai fini di un'ulteriore affinamento della ricostruzione geologica e della caratterizzazione geotecnica della tratta in oggetto è stata realizzata una apposita campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) che viene di seguito sintetizzata:

- n. 3 sondaggi geognostici verticali (SEx) eseguiti a carotaggio continuo, spinti a profondità fino a 35 m, con esecuzione di prove in foro tipo SPT e Lefranc, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati; i sondaggi sono stati completati mediante installazione di tubi piezometrici e/o di celle tipo Casagrande;
- n. 9 pozzetti esplorativi superficiali (PZEx) spinti a profondità fino a 4m da p.c., con esecuzione di prove di carico su piastra, prove di densità e prelievo di campioni rimaneggiati;

- Prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi: si è trattato di prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti), prove meccaniche (edometri e tagli);
- Prove di stabilizzazione a cemento su campioni di grosso volume prelevato nel pozzetto superficiale PZE5.

Le indagini geognostiche sono state eseguite, come previsto dalla norma vigente, sulla base di un progetto redatto in maniera multidisciplinare dalla figure indicate qui di seguito: dal geologo responsabile dell'ufficio geologia (GEO) per quanto riguarda la componente geologica; dall'ingegnere responsabile dell'ufficio opere all'aperto (APE) per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica delle terre; dall'ingegnere responsabile dell'ufficio idraulica (IDR) per quanto riguarda l'idrologia sotterranea e dall'ingegnere responsabile del monitoraggio ambientale (MAM) per quanto riguarda la caratterizzazione chimica delle acque e delle terre da scavo.

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E PALEGEOGRAFICO

Dal punto di vista geologico l'area del progetto è costituita da depositi quaternari di età compresa tra il Pleistocene superiore e l'Attuale.

L'assetto dei terreni è guidato dagli eventi geologici che si sono succeduti dal Miocene superiore fino al Quaternario, con la deposizione, al di sopra del substrato lapideo pre - pliocenico, di sedimenti dapprima marini e poi prevalentemente di tipo transizionale e continentale (depositi fluviali, glaciali e subordinatamente lacustri e palustri).

In seguito all'innalzamento ed emersione della catena alpina, con l'aumento dell'azione erosiva sulla terraferma, la depressione pedemontana venne ricoperta da potenti coltri ghiaiose, localmente cementate che costituiscono il "Ceppo lombardo".

Durante il Pleistocene la fascia Alpina e la Pianura Padana vengono interessate da episodi glaciali, convenzionalmente raggruppati in cinque fasi Danau, Gunz, Mindel, Riss, Würm, delle quali solo le ultime tre sono presenti in Lombardia. L'enorme quantità di materiali trasportata dai ghiacciai e dalle acque di fusione, riempì le depressioni vallive, colmandole fino al livello del ripiano più elevato della pianura terrazzata. La deposizione di una vasta coltre di sedimenti glaciali nelle aree pedemontane costituì i primi anfiteatri morenici mentre nella media e bassa pianura si formarono depositi fluvioglaciali.

La massima espansione dei ghiacciai nell'area Prealpina, si ebbe durante il Mindel, tant'è che le cerchie moreniche del Mindel sono le più sviluppate ed estese, mentre le morene del Riss e del Würm sono più interne e meno estese.

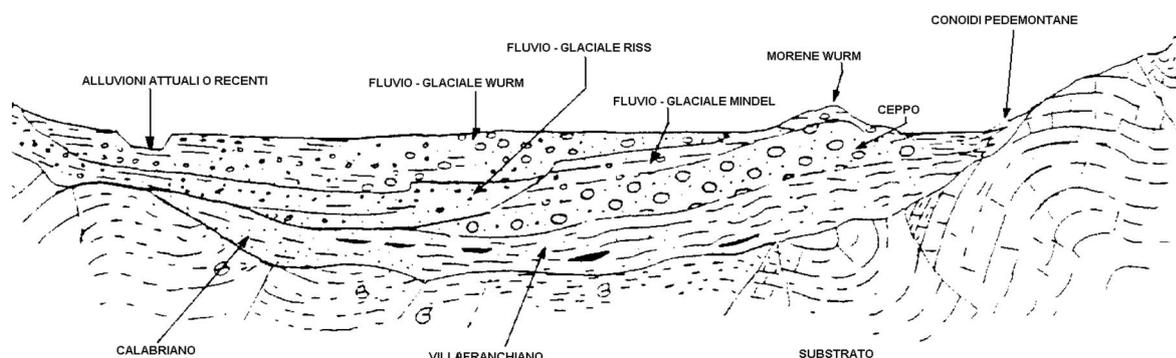


Fig. 1 - Schema stratigrafico di sintesi riferibile alla Pianura Padana

Il susseguirsi di periodi con climi sensibilmente differenti ha determinato cicli di avanzata e di ritiro dei ghiacciai alpini, con relative fasi deposizionali e fasi erosive, e la conseguente formazione di depositi glaciali e fluvioglaciali.

Durante le fasi interglaciali si assiste all'erosione dei depositi accumulatisi da parte di corsi d'acqua ed alla conseguente creazione di una serie di terrazzi, sui quali si rinvengono i tipici depositi eolici di clima arido (loess): attualmente i sistemi di terrazzi occupano la porzione media e alta della pianura, ai piedi degli anfiteatri morenici.

Studi più recenti hanno permesso di riconoscere, all'interno delle glaciazioni principali, ulteriori cicli di clima caldo/freddo, che si sovrappongono alle classiche suddivisioni in Mindel - Riss - Würm (individuate in zone a nord delle Alpi) e permettono il riconoscimento di periodi glaciali di valenza locale.

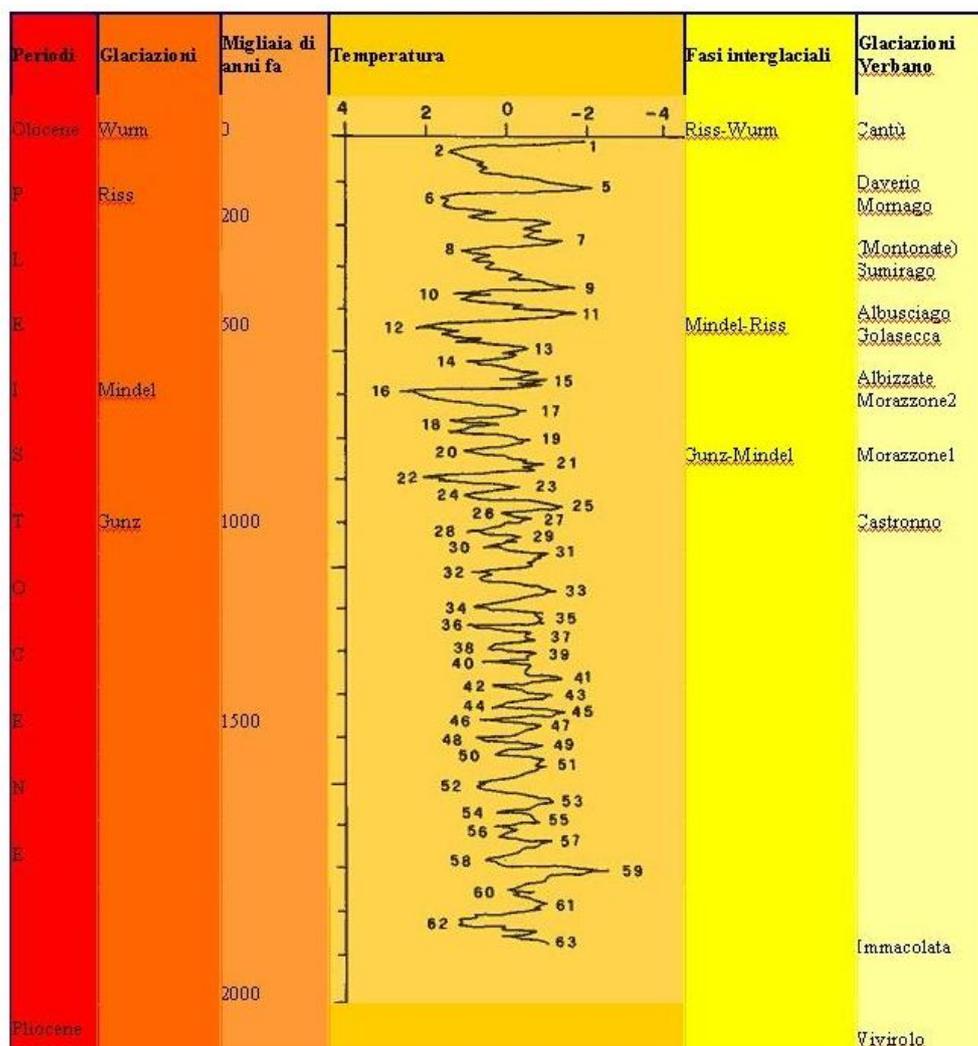


Fig. 2 - Fasi glaciali e interglaciali

Dal Pleistocene superiore all'Olocene, per via del lento innalzamento dell'alta pianura, vengono messe a giorno le unità più antiche nei settori settentrionali; il conseguente smantellamento della catena porta alla deposizione di alluvioni.

La successione stratigrafica può essere così schematizzata, procedendo dal basso verso l'alto:

Substrato roccioso (pre - pliocenico): costituito da Formazioni di varie età, non è mai affiorante nell'area in esame.

Argille sotto il Ceppo (Unità Villafranchiana): sono costituite in prevalenza da materiali fini – argille varvate, argille e sabbie fossilifere, sabbie con strutture incrociate, depositi lacustri e torbe - Rappresentano la testimonianza della regressione marina del Villafranchiano. Gli strati più profondi sono costituiti da argille di origine marina a cui si sovrappongono sedimenti sabbioso - argillosi di facies transizionale e continentale, costituiti da argille con lenti di sabbia. Questi depositi non si rinvennero nell'area di studio.

Ceppo: si tratta di arenarie e conglomerati sovente passanti a ghiaie e sabbie per diminuzione del grado di cementazione. Questi depositi non si rinvennero nell'area di studio.

Fluvioglaciale Mindel: depositi costituiti da ciottoli ben arrotondati immersi in una matrice sabbioso argillosa con colore giallo – rossiccio, caratterizzati da un'alterazione superficiale di colore rosso nota come "Ferretto"

e spessa fino a 2÷3 m. Affiorano a nord-ovest dell'area d'interesse. Questi depositi non si rinvennero nell'area di studio.

Fluvioglaciale Riss: depositi costituiti da ciottoli ben arrotondati con ghiaie, immersi in una matrice sabbiosa giallo - ocra. Hanno anch'essi un'alterazione superficiale di colore rossiccio simile al "Ferretto"; questo fluvioglaciale risulta localmente coperto da loess. Affiorano a nord-ovest dell'area d'interesse.

Fluvioglaciale e fluviale Wurm: sono i depositi connessi al fluvio-glaciale dell'ultima glaciazione quaternaria. Sono formati da ghiaie e sabbie prevalenti con scarsi livelli argillosi e costituiscono il cosiddetto "livello principale della Pianura Padana" o "Diluvium recente". La granulometria di questa unità diminuisce genericamente da nord a sud, passando da termini più grossolani (ghiaie prevalenti) a termini più fini (sabbie prevalenti) con passaggio per lo più graduale; all'interno di questi depositi sono presenti estese lenti ed orizzonti limoso - sabbiosi e limoso - argillosi. Tali depositi si rinvennero sulla totalità dell'area oggetto di studio.

All'interno delle scarpate fluviali del Fiume Lambro affiorano *depositi alluvionali recenti e attuali* (Olocene), con una distribuzione altimetrica in diversi livelli che dall'alveo attuale si raccordano alla piana principale. Si tratta di depositi prevalentemente grossolani, costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti, con presenza di sabbie, limi e argille in lenti più o meno allungate, legate alle divagazioni dei corsi d'acqua.

**Publicazioni recenti:**

Secondo i più recenti orientamenti, introdotti con gli studi condotti nell'ambito del rilevamento e della pubblicazione del foglio CARG 118 – Milano (che non comprende l'area di intervento ma risulta adiacente ad essa), il tradizionale schema stratigrafico di riferimento della pianura lombarda è stato revisionato introducendo nuove unità stratigrafiche di tipo UBSU (Unconformity Bounded Stratigraphic Units), delimitate da superfici di non conformità prodotte da fasi deformative di importanza regionale. L'andamento spaziale delle superfici di separazione delle diverse unità consente di definirne la geometria e la morfologia in cui si riconoscono due direzioni prevalenti di progradazione dei corpi sedimentari: una assiale con vergenza ad est originata dal paleo-delta del Po ed una trasversale con vergenza a sud-est prodotta dai sistemi deltizi ad alimentazione alpina. Nel sottosuolo della pianura lombarda si individuano in particolare due principali superfici di discontinuità a scala regionale che separano tre unità stratigrafiche di nuova istituzione denominate, dal basso verso l'alto, Supersintema Padano, Supersintema Lombardo Inferiore e Supersintema Lombardo Superiore, nel complesso riferibili all'intervallo cronologico Calabriano÷Olocene.

Successione pre Calabriana

Nelle fasi iniziali di riempimento del bacino lombardo si assiste alla deposizione di depositi torbiditici arenaceo-pelitici e conglomeratici di età oligo-miocenica, riferibili al Gruppo della Gonfolite Lombarda (Chattiano-Aquitano) ed alle formazioni della Marne di Gallare (Burdigalliano-Tortoniano), troncate a tetto dalla superficie di inconformità tortoniana, su cui si deposita il corpo grossolano ghiaioso-sabbioso della Formazione di Sergnano (Messiniano) a sua volta troncato dalla superficie di inconformità intrazancleana. Su questa superficie si depositano successioni pelitiche plioceniche che sigillano una articolata paleomorfologia, con evidenti zone di alto strutturale separate da incisioni anche molto marcate, identificate come Argille del Santerno (Zancleano p.p. ÷ Piacenziano) nella nomenclatura classica ENI o Argille Azzurre, costituite da prevalenti argille marnose al cui interno si intercalano locali livelli sabbioso-ghiaiosi di esiguo spessore e saturati da acqua salata, interpretabili come porzioni distali di conoidi sottomarine alimentate dal margine sudalpino.

Al di sopra delle peliti plioceniche si rinviene una potente successione costituita da depositi prevalentemente sabbiosi, di piattaforma e transizionali con intercalazioni argillose e sottili livelli di ghiaie, caratterizzato dalla presenza di fossili marini bentonici e cronologicamente riferibili all'intervallo Gelasiano ÷ Calabriano p.p.. Le sabbie corrispondono alla porzione inferiore del corpo sedimentario indicato come Sabbie di Asti nella nomenclatura classica ENI, e alla unità PLMa del progetto GeoMol (ISPRA 2015) troncata alla sommità da una superficie di inconformità datata a circa 1,5 Ma (Calabriano). Nel complesso la successione, che registra il progressivo colmamento del mare pliocenico padano, presenta carattere regressivo, passando da depositi marini a depositi marino-marginali e transizionali che preludono all'instaurarsi di condizioni francamente continentali nel Calabriano.

### Supersintema Padano

L'unità è delimitata alla base da una superficie di inconformità datata a circa 1,5 Ma (Calabriano), mentre a tetto è delimitata da una superficie di inconformità datata a circa 0,87 Ma (Calabriano)

La porzione sommitale dell'unità è costituita da cicli di spessore plurimetrico, costituiti prevalentemente da sabbie, da fini-molto fini a medie, sabbie limose, limi ed argille, talora contenenti livelli ricchi di materiale organico, con locali intercalazioni di corpi più grossolani, ghiaiosi e sabbiosi, localmente cementati, complessivamente riferibili ad un ambiente di piana alluvionale a meandri. Nell'ambito di tale sequenza deposizionale si osservano cicli fining-upward costituiti da sabbie medie e fini, sia massive che laminate, limi e limi-argillosi, interpretabili come depositi di canale fluviale, talvolta passanti a depositi di abbandono di canale, e come depositi di canale-argine, corpi di spessore metrico costituiti da sabbie medie e fini, localmente grossolane, spesso amalgamati tra loro ed interpretati come depositi di canale fluviale e, localmente, da depositi fini (limi sabbiosi, sabbie fini limose e limi) di canale-argine e limi argillosi di piana alluvionale. Nei settori meridionali della pianura si assiste ad una deposizione nel complesso più fine con prevalenza di limi ed argille con livelli pluricentimetrici di materiale organico, attribuibili ad un ambiente di piana alluvionale, con intercalati corpi sabbiosi a granulometria fine e media a base netta, passanti a limi ed argille, interpretabili come depositi di rotta fluviale. Nelle porzioni settentrionali al di sotto delle facies di piana alluvionale e di piana a meandri, sono riconoscibili sequenze cicliche di ghiaie ben classate di ambiente transizionale (depositi di delta e deltaconoide), talora fossilifere, alternate a limi fossiliferi marini.

La porzione inferiore dell'unità è caratterizzata da depositi prevalentemente sabbiosi con qualche intercalazione argillosa e alcuni livelli di spessore metrico di ghiaie, attribuiti alla porzione superiore delle Sabbie di Asti, unità di ambiente marino o marino-marginale, come testimoniato dal loro contenuto in fossili prevalentemente bentonici; il passaggio da depositi transizionali a depositi continentali, evidenziato dalla comparsa di depositi progressivamente più grossolani caratterizzati da alternanze di ghiaie e sabbie, con intercalazioni di argille o limi e livelli di torba, senza tracce evidenti di fossili, avviene a cavallo di una superficie di inconformità databile a circa 1,25 Ma e coincidente con la base del Gruppo Acquifero C. La morfologia dei depositi marini o marino-marginali sabbiosi riferibili alle Sabbie di Asti riflette la paleomorfologia della linea di costa del bacino pliocenico padano.

In particolare le sequenze deposizionali di piana alluvionale con fiumi a meandri (Unità 2 dello schema litocronostratigrafico di Scardia e Muttoni - 2008) verso est passano lateralmente a sequenze marino-transizionali caratterizzate da successioni cicliche di limi fossiliferi e sabbie fini bioturbate di ambiente marino, alternate a sabbie medie o grossolane laminate di ambiente transizionale (Unità 1 dello schema litocronostratigrafico di Scardia e Muttoni - 2008). Questi ciclotemi, che verso l'alta pianura passano a ghiaie ben classate con ciottoli appiattiti e Ostreidi alternate ai limi marini, sono interpretabili come l'effetto della progradazione ciclica di delta e delta-conoidi su una piattaforma terrigena di mare basso. È possibile che tale ciclicità sedimentaria sia stata controllata dalle fluttuazioni glacio-eustatiche del livello del mare (Scardia et al. 2006).

Le sequenze prevalentemente limose fossilifere contenenti faune marine associate a sporadici livelli sabbiosi di spessore generalmente esiguo attribuite al Calabriano, venivano tradizionalmente indicate come Unità Argillosa o Litozona Argillosa.

Uno schema dei rapporti litocronostratigrafici della pianura lombarda è riportato di seguito.

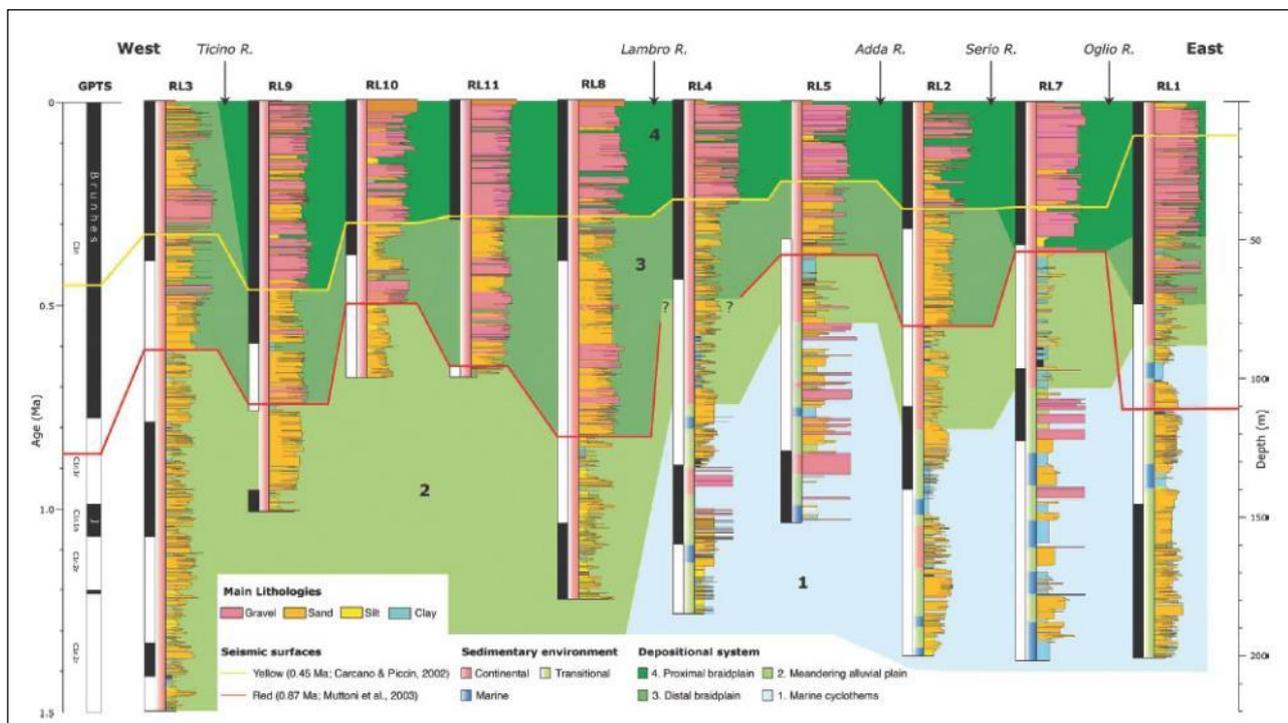


Fig. 3 - Schema litocronostratigrafico (da Scardia e Muttoni, 2008)

Nel complesso quindi il Supersistema Padano, il cui spessore è pari mediamente a circa 430 m, è caratterizzato alla base da depositi marino-marginali (piattaforma interna e costieri) che evolvono verso l'alto e verso ovest a depositi transizionali (delta, delta-conoide e lagunari) fino a francamente continentali (piana alluvionale).

Supersistema Lombardo Inferiore -Li

L'unità è delimitata alla base da una superficie di inconformità datata a circa 0,87 Ma (Calabriano), caratterizzata da una significativa variazione sedimentologica rispetto alla sottostante unità PD, correlata con l'instaurarsi delle glaciazioni pleistoceniche; è delimitata al tetto da una superficie di inconformità databile a 0,45 Ma (Pleistocene medio).

I depositi di tale unità sono costituiti da spessi corpi di sabbie medie e grossolane, subordinatamente fini, e ghiaie medie e grossolane, talora con ciottoli, localmente cementati ("Ceppo" Auct.p.p.). I livelli sabbiosi sono generalmente massivi, talora laminati, con frequente presenza di ciottoli. Si riconoscono a luoghi grossolane ciclicità fining-upward, talora amalgamate; i livelli pelitici (limi, limi argillosi ed argille limose), generalmente di ridotto spessore, mostrano comunque una certa continuità laterale. Localmente sono segnalati livelli di argille di colore rossastro, attribuibili a paleosuoli.

L'ambiente deposizionale è interpretabile come piana alluvionale; data la presenza significativa di granulometrie sabbiose, tenuto conto del contesto sedimentario di questo settore di bacino, con una elevata disponibilità di materiali grossolani provenienti dagli anfiteatri glaciali presenti al margine sudalpino, e della relativa organizzazione latero-verticale dei sedimenti, si ritiene che l'ambiente deposizionale sia riferibile ad una piana alluvionale braided relativamente distale (Unità 3 dello schema litocronostratigrafico di Scardia e Muttoni - 2008); i corpi sabbioso-ghiaiosi sono riferibili a depositi di canale fluviale di energia medio alta, deposti in un contesto di piana alluvionale caratterizzata dalla brusca divagazione dei canali stessi; le porzioni più fini sono riferibili invece a depositi di piana inondabile o a cicli di abbandono dei canali fluviali.

L'unità comprende verosimilmente, seppur in assenza di elementi di correlazione certi, l'unità di superficie costituita dal Supersistema del Bozzente, cronologicamente riferibile al Pleistocene medio.

Nel complesso l'unità ha uno spessore medio di circa 80 m ed è cronologicamente riferibile all'intervallo Calabriano ÷ Pleistocene medio.

### *Supersintema Lombardo Superiore – LS*

L'unità è delimitata alla base da una superficie di inconformità databile a 0,45 Ma (Pleistocene medio).

L'unità è caratterizzata dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequente presenza di ciottoli, spesso mal selezionate, localmente cementate, in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane e sabbie ghiaiose. Le ghiaie sono prevalentemente clast-supported, grossolanamente stratificate, passanti localmente a sabbie ghiaioso ciottolose interpretabili come sequenze amalgamate o incomplete di cicli fining-upward. Litologie fini (limi e limi argillosi) sono talora presenti, ma con ridotta continuità laterale. La scarsità di livelli sabbiosi e di successioni fining-upward ben definite sembra testimoniare la presenza di frequenti fenomeni di erosione in un ambiente fluviale di alta energia, riferibile ad un ambiente deposizionale di piana alluvionale fluvioglaciale, di tipo braided prossimale (Unità 4 dello schema litocronostratigrafico di Scardia e Muttoni - 2008).

L'unità comprende verosimilmente le unità di superficie costituite dal Sintema di Binago (Pleistocene medio), dal Supersintema di Besnate (Pleistocene medio ÷ Pleistocene superiore), dal Sintema di Cantù (Pleistocene superiore) e dal Subsintema di Ronchetto delle Rane (Pleistocene superiore), dal Supersintema di Vengono (Pleistocene medio ÷ Pleistocene superiore) e dal Sintema del Po (Pleistocene superiore ÷ Olocene).

Nel complesso l'unità ha uno spessore medio di circa 60 m ed è cronologicamente riferibile all'intervallo Pleistocene medio ÷ Olocene.

## 4 GEOMORFOLOGIA

### 4.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Il territorio della Provincia di Milano viene tradizionalmente suddiviso in tre zone geomorfologiche:

- zona delle cerchie moreniche;
- zona dei terrazzi ferrettizzati;
- zona della media e bassa pianura diluviale e alluvionale.

Il primo è costituito dalle propaggini degli anfiteatri morenici dell'Adda e del Ticino ed occupa i territori più settentrionali e più elevati dal punto di vista altimetrico.

L'alta pianura terrazzata rappresenta invece una zona morfologica molto estesa compresa tra le pendici degli archi morenici fino all'incirca all'altezza del canale Villoresi.

La terza zona, ancor più vasta, è costituita dalla piana che degrada uniformemente verso Sud e che è solcata dalle incisioni fluviali dei fiumi Lambro e Ticino.

L'assetto geomorfologico dell'area in esame è quello tipico di una piana alluvionale, l'altimetria è modesta (70÷100 m s.l.m.) e la superficie topografica degrada debolmente verso il Fiume Lambro, che rappresenta il corso d'acqua principale. Il territorio è caratterizzato dalla presenza di terrazzi alluvionali che si manifestano con una serie di gradini morfologici abbastanza evidenti e dalle incisioni del Lambro e dei suoi affluenti.

I principali processi e le forme che interessano il territorio della pianura milanese meridionale sono:

- forme e processi legati all'azione delle acque e riferibili alla dinamica fluviale del Fiume Lambro e dei suoi principali affluenti. Tali processi sono accentuati dal regime idraulico irregolare, caratterizzato dall'alternanza di periodi di magra e periodi di piena;
- forme e processi legati all'azione antropica, che funge sia da agente stabilizzante (es. sistemazioni, regimazioni), sia da fattore destabilizzante (es. escavazioni).

### 4.2 RETICOLO IDROGRAFICO

#### Fiume Lambro

Il Fiume Lambro ha origine all'interno del territorio comunale di Magreglio (CO), nella zona compresa fra i due rami del Lago di Como. Dopo un tratto che termina nel Lago di Pusiano, inizia la discesa verso la pianura urbanizzata della Brianza, confluendo, infine, nel Po tra Orio Litta (LO) e Chignolo Po (PV). Nei suoi 120 km di corso, che appare breve se paragonato ai due grandi fiumi che lo fiancheggiano (Ticino e Adda), il Lambro presenta i caratteri tipici dei fiumi prealpini, ossia direzione regolare, portata modesta, spiccata variabilità e stagionalità delle portate dovuta all'assenza di ghiacciai nel bacino di alimentazione. I due affluenti naturali principali del Lambro sono il Seveso e il Lambro Meridionale, che rappresenta il proseguimento del Fiume Olona. La superficie del bacino imbrifero sotteso alla sezione di confluenza con il Fiume Po è di 2217 km<sup>2</sup>.

La valle del fiume Lambro è limitata, sia in sinistra sia in destra orografica, da terrazzi fluviali che demarcano il passaggio al livello fondamentale della pianura. I terrazzi decorrono lungo tutto il corso del fiume e presentano dislivelli compresi tra 3 e 8 m. In generale si osserva la diminuzione dell'altezza delle scarpate procedendo da Nord a Sud. L'andamento dei terrazzi è piuttosto articolato e presenta numerosi incisioni riconducibili all'azione di un corso d'acqua meandriforme durante l'Olocene. La continuità dei terrazzi è stata modificata dall'azione antropica in corrispondenza dei centri abitati o delle aree in cui è stata o è in atto la coltivazione di cave "in arretramento di terrazzo".

La marcata tendenza erosiva del Lambro è testimoniata dalla presenza di almeno tre livelli di erosione la cui scarsa continuità, per quanto detto sopra, ne impedisce l'immediata individuazione. La continuità e l'evidenza di questi elementi morfologici diminuiscono ulteriormente verso Sud, coerentemente con la diminuzione dell'energia di trasporto propria del corso d'acqua e le conseguenti minore erosione e maggiore deposizione.



*Fig. 4 - Fiume Lambro a monte del ponte dell'A1 a San Zenone al Lambro. Sono visibili due ordini di terrazzi evidenziati dalle linee verdi, l'immissione della Roggia Viscontea indicata dalla freccia azzurra e difese spondali indicate dalla freccia rossa.*

Il Fiume Lambro ha un andamento planimetrico di tipo meandriforme e la sua configurazione denota uno stadio di maturazione avanzato con l'alveo incassato nei terrazzamenti e con una traccia ben definita.

I fenomeni di dissesto nell'ambito della dinamica del corso d'acqua corrispondono essenzialmente ad erosioni spondali e scalzamenti delle opere di difesa.

#### **Reticolo idrografico secondario ed artificiale**

L'area di studio è solcata da una fitta trama di corsi d'acqua minori, la maggior parte dei quali costituisce una rete irrigua artificiale sia di competenza consortile (Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi), che comunale o privata. I corsi d'acqua naturali scorrono seguendo la topografia blandamente degradante verso Sud; i corsi d'acqua artificiali, invece, hanno direzioni di deflusso imposte dalle necessità irrigue.



*Fig. 5 - Esempio di corso d'acqua afferente al reticolo idrografico secondario: la Roggia Triulza a Lodi Vecchio.*

Il progetto di ampliamento dell'autostrada A1 nel tratto tra Milano Sud e Lodi attraversa, procedendo da Nord Ovest verso Sud Est, il fitto reticolo artificiale irriguo in cui si distinguono:

- Cavo Vettabbia
- Cavo Lorini-Marocco;
- Cavo Annoni;
- Roggia Triulza;
- Cavo Sillaro;
- Roggia Balzanina;
- Roggia Barbavara;
- Cavo Sillaro.



*Fig. 6 - Esempio di corso d'acqua afferente al reticolo idrografico secondario: la Roggia Barbavara a Borgo San Giovanni.*

#### **4.3 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)**

Il PAI del Bacino del Fiume Po (tavole 139040-139080-140050-140090-140100, accesso web novembre 2017), sulla base dei numerosi studi in esso recepiti fornisce il seguente quadro conoscitivo relativamente all'asta del Fiume Lambro.

Tutto il corso del Lambro, a partire dai laghi Alserio e Pusiano, fino alla confluenza in Po, presenta un andamento generalmente unicursale meandriforme; localmente prevale l'andamento sinuoso, alternato a tratti sub-rettilinei, come si riscontra tra Cologno Monzese e S. Donato Milanese.

Le variazioni planimetriche sono frequenti lungo gran parte del percorso e sono per la maggior parte limitate a modificazioni della morfometria di alcuni meandri (raggio di curvatura, più raramente migrazione dell'asse), determinando in genere modeste variazioni della linea di thalweg. Ne consegue un aumento di lunghezza all'altezza di S. Donato Milanese, di S. Giuliano Milanese, presso Cerro al Lambro e immediatamente a valle. Variazioni planimetriche significative si osservano nel tratto, attualmente rettificato, immediatamente a valle di Cologno Monzese, a fianco della tangenziale Est di Milano.

Da S. Donato Milanese fino alla confluenza in Po si osserva la presenza di paleoalvei che testimoniano una discreta mobilità laterale. Tra questi si riconoscono quello di cascina Pagnana e quello a monte di S. Angelo Lodigiano, entrambi meandriformi ed ancora connessi all'ambiente fluviale.

Il corso d'acqua è fiancheggiato da scarpate di erosione fluviale che, localmente, separano diversi ordini di superfici terrazzate, eccetto il tratto compreso tra il ponte stradale di Cologno Monzese e il ponte stradale di S. Donato Milanese

Dal ponte stradale di S. Colombano al Lambro, fino alla confluenza in Po, il fiume scorre vincolato dalla presenza di strette arginature.

L'elevata antropizzazione dell'alveo riscontrabile fino a Milano fa sì che, in generale, i fenomeni erosivi risultino sporadici e localizzati in corrispondenza dei meandri. Modesti processi erosivi, comunque scarsamente rilevanti data l'assenza di infrastrutture o abitati nelle vicinanze del corso d'acqua, si rilevano a valle di Milano e precisamente:

- sulla sponda sinistra all'altezza di S. Donato Milanese;
- in sinistra a monte e a valle di Melegnano;
- a valle di S. Zenone al Lambro e a monte di Salerano sul Lambro;
- a monte di S. Colombano al Lambro.

Il profilo longitudinale risulta sostanzialmente stabile fino a S. Angelo Lodigiano a valle del quale e fino alla confluenza in Po si rileva un abbassamento del fondo di circa 1.5-1.8 m. Sono sostanzialmente stabili o poco significative le variazioni medie della sezione incisa. Le variazioni planimetriche sono frequenti lungo gran parte del percorso e sono per la maggior parte limitate a modificazioni della morfometria di alcuni meandri (raggio di curvatura, più raramente migrazione dell'asse), determinando in genere modeste variazioni della linea di thalweg. Ne consegue un aumento di lunghezza all'altezza di S. Donato Milanese, di S. Giuliano Milanese, presso Cerro al Lambro e immediatamente a valle. Variazioni planimetriche significative si osservano nel tratto, attualmente rettificato, immediatamente a valle di Cologno Monzese, a fianco della tangenziale Est di Milano.

L'instabilità morfologica dell'assetto planimetrico e longitudinale dell'alveo costituisce la principale causa del dissesto dell'asta del Lambro. Per quanto riguarda i fenomeni di erosione di sponda, gli effetti sono di modesta entità e si localizzano essenzialmente nel tratto inferiore, tra Linate e la confluenza in Po. Localizzati fenomeni erosivi hanno provocato lo scalzamento al piede delle fondazioni di alcune opere di difesa e di alcuni ponti (nuovo ponte stradale di S. Colombano al Lambro), in prossimità dei quali si assiste inoltre alla periodica deposizione di sedimenti alluvionali (Autorità di Bacino del Fiume Po, 1999).

Nella tabella che segue è mostrato il quadro di sintesi dei fenomeni di dissesto a livello comunale dei comuni interessati dall'opera.

Provincia	Comune	Dimensioni delle principali tipologie di dissesto										
		Superficie Comune (km <sup>2</sup> )	Conoide (km <sup>2</sup> )	Esondazione montagna (km <sup>2</sup> )	Esondazione pianura (km <sup>2</sup> )	Fascia B PAI (km <sup>2</sup> )	Fascia B PSFF (km <sup>2</sup> )	Fluvio Torrentizi (km)	Frana osservata (km <sup>2</sup> )	Frana potenziale (km <sup>2</sup> )	Valanga (n°)	Non specificato
Milano	Carpiano	17.2			15.3							
	Cerro al Lambro	10.2			8.8		0.5					
	Melegnano	4.9			4.2		0.6					
	San Giuliano Milanese	30.7			25.9		2.1					
	San Zenone al Lambro	7.3			6.3		0.7					
	Vizzolo Predabissi	5.7			5.1		0.5					
Lodi	Borgo San Giovanni	7.6			6.4		0.5					
	Lodi Vecchio	16			13.6		< 0.1					
	Pieve Fissiraga	12.1			10.5							
	Salerano sul Lambro	4.3			3.9		0.5					
	Sordio	2.8			2.3							
	Tavazzano con Villavesco	16.2			12.6							

Tab. 3 - Quadro di sintesi dei fenomeni di dissesto a livello comunale dei comuni interessati dall'opera (Estratto da Autorità di Bacino del Fiume Po, 1999).

#### 4.4 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (P.T.C.P.)

In termini di rischio di dissesto idrogeologico, il territorio ove si sviluppa il nuovo tracciato è stato interessato, anche in tempi molto recenti, da esondazioni del Lambro. Tra gli abitati di Vizzolo Predabissi e Cerro al Lambro, dal PTCP della Provincia di Milano, si può individuare una fascia di estensione pari a circa 1000 m classificata “a rischio moderato”; nella zona mediana di questa fascia, ai margini del corso d’acqua attuale, si osserva un ulteriore ambito, di estensione pari a circa 300 m, definito “a rischio molto elevato”.

Ulteriori documenti rappresentano i macroscenari relativi al rischio di esondazione: si tratta di schede edite dalla Protezione civile suddivise per comune, che riassumono le situazioni di criticità, i danni principali subiti durante eventi passati, gli elementi vulnerabili e le aree comunali interessate.

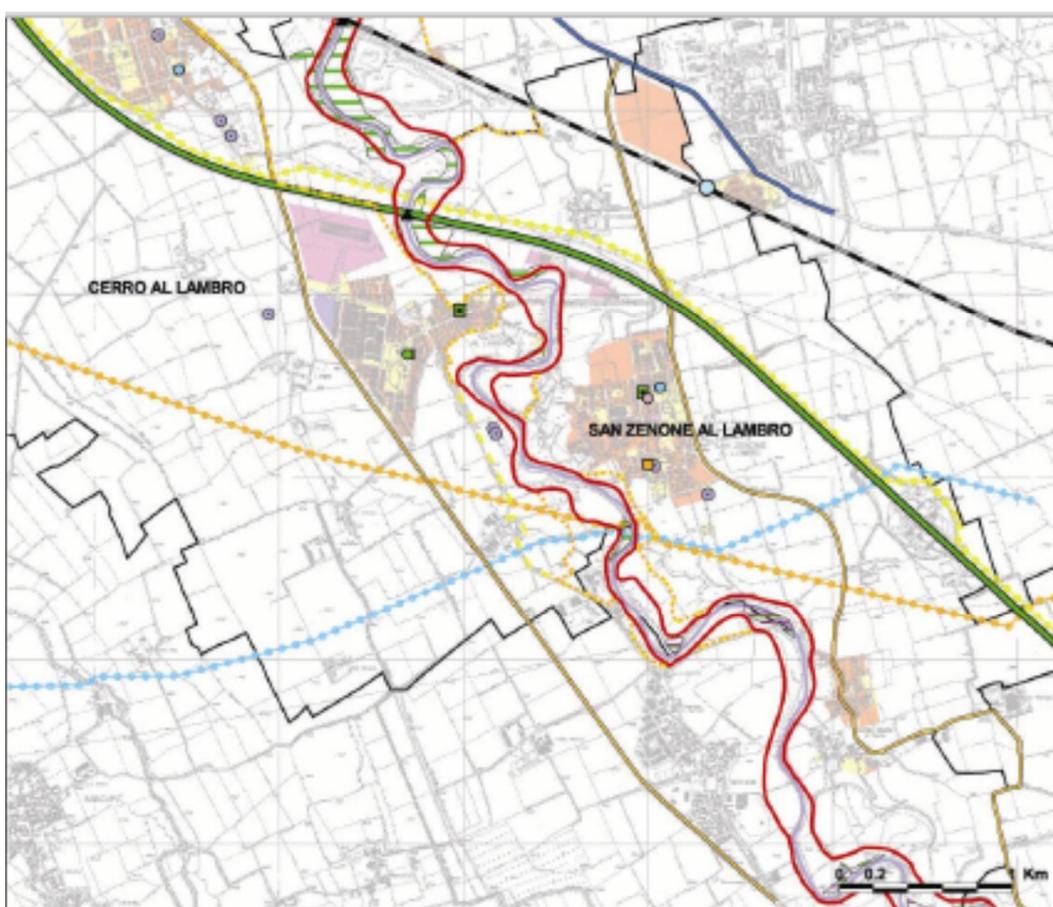


Fig. 7 - Protezione Civile - Macroscenari relativi al rischio di esondazione – Comuni di Cerro e S. Zenone al Lambro

La stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili che eventualmente interessano l’infrastruttura, nonché la definizione degli interventi di minimizzazione / stabilizzazione e messa in sicurezza dell’infrastruttura non è oggetto della presente relazione.

#### 4.5 PIANO COORDINAMENTO GESTIONE RISCHI ALLUVIONI (P.G.R.A.)

La Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49, in analogia a quanto predispone la Direttiva 2000/60/CE in materia di qualità delle acque, vuole creare un quadro di riferimento omogeneo a scala europea per la gestione dei fenomeni alluvionali e si pone, pertanto, l'obiettivo di ridurre i rischi di conseguenze negative derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, l'attività economica e le infrastrutture. La Direttiva e il D.lgs. 49/2010 privilegiano un approccio di pianificazione a lungo termine, scandito in tre tappe successive e tra loro concatenate. Nella prima fase è prevista la valutazione preliminare del rischio di alluvioni, nella seconda fase vengono elaborate mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni, infine viene data la predisposizione ed attuazione di piani di gestione del rischio di alluvioni.

Attualmente i Piani di gestione del rischio di alluvioni (art. 7 Direttiva 2007/60/CE e D.Lgs. 49/2010) adottati a partire dal 17 dicembre 2015, sono stati approvati il 3 marzo 2016 dai Comitati Istituzionali delle Autorità di Bacino Nazionali.

Le mappe della pericolosità hanno individuato n°3 *scenari di pericolosità*; si tratta di aree geografiche distinte sulla frequenza delle alluvioni:

- Alluvioni frequenti (P3) con tempo di ritorno compreso tra 20÷50 anni.
- Alluvioni poco frequenti (P2) con tempo di ritorno compreso tra 100÷200 anni;
- Alluvioni rare (P1) con scarsa probabilità di accadimento (fino a 500 anni dall'evento).

Questi scenari derivano dai modelli prodotti per la pericolosità dei singoli PAI di riferimento.

Di seguito si riporta uno stralcio del Piano Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (P.G.R.A.) dell'AdB Po (accesso web novembre 2017 al GeoPortale della Regione Lombardia: <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>) in cui si evidenzia la presenza di areali a diversa pericolosità alluvionale del reticolo principale in corrispondenza del Fiume Lambro.



Fig. 8 - Stralcio pericolosità alluvionale del reticolo principale in corrispondenza del Fiume Lambro e relativa legenda (da P.G.R.A. dell'AdB Po)

In particolare il progetto di allargamento interferisce, in corrispondenza dell'attraversamento del Fiume, con un'area ad elevata pericolosità (colore blu) e, più esterna ad essa, con un'area a pericolosità bassa (colore azzurro tenue), la quale lambisce anche un buon tratto del tracciato autostradale della A1 esistente.

## 5 CENNI DI IDROGEOLOGIA

In merito agli aspetti idrogeologici dell'area di progetto, il tradizionale schema idrogeologico della pianura lombarda (che prevedeva la definizione di "I Acquifero", "II Acquifero" e "III Acquifero") è stato recentemente rivisto ricorrendo a dati sismici, a stratigrafie di pozzi di ricerca per idrocarburi e di sondaggi stratigrafici appositamente condotti pervenendo alla definizione di nuove unità idrostratigrafiche denominate dal basso verso l'alto Gruppo Acquifero D, Gruppo Acquifero C, Gruppo Acquifero B e Gruppo Acquifero A (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia – Regione Lombardia – ENI, 2002).

I gruppi acquiferi così definiti corrispondono ad unità stratigrafiche di tipo UBSU (Unconformity Bounded Stratigraphic Units), delimitate da superfici di non conformità prodotte da fasi deformative di importanza regionale e tra di loro idraulicamente separate da estesi livelli di sedimenti fini.

I gruppi acquiferi individuati sono di seguito descritti dal basso verso l'alto.

### Gruppo Acquifero D

È costituito dagli orizzonti permeabili contenuti all'interno delle sequenze prevalentemente fine di deposizione marina, già indicata come Unità Argillosa o Litozona Argillosa, e nella porzione inferiore del Supersistema Padano, di ambiente deposizionale marino-marginale e transizionale, già indicata come Unità Sabbioso Argillosa o Litozona Sabbioso Argillosa, corrispondente alla porzione inferiore degli acquiferi profondi anche indicati come III Acquifero; gli orizzonti acquiferi presenti all'interno di tale gruppo acquifero risultano confinati ed in condizioni di artesianesimo in considerazione della presenza di abbondanti livelli fini di separazione molto estesi arealmente. La porzione inferiore del gruppo acquifero è saturata in acqua salmastra.

### Gruppo Acquifero C

È costituito dagli orizzonti permeabili contenuti all'interno della porzione superiore del Supersistema Padano, di ambiente deposizionale di piana alluvionale a meandri, già indicata come Unità Sabbioso Argillosa o Litozona Sabbioso Argillosa, corrispondente alla porzione superiore degli acquiferi profondi anche indicati come III Acquifero; gli orizzonti acquiferi presenti all'interno di tale gruppo acquifero risultano confinati ed in condizioni di artesianesimo in considerazione della presenza di abbondanti livelli fini di separazione molto estesi arealmente.

### Gruppo Acquifero B

Corrisponde al Sintema Lombardo Inferiore, caratterizzato da un ambiente deposizionale di piana alluvionale braided relativamente distale; i corpi sabbioso-ghiaiosi sono riferibili a depositi di canale fluviale di energia medio alta, depositi in un contesto di piana alluvionale caratterizzata dalla brusca divagazione dei canali stessi; le porzioni più fini sono riferibili invece a depositi di piana inondabile o a cicli di abbandono dei canali fluviali. Il Gruppo Acquifero B corrisponde alla porzione profonda dell'Acquifero Tradizionale, già indicato come II Acquifero, intensamente sfruttato per approvvigionamento idropotabile, ed è caratterizzato da generali condizioni di confinamento o semi-confinamento dei livelli acquiferi. L'unità corrisponde altresì alla porzione inferiore della Litozona Ghiaioso Sabbiosa, alla Unità Ghiaioso Sabbioso Limosa ed alla Unità a Conglomerati ed Arenarie Basali.

### Gruppo Acquifero A

Corrisponde al Sintema Lombardo Superiore, riferibile ad un ambiente deposizionale di piana alluvionale fluvioglaciale, di tipo braided prossimale, ed è caratterizzato dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequente presenza di ciottoli, spesso mal selezionate, localmente cementate, in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane e sabbie ghiaiose e rari livelli fini.

I livelli più permeabili contenuti all'interno dell'unità in esame costituiscono livelli acquiferi non confinati, che nel complesso danno luogo ad un sistema multifalda tradizionalmente assimilato ad un acquifero monostrato ed indicato come I Acquifero o Acquifero Tradizionale, già intensamente sfruttato per approvvigionamento idropotabile, corrispondente alla tradizionale Unità Ghiaioso-Sabbiosa ed alla porzione superiore della Litozona Ghiaioso-Sabbiosa.

---

### Caratteristiche della falda freatica nell'area di studio

Nell'ambito dell'area di studio la circolazione idrica sotterranea più superficiale (prima falda) viene alimentata in maniera significativa dalla rete irrigua e dagli apporti meteorici mentre le falde più profonde hanno circuiti d'alimentazione non direttamente connessi alla superficie.

La rete idrica superficiale alimenta in maniera variabile la falda ed in particolare in funzione della diversa permeabilità dei depositi superficiali e dalla diversa morfologia. La locale presenza di depositi argillosi in superficie, infatti, non permette un'omogenea infiltrazione delle acque, con la conseguente presenza di acquiferi di varia dimensione. A livello regionale la soggiacenza della falda diminuisce da nord verso sud ed è influenzata sia dalle variazioni stagionali, che producono oscillazioni anche di alcuni metri, sia dalle più consistenti variazioni a periodo medio - lungo.

Per una compiuta descrizione degli aspetti idrogeologici relativi all'area di intervento si rimanda alla specifica relazione d'inquadramento idrogeologico.

## 6 CARTOGRAFIE TEMATICHE E LEGENDE

Sulla base dei dati bibliografici, dei rilievi in sito e delle indagini geonostiche è stato possibile ricostruire una planimetria geologica alla scala 1:5000 con relativo profilo longitudinale (eseguito a 39 m a sinistra dell'asse di tracciamento sud, ossia a 35 m dall'asse di tracciamento nord) a scala verticale amplificata 1:5000/500 (la fine di meglio evidenziare le varie eteropie deposizionali), una planimetria geomorfologica alla scala 1:5000 ed una planimetria dei vincoli alla scala 1:5000.

### 6.1 GEOLOGIA

Per quanto attiene la ricostruzione geologica si sono utilizzate le suddivisioni adottate nell'ambito della carta geologica nazionale alla scala 1:100.000 (Fogli Milano, Pavia e Piacenza); tali documenti risalgono agli anni '60-'70 e presentano ancora una suddivisione "tradizionale" delle unità del Quaternario.

Per l'area del progetto non è stata a oggi ancora pubblicata la cartografia CARG con distinzione delle unità in alloformazioni; in ogni caso, vista la finalità applicativa dello studio, le distinzioni proposte dalla cartografia ufficiale disponibile più legate alle caratteristiche granulometrie dei materiali, mantengono la loro validità.

La distinzione utilizzata dagli autori per distinguere le differenti unità non tiene conto di criteri puramente litologici: i depositi, infatti, sono riconducibili ad eventi deposizionali geneticamente assimilabili, ma differiti nel tempo e quindi tutte le unità presentano caratteristiche granulometriche simili e si differenziano fra loro in base a criteri prevalentemente geometrici (sovrapposizione reciproca).

La distinzione dei corpi geologici è stata affidata a fattori rilevabili in sito quali la morfologia (terrazzi, salti e ribassi morfologici, ecc.), il grado d'alterazione (colore) e lo spessore della coltre superficiale.

Nell'area sono presenti tre differenti unità:

- Alluvioni recenti ed attuali: ghiaie e ghiaie sabbiose non alterate con locali lenti di sabbie, limi argille e torbe. Affiorano in corrispondenza dell'alveo attuale del Fiume Lambro.
- Alluvioni antiche terrazzate: ghiaie con lenti di sabbie e strato di alterazione superficiale di natura limoso-argillosa di spessore 30-40 cm. Si ritrovano all'interno della Valle del Lambro.
- Depositi fluvioglaciali e fluviali del ciclo wurmiano: nell'area in oggetto sono costituiti prevalentemente da sabbie, sabbie limose con lenti di sabbie ghiaiose e banchi di argilla. La coltre superficiale limosa può raggiungere spessori di alcuni metri. Rappresentano i depositi più diffusi dell'area.

Oltre alla suddivisione di cui sopra, nella planimetria è stata riportata anche la litologia di superficie (granulometria dei primi 1-2 m) derivata dai dati disponibili nel Geoportale della Regione Lombardia.

La legenda comprende anche alcuni elementi geomorfologici quali i corsi d'acqua naturali, i corsi d'acqua secondari (per lo più artificiali), la perimetrazione della discarica di Vizzolo Predabissi e la perimetrazione dei terreni di riporto antropico (rilevati stradali-ferroviari principali).

Infine, nella planimetria geologica allegata è riportata la classificazione dei pozzi per tipo d'uso.

#### 6.1.1 Redazione del profilo geologico longitudinale

Le caratteristiche litologiche dei terreni afferenti l'area di studio sono state definite in profondità in relazione alla loro granulometria prevalente, ed in particolare distinguendo due principali classi:

- Terreni prevalentemente granulari (sabbie e/o ghiaie prevalenti)
- Terreni prevalentemente coesivi (argille e/o limi prevalenti)

Un elemento tipico degli ambienti di sedimentazione relativi all'area studiata è rappresentato dalla diffusa variabilità sia in senso verticale, per il succedersi nel tempo degli eventi alluvionali, sia in senso orizzontale, per la divagazione laterale dei canali principali di scorrimento delle acque di piena.

A causa della natura fortemente eteropica, la forma e l'estensione delle lenti di materiale compressibile riportate in profilo longitudinale deve essere assunta come indicativa, in quanto numerose verticali di indagine risultano proiettate sulla linea di sezione (il profilo geologico è stato eseguito 39m a sx dell'asse di tracciamento in direzione sud); inoltre, ove non vi siano verticali di indagine, la rappresentazione in profilo assume carattere di ragionevole ipotesi.

Appare significativo dal punto di vista progettuale sottolineare la presenza di alcuni livelli e/o concrezioni torbose-carboniose (livelli torbosi principali riportati in profilo): per ottenere informazioni dettagliate circa la posizione e lo spessore dei livelli organici rinvenuti è possibile fare riferimento a quanto riportato nelle singole stratigrafie.

Il presente studio ha inoltre consentito di verificare la congruenza tra la granulometria dei terreni superficiali indicati dalla Regione Lombardia ed i dati geognostici acquisiti direttamente in sito: si sottolinea che in alcuni tratti la bibliografica evidenza terreni superficiali di tipo differente rispetto a quelli riscontrati nelle verticali d'indagine, pertanto, nel caso di locali incongruenze fra planimetria e profilo, si preferisce attribuire un maggior valore a quest'ultimo.

## 6.2 GEOMORFOLOGIA

La legenda della planimetria geomorfologica distingue tre gruppi di tematismi utili alla valutazione del territorio oggetto del presente progetto di potenziamento, ed in particolare:

1. reticolo idrografico naturale ed antropico;
2. forme fluvio-denudazionali;
3. principali elementi antropici.

Il reticolo idrografico è stato descritto mediante le voci:

- corso d'acqua principale (Fiume Lambro)
- corso d'acqua del reticolo idrografico minore, fosso o canale artificiale
- lago artificiale o vasca

Nelle forme fluvio-denudazionali sono stati inseriti gli elementi geomorfologici legati all'azione erosiva dei corsi d'acqua e, nello specifico, gli elementi riconosciuti e cartografati sono i seguenti:

- paleoalveo (antichi corsi fluviali disconnessi dall'idrografia attuale);
- orlo di scarpata fluviale con altezza maggiore o uguale a 3 m (di erosione fluviale e torrentizia);
- orlo di scarpata fluviale con altezza minore a 3 m (di erosione fluviale e torrentizia);
- tratti d'alveo con erosione laterale o sponde in erosione.

L'ultimo gruppo di elementi geomorfologici pone l'attenzione sulle forme di origine antropica, comprendendo:

- riporti antropici infrastrutturali;
- orli di scarpate antropiche;
- orli di scarpate antropiche di pertinenza delle infrastrutture (rilevati e trincee);

- cave attive;
- cave abbandonate;
- discariche di R.S.U.



*Fig. 9 - Discarica di rifiuti solidi urbani a Cerro al Lambro-Vizzolo Predabissi.*

### 6.3 VINCOLI

La legenda della planimetria dei vincoli riporta tre gruppi di tematismi afferenti ambiti redatti da Enti vari, ed in particolare:

1. aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile (da Enti vari);
2. vincoli paesaggistici;
3. pericolosità geomorfologica (PAI – Autorità di Bacino del Fiume Po);

Nel primo gruppo sono comprese le zone di tutela assoluta dei pozzi pubblici (cerchio di raggio 10 m e centro sul pozzo) e le zone di rispetto tracciate secondo il criterio cronologico oppure in base al criterio geometrico (cerchio di raggio 200 m e centro sul pozzo) a seconda delle scelte operate dalle amministrazioni competenti.

I vincoli paesaggistici consistono in:

- vincoli ai sensi del D. Lgs 42/04 “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137” comprendenti nell’area di interesse le bellezze d’assieme e le aree di rispetto dei corsi d’acqua tutelati;

- vincoli ai sensi della Legge 431/85 “Conversione in legge con modificazioni del decreto legge 27 giugno 1985, n. 312 concernente disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale” che sostanzialmente, per l’area studiata, corrispondono con le aree classificate come bosco;
- parchi regionali e nazionali, la porzione di territorio analizzata è interessata unicamente da una parte del Parco Agricolo Sud Milano.

La pericolosità geomorfologica legata alla dinamica del Lambro e desunta dal PAI redatto dall’Autorità di Bacino del Fiume Po (tavole 139040-139080-140050-140090-140100, accesso di novembre 2017 al sito web dell’AdB Po: <http://www.adbpo.it/>) viene definita attraverso l’individuazione di fasce fluviali interessate da piene con determinati tempi di ritorno ovvero quelle porzioni di territorio all’interno delle quali defluisce la portata di piena di riferimento calcolata per i tempi di ricorrenza stabiliti. Le tre fasce fluviali indicate dal PAI corrispondono alle aree in cui defluiscono:

- l’80 % della piena con tempo di ritorno 50 anni (Fascia A);
- la piena con tempo di ritorno 50 anni (Fascia B);
- la piena con tempo di ritorno 200 anni (Fascia C).

Nella planimetria dei vincoli, laddove i limiti tra le fasce fluviali coincidono, è stato riportato unicamente il limite più esterno.

## 7 LIQUEFAZIONE

Con il termine "liquefazione" si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione ciclica, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti ( $M > 5.5$ ), che hanno come elemento comune il fatto che, per effetto dell'instaurarsi di condizioni non drenate, si ha un incremento ed un accumulamento delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.

Gli eventi sismici di maggio 2012 (magnitudo 5.9) avvenuti nella confinante Regione Emilia Romagna hanno causato vistosi effetti di liquefazione in alcune località ed hanno spinto la Regione Emilia Romagna a introdurre aggiornamenti normativi e tecnici, ed istituito, insieme al Dipartimento della Protezione Civile, un gruppo di lavoro interdisciplinare ("Gruppo di lavoro Liquefazione") per programmare ed avviare indagini geotecniche e geofisiche di approfondimento, al fine di individuare le aree suscettibili di amplificazione e quelle in cui si ritiene necessario verificare la presenza di condizioni predisponenti alla liquefazione.

In Lombardia è stato recentemente presentato uno studio sulla valutazione del potenziale di liquefazione realizzato da Regione Lombardia, Provincia di Mantova, Provincia di Cremona, CNR IDPA Milano e Università di Bologna, Dipartimento BIGEA, nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione per la caratterizzazione sismica di parte del territorio lombardo ricadente nell'Area Pilota italiana (settore centro orientale della Pianura Padana) del Progetto Europeo GeoMol.

Le condizioni predisponenti del terreno sono:

- profondità dello strato potenzialmente liquefabile  $< 15-20$  m dal p.c.
- profondità della falda  $< 5$  m
- densità relativa  $D_r < 60\%$
- diametro medio  $0.02 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$
- frazione di fini (diametro  $< 0.005 \text{ mm}$ )  $< 15\%$

Le condizioni scatenanti che riguardano le caratteristiche dell'azione sismica sono:

- magnitudo  $> 5.5$
- $PGA > 0.15 \text{ g}$
- durata  $> 15-20 \text{ sec}$

Tra i fattori geologici e geotecnici risultano fondamentali, oltre alla profondità della falda ( $< 5$  m), la presenza e lo spessore degli strati non liquefabili superficiali, l'assenza di cementazione fra i grani, l'origine e l'età del deposito, la presenza di strati drenanti grossolani intercalati alla sabbia fine liquefabile, la morfologia; per quanto riguarda la natura geologica dei siti le zone a più alto rischio sono: letti di fiume antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, argini, pianure di esondazione, spiagge, zone dunari e interdunari.

## 8 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica del territorio esaminato e un inquadramento riferito agli assetti normativi in vigore.

La definizione dell'accelerazione di riferimento non è oggetto della presente relazione.

I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti o siti internet:

- Sismicità storica dal 1000 al 2014: Database DMI 2011 (Database Macrosismico Italiano) dell' Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna) disponibile on-line all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>
- Sismicità recente (dal 2005 al 2017): Database ISIDE (Italian Seismic Instrumental and parametric Data-basE) dell'I.N.G.V. disponibile on-line all'indirizzo <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>
- Faglie capaci: catalogo delle faglie capaci ITHACA (ITaly HAZard from Capable faults) dell' Istituto Superiore per la Protezione e per la Ricerca Ambientale, disponibile on-line all'indirizzo <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3 (Database of Individual Seismogenetic Sources) disponibile on-line all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- Classificazione sismica nazionale: disponibile on-line all'indirizzo <http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp>
- Classificazione Sismica dei comuni lombardi (Delibera Regione Lombardia n°2129 del 11 luglio 2014)

### 8.1 SISMICITÀ STORICA (DAL 1000 AL 2014)

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato vengono esaminati i dati riportati nel D.M.I. 2015 che contiene 86.071 MDP (Macroseismic Data Points) relativi a 1.684 terremoti il cui epicentro ricade all'interno dell'area CPTI15; i dati sono riferiti a 15.416 località di cui 14.150 in territorio italiano.

In particolare sono stati estratti i dati disponibili per i Comuni interessati dal progetto: S. Giuliano Milanese, Melegnano, Cerro al Lambro, S. Zenone al Lambro, Lodi Vecchio e Borgo San Giovanni; solamente per i primi due Comuni è presente una storia sismica.

Nelle tabelle seguenti viene riportato l'elenco dei terremoti (rappresentati anche da relativo grafico), i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento. Si specifica che il grafico rappresentativo dei terremoti storici di ogni singolo Comune d'Italia generato direttamente dal sito dell'INGV non prevede la rappresentazione dei terremoti con Is (Intensità al sito di interesse) inferiori a 3 e di quelli classificati NF, ossia "non avvertito".

**Storia sismica di San Giuliano Milanese**  
**[45.399, 9.283]**  
 Numero di eventi: 3

Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	nP	Io	Mw
6	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7	5.17
2	2000 08 21 17:14	Monferrato	597	6	4.94
4-5	2003 04 11 09:26	S. Agata Fossili	78	6-7	4.81

**Is:** intensità al sito di interesse; **nP:** numero di osservazioni; **Io:** intensità massima; **Mw:** magnitudo - NF: non avvertito

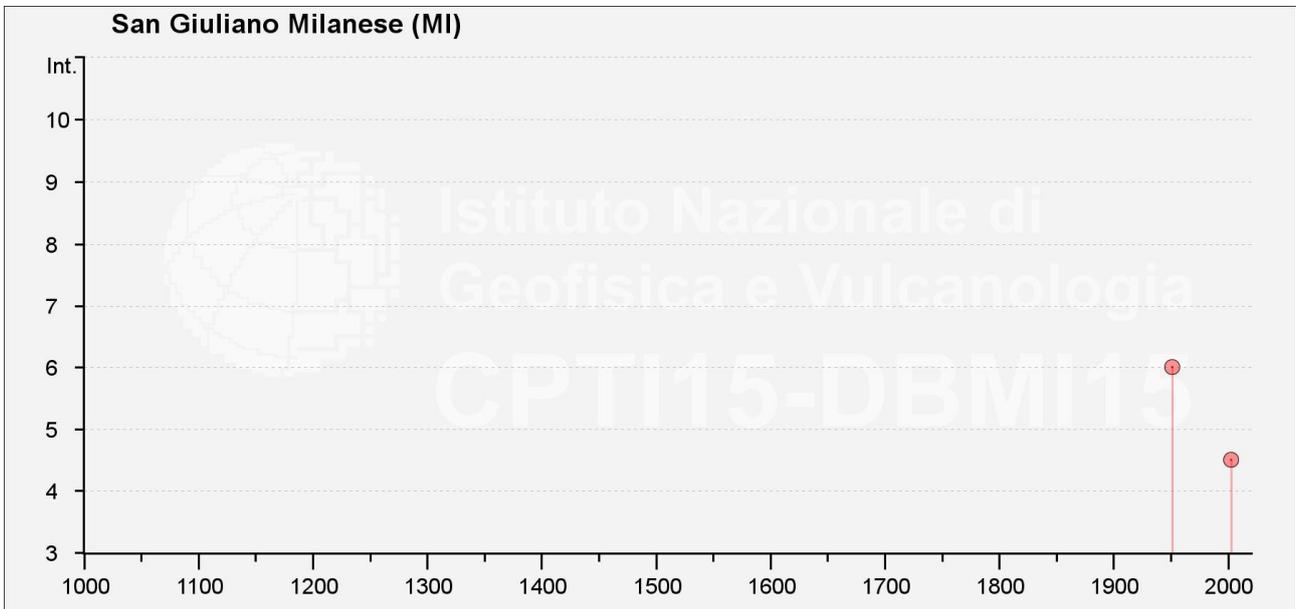


Fig. 10 – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2006 nel Comune di San Giuliano Milanese

**Storia sismica di Melegnano**  
**[45.358, 9.323]**  
 Numero di eventi: 7

Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	nP	Io	Mw
5-6	1901 10 30 14:49	Garda Occidentale	289	7-8	5.44
NF	1905 04 29 01:46	Alta Savoia	267	7-8	5.10
NF	1910 01 23 01:50	Piacentino	118	5	4.39
4	1920 09 07 05:55:40	Garfagnana	756	10	6.53
3	1960 03 23 23:08:49	Vallese	178	7	5.00
3-4	1968 06 18 05:27:33	Valle d'Aosta	60	6	4.86
4	1972 10 25 21:56	Appennino settentrionale	198	5	4.87

**Is:** intensità al sito di interesse; **nP:** numero di osservazioni; **Io:** intensità massima; **Mw:** magnitudo - **NF:** non avvertito

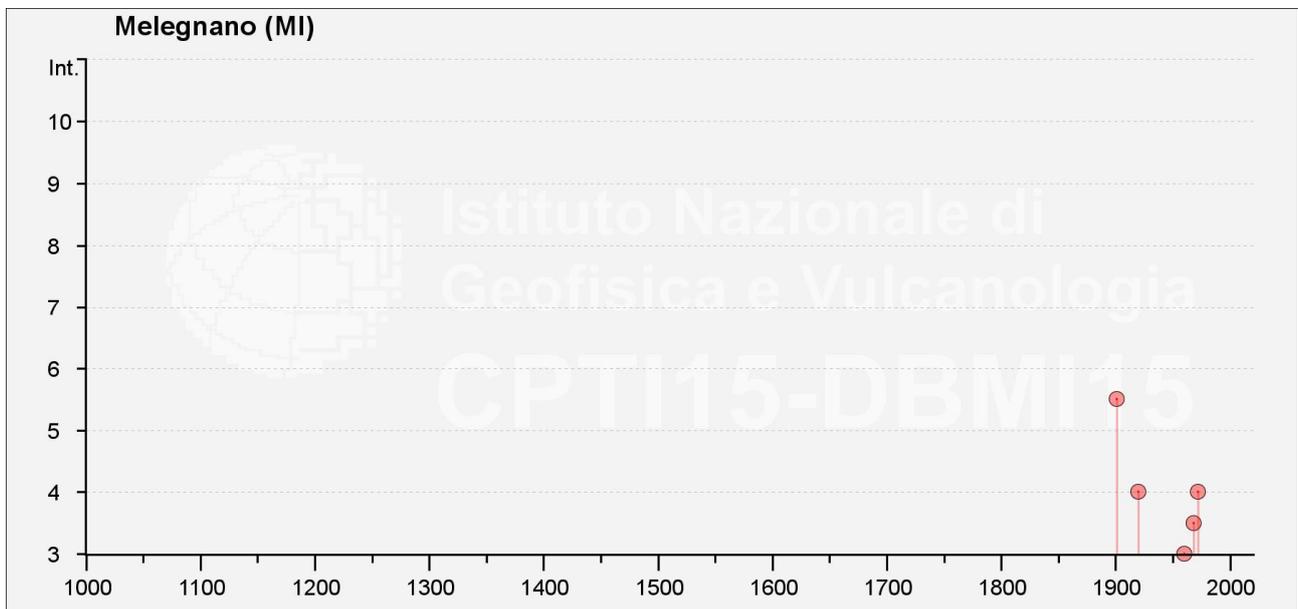


Fig. 11 – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2006 nel Comune di Melegnano

## 8.2 SISMICITÀ RECENTE (DAL 1985 AL 2017)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di intervento dal 14 gennaio 1985 al 23 novembre 2017, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio 100 km (che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente) dal Comune di Melegnano.

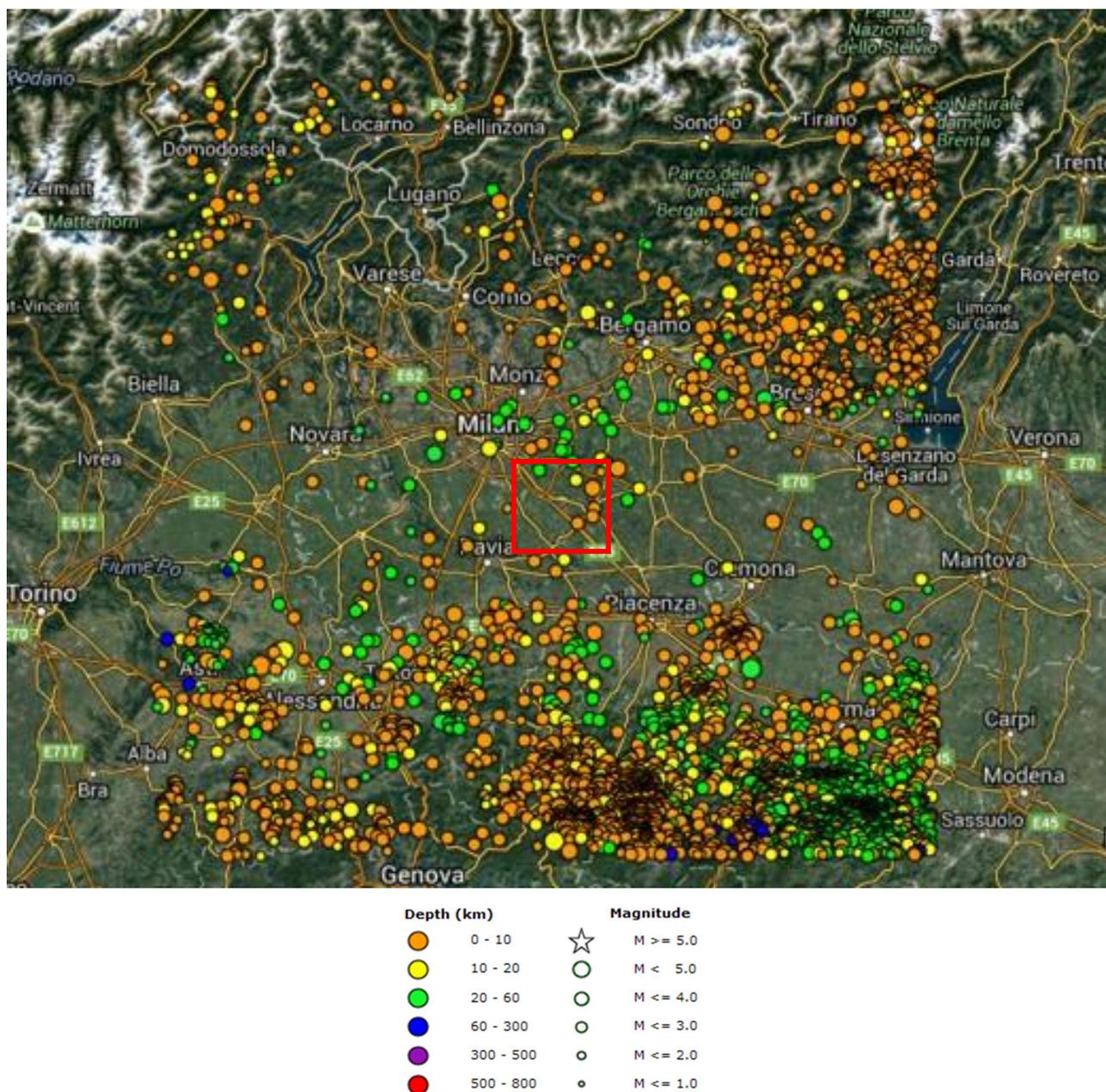


Fig. 12 - Database ISIDE: distribuzione terremoti periodo 1985-2017 (in rosso l'area di interesse).

Nell'area del progetto, per l'intervallo di tempo e di distanza considerato, sono segnalati n. 3805 terremoti principali.

Nella seguente immagine di dettaglio sono evidenziati i terremoti avvenuti nelle aree più prossime al punto di intervento.

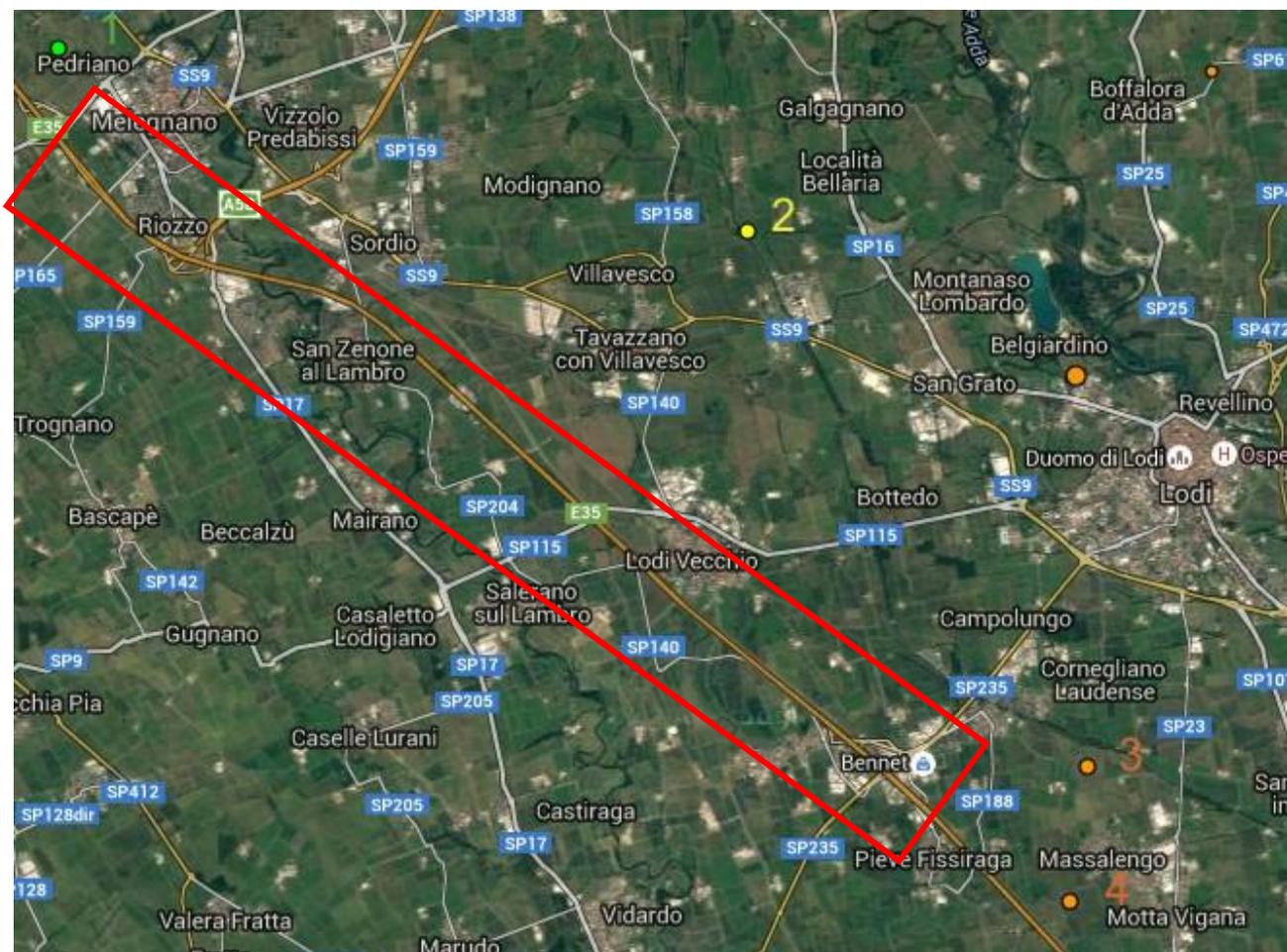


Fig. 13 – Database ISIDE: distribuzione terremoti periodo 1985-2016 (dettaglio).

I quattro eventi segnalati più vicino al punto di intervento hanno le seguenti caratteristiche:

ID	Magnitudo	Profondità (km)	Data (UTC)
1	2.4	21.1	09/02/1993
2	3	3.3	03/12/2004
3	2.7	5	02/02/2002
4	2.4	3.4	29/04/2003

### 8.3 FAGLIE CAPACI

Il termine “faglie capaci” è utilizzato per descrivere le faglie “sismiche” con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente “capaci” di produrre deformazioni in superficie.

La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere  $\geq$  VIII-IX grado della scala ESI2007.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA “ITaly HAZard from Capable faults”, disponibile on-line all’indirizzo:

[http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA\\_-\\_Catalogo\\_delle\\_faglie\\_capaci](http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA_-_Catalogo_delle_faglie_capaci)

Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.



Fig. 14 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA"

L'intervento in oggetto interferisce con una faglia capace, che presenta le seguenti caratteristiche:

FAULT NAME	Lodi
FAULT CODE	87020
MACROZONE	Southern Alps
REGION NAME	Lombardia
SYSTEM NAME	Po Plain
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	90
DIP	30
LENGTH (Km)	18
GEOMETRY	-
SEGMENTATION	no
DEPTH (Km)	-
LOCATION RELIABILITY	1:100000
LAST ACTIVITY	Pleistocene generic
ACTIVITY RELIABILITY	Medium reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	-
SLIP-RATE (mm/yr)	-
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	18
MAX CREDIBLE SLIP (m)	-
KNOWN SEISMIC EVENTS	-
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	5.7
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	-
STUDY QUALITY	FAIR
NOTES	Struttura dei fronti appenninici

Tab. 4 - Caratteristiche faglia capace di interesse (da "Progetto ITHACA").

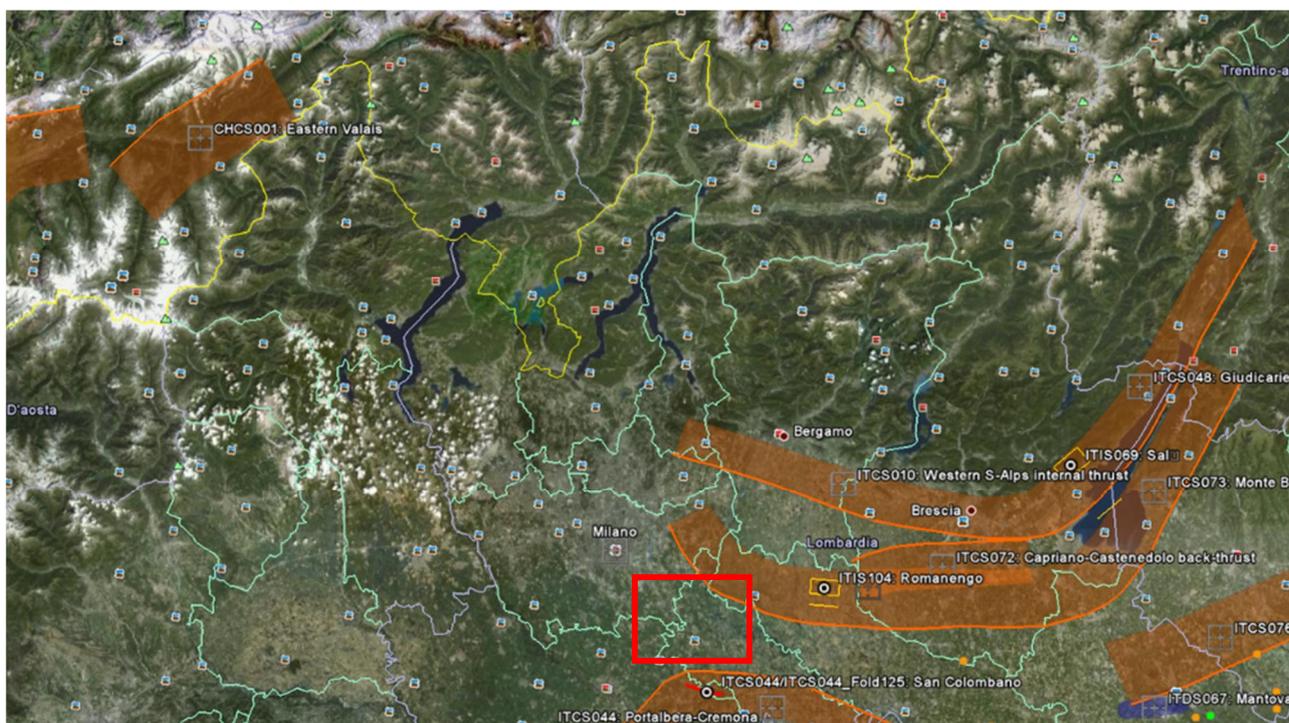
## 8.4 STRUTTURE SIMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismo-genetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non può essere definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica ma derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici.

L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Con riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3", si osserva che il tracciato in progetto si snoda in un'area a sismicità posta al limite occidentale delle aree sismo-genetiche "Western S-Alps internal thrust" (ITCS010); "Capriano-Castenedolo back-thrust" (ITCS072); "Romanengo" (ITIS104).

La figura seguente evidenzia le aree sismogenetiche prossime al tracciato di progetto (poligoni color marrone), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni arancioni); le campiture in rosso indicano i sistemi di faglia.



*Fig. 15 - Mappa delle aree sismogenetiche di interesse - Database DISS3.*

Di seguito si riporta una sintesi relativa alle strutture sismogenetiche di interesse (che include le aree epicentrali dei terremoti storici più intensi).

La codifica utilizzata nel database per identificare le strutture include 4 caratteri e 3 numeri:

1. i primi due caratteri si riferiscono al Paese considerato (IT per Italia):
2. gli altri due caratteri identificano il tipo di dati:
  - IS per Individual Seismogenic Source
  - CS per Composite Seismogenic Source

Code	Name	Min Depth (km)	Max Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip (m)	Slip Rate (mm/y)	Recurrence (y)	Max Magnitude (Mw)
ITCS010	Western S-Alps internal thrust	5	10	265 - 295	25 - 45	80 - 100	-	0.1 - 0.5	-	5.5
ITIS069	Salò	6.5	9	231	30	90	0.35	0.1 - 0.5	700 - 3500	5.7
ITIS104	Romanengo	2.5	5.8	275	45	90	0.5	0.1 - 0.5	1000 - 5000	5.7
ITCS072	Capriano-Castenedolo back-thrust	1	7	70 - 100	30 - 45	80 - 100	-	0.1 - 0.5	-	6.1
ITCS073	Monte Baldo	3	9	200 - 250	25 - 45	70 - 100	-	0.1 - 0.5	-	5.5
ITCS044	Portalbera-Cremona	2	7	30 - 115	20 - 40	80 - 100	-	0.1 - 0.5	-	5.5

Tab. 5 - Caratteristiche strutture sismogenetiche di interesse - Database DISS3.

## 8.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA

La normativa sismica italiana, entrata in vigore l'8 maggio del 2003 con la pubblicazione sulla G.U. dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 e in seguito aggiornati con l'O.P.C.M. 3519/06, suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche”.

	Caratteristiche	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
<b>Zona 1</b>	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	ag >0.25
<b>Zona 2</b>	In questa zona possono verificarsi forti terremoti.	0.15 <ag≤ 0.25
<b>Zona 3</b>	In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari	0.05 <ag≤ 0.15
<b>Zona 4</b>	E' la meno pericolosa. I terremoti sono rari.	ag ≤ 0.05

I criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale, emanati con l'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 2003, si basano sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4; in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico. Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

L'appartenenza a ciascuna zona sismica comporta l'adozione di specifiche caratteristiche prestazionali per nuovi edifici e strutture, regolate da opportune norme sismiche contenute nel medesimo provvedimento legislativo, e successive modifiche ed integrazioni.

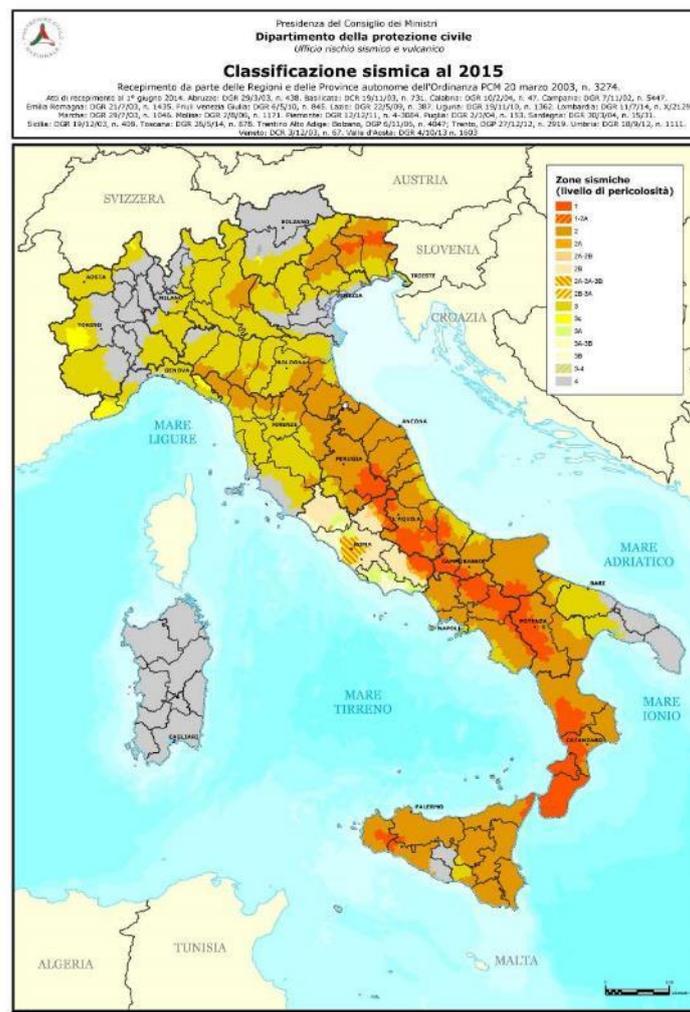


Fig. 16 - Classificazione Sismica al 2015 (Dipartimento di Protezione Civile, Ufficio rischio sismico e vulcanico)

La prima classificazione sismica del territorio lombardo risale a circa venti anni fa, quando con il D.M.LL.PP. 5/03/1984 furono dichiarati sismici 41 Comuni.

La Giunta Regionale ha approvato il 30 marzo 2016 - D.G.R. n. X/5001 le linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica, ai sensi degli artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della L.R. 33/2015. La nuova zonazione sismica e la L.R. 33/2015 sono entrambe efficaci dal 10 aprile 2016. In particolare, la L.R. n. 33/2015 aggiorna la normativa sulle costruzioni in zona sismica adeguandola al D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 (Testo Unico in materia edilizia). In data 30 maggio 2017 è stata pubblicata sul B.U.R.L.,

Supplemento n. 22, la L.R. n. 15 del 26 maggio 2017 "Legge di semplificazione 2017" che integra e modifica la L.R. n. 33/2015.

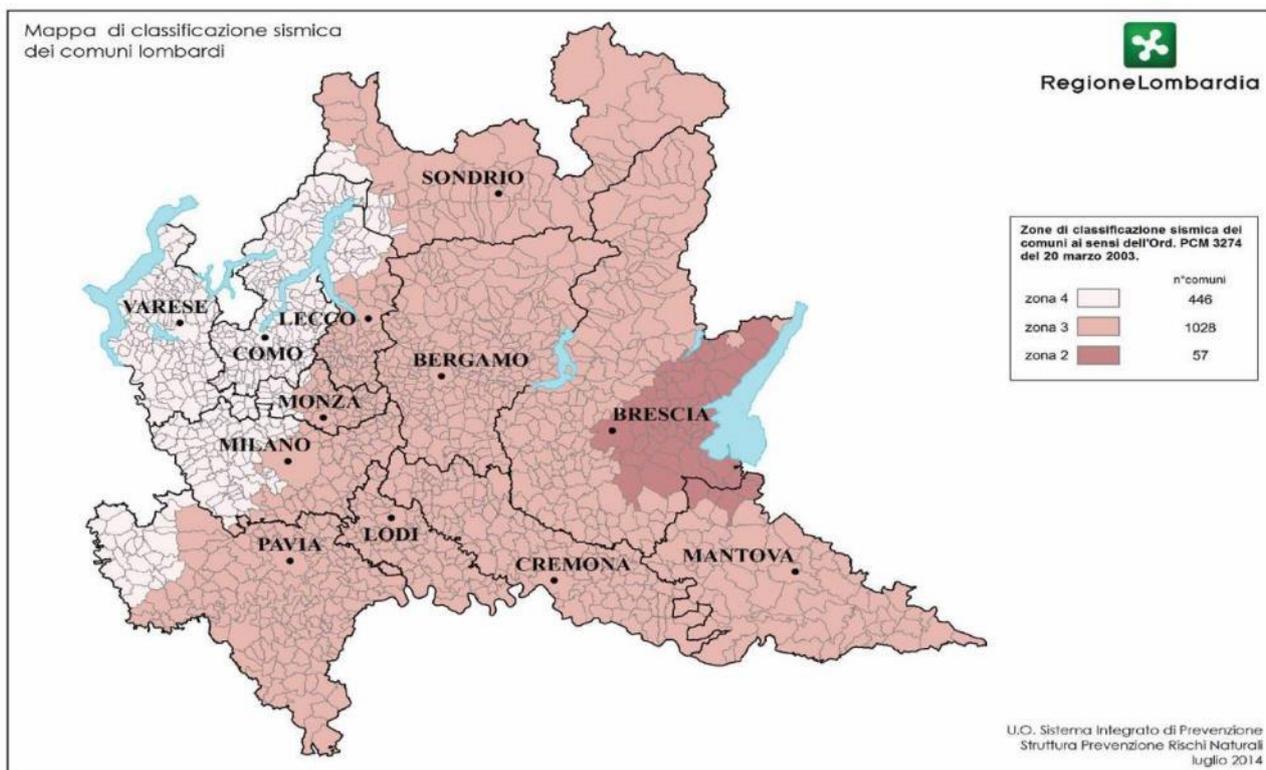


Fig. 17 - Mappa della Classificazione Sismica dei comuni lombardi (Regione Lombardia)

In conformità alle normative, i comuni interessati dal progetto ricadono nelle seguenti zone sismiche:

Regione	Provincia	Comune	Classificazione_2015
Lombardia	Milano	San Giuliano Milanese	3
Lombardia	Milano	Melegnano	3
Lombardia	Milano	Cerro al Lambro	3
Lombardia	Milano	San Zenone al Lambro	3
Lombardia	Lodi	Lodi Vecchio	3
Lombardia	Lodi	Borgo San Giovanni	3

## 9 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Nell'ambito del presente capitolo si descrivono, procedendo con ordine da nord a sud, gli elementi geologici – geomorfologici dell'area di progetto e si riportano considerazioni utili nell'ambito della progettazione in oggetto.

Come già precedentemente sottolineato, a causa della natura fortemente eteropica dei terreni, la forma e l'estensione delle lenti limoso-argillose riportate in profilo longitudinale deve essere assunta come indicativa.

### 9.1 DA KM 4+852.25 (INIZIO INTERVENTO) A KM 11+030 C.A.

La tratta ricade in un'unica unità litologico - stratigrafica di origine fluvioglaciale e fluviale di epoca wurmiana; in particolare (si vedano i sondaggi proiettati in profilo) all'interno di sedimenti prevalentemente granulari sono presenti ampie lenti di materiale fine e compressibile. Tali lenti diminuiscono in estensione andando verso sud; inoltre sono segnalati alcuni livelli torbosi. Superficialmente le indicazioni reperite dalla Regione Lombardia evidenziano la presenza di sabbie e ghiaie frammiste a depositi fini.

In questa tratta non si segnalano elementi geomorfologici rilevanti, l'altimetria è compresa tra 96 e 87 m s.l.m. con pendenze deboli. A valle del tracciato in progetto, tra inizio intervento e la Km 7+300 c.a. è presente un paleo-alveo con andamento da nord ovest a sud est; altri paleo-alvei sono stati riconosciuti in prossimità del F. Lambro, a monte e a valle del tratto di esso compreso tra le pk 10+200 c.a. e pk 11+000 c.a. Queste forme di erosione, attualmente disconnesse dal reticolo idrografico, non coinvolgono l'opera.

Il reticolo idrografico è assai articolato, ma per lo più costituito da canali artificiali e fossi a prevalente uso irriguo. Tra i principali elementi del reticolo artificiale che sottopassano l'autostrada A1 nella suddetta tratta si segnalano il Cavo Marocco (pk 5+320 c.a.), il Cavo Annoni (pk 7+430 c.a.), la Roggia Viscontea (pk 8+300 c.a. e pk 9+600 c.a.), la Roggia Spazzola (pk 10+350 c.a.).

Si fa notare che alla pk 6+900 un fosso tributario del Cavo Marocco interferisce con il progetto scorrendo parallelo all'asse viario.

### 9.2 DA KM 11+030 C.A. A KM 13+050 C.A.

Si attraversa la Valle del Lambro con la maggiore opera ingegneristica prevista in progetto; i terreni incontrati sono ascrivibili a depositi alluvionali antichi, recenti ed attuali, tali depositi sono costituiti essenzialmente da sabbia e ghiaia, in percentuali variabili, talora limose, prevalentemente ghiaiosi in superficie e risultano poggianti sull'unità litologico - stratigrafica di origine fluvioglaciale e fluviale wurmiana. Dai sondaggi appositamente realizzati per la progettazione di quest'opera (ML4, ML5, ML6, ML7) è possibile osservare la presenza (al di sotto di una coltre di deposito antropico) di terreni alluvionali prevalentemente granulari per una decina di metri; alloro interno sono presenti interlivelli coesivi. Procedendo in profondità, si attraversa una lente di materiale fine di spessore dell'ordine di 4-5m. Ancor più sotto i terreni risultano prevalentemente granulari; sono inoltre segnalati in stratigrafia alcuni livelli torbosi.

In prossimità della sponda destra del F. Lambro aumenta lo spessore delle lenti di materiali più fine (sondaggi L5-S16, S2), sempre intervallati da materiale granulare.

Dal punto di vista geomorfologico, il tratto in oggetto è posto a cavallo del F. Lambro e comprende le forme erosionali ad esso attribuibili. Sono infatti riconoscibili alcune scarpate di origine fluviale di diversa altezza; quelle maggiori, con altezza superiore a 3 m, delimitano l'alveo attuale del corso d'acqua ed intercettano l'autostrada A1 alle pk 11+750 c.a. e 11+810 c.a. Altre scarpate, di altezza minore, seguono l'andamento del fiume, sono poste a distanze non superiori a qualche centinaia di metri da esso e nessuna interseca l'asse viario in oggetto.

Dalla pk 11+050 c.a. alla pk 11+600 c.a. l'autostrada costituisce il limite esterno della fascia C in sponda sinistra del Lambro come riportata nel PAI vigente e taglia quella in destra alla pk 11+900 c.a.

### 9.3 DA KM 13+050 C.A. A KM 22+306.27 (FINE INTERVENTO)

Procedendo nell'ambito di questo tratto si ritorna nel fluvioglaciale e fluviale wurmiano. In superficie il materiale varia dalle sabbie frammiste a locali depositi fini (limi e argille) e ghiaie, alle sabbie con depositi fini e ghiaie, ai limi più o meno frammisti a sabbie e ghiaie. Nel sottosuolo, fino alla pk 14+050 c.a. è osservabile la presenza di una spessa lente di materiale coesivo con torba; oltre la suddetta progressiva e per tutta la rimanente tratta, prevalgono sabbie e ghiaie con livelli di vario spessore di argille e limi. Alcuni sondaggi hanno evidenziato anche in questa zona la presenza di torba.

La morfologia appare pianeggiante o con debole pendenza verso sud almeno fino alla pk 19+900 c.a.. Non si ravvisano forme di rilievo e, pertanto, gli unici elementi degni di nota sono i corsi d'acqua artificiali che intersecano l'autostrada: il Cavo Marocco (pk 13+260 c.a.), la Roggia Triulza (pk 17+320 c.a.) ed il Cavo Sillaro (pk 18+430 c.a.). Con riferimento a quest'ultima interferenza si osserva che l'attraversamento è posto poco a monte della derivazione della Roggia Donna dal Cavo Sillaro, che potrebbe costituire un nodo idraulico critico in occasione di eventi di piena eccezionale.

La tratta dalla pk 19+900 c.a fino a fine intervento interseca la debole depressione, attualmente percorsa dal Cavo Sillaro, che è stata interpretata come paleoalveo del F. Lambro o del F. Adda. Si tratta di una depressione ad andamento sinuoso delimitata da scarpate poco evidenti alte circa 1 m. Il paleoalveo è attraversato dall'A1 in due punti: alla pk 20+050 c.a. ed alla pk 21+810 c.a.. Gli elementi principali del reticolo idrografico artificiale che interessano il tracciato in quest'ultima tratta sono la Roggia Barbavara (pk 21+300 c.a.) ed il Cavo Sillaro (pk 21+800 c.a.), che scorre parallelo all'autostrada A1, a valle di essa.

## 10 PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

In questo ambito si ribadiscono le criticità geologiche che possono avere grande influenza per la progettazione delle opere:

- a causa della natura fortemente eteropica dei terreni afferenti al progetto, la forma e l'estensione delle lenti limoso-argillose possono variare in modo inatteso sia arealmente sia in profondità;
- presenza localizzata di livelli di materiale fine/torba compressibile che possono dar luogo a cedimenti significativi ed anche di tipo differenziale;
- le litologie a prevalente componente sabbiosa risultano potenzialmente compatibili con fenomeni di liquefazione che potrebbero verificarsi in occasione di eventi sismici di particolare intensità;
- la presenza di edifici civili ed industriali e di altre infrastrutture in prossimità delle opere di progetto rappresenta un elemento da considerare con la massima attenzione, in quanto una variazione inopportuna dello stato tensionale dei terreni dovuta alla realizzazione di scavi, emungimenti, riporti, ecc. può generare lesioni;
- saltuaria presenza, nell'ambito dei rilevati esistenti, di materiale di scarse caratteristiche geotecniche (es. sondaggio ML11, eseguito in sede alla progressiva 15+630 c.a.);
- soggiacenza della falda prossima al piano campagna;
- per quanto riguarda il rischio di dissesto idrogeologico, il territorio è stato interessato, anche in tempi molto recenti, da esondazioni del Lambro. Tra gli abitati di Vizzolo Predabissi e Cerro al Lambro, il PTCF della Provincia di Milano indica una fascia "a rischio molto elevato";
- in termini di pericolosità idraulica, con particolare riferimento alla cartografia redatta nell'ambito del P.G.R.A "Reticolo naturale principale" dall'Autorità di Bacino del Po, si segnala l'interferenza tra il tracciato oggetto di potenziamento ed un areale soggetto a pericolosità alluvionale elevata in corrispondenza dell'attraversamento del Fiume Lambro;
- secondo l'INGV è presente una struttura tettonica interferente con il tracciato di progetto identificata come "faglie capaci", ossia faglia "sismica" con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni, potenzialmente in grado di produrre deformazioni in superficie.