

autostrade // per l'italia

AUTOSTRADA (A1) : MILANO NAPOLI

AMPLIAMENTO ALLA QUARTA CORSIA
DEL TRATTO MILANO SUD (Tang. Ovest) – LODI

PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA–GEOMORFOLOGICA

IL GEOLOGO Dott. Vittorio Boerio O.G. Lombardia N. 794 RESPONSABILE UFFICIO GEO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Massimiliano Giacobbi Ord. Ingg. Milano N. 20746 RESPONSABILE AREA DI PROGETTO MILANO	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE FUNZIONE STP
--	---	--

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO				DATA: APRILE 2011	REVISIONE							
	DIRETTORIO		FILE			n.	data						
—	codice commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo									
—	1	1	0	1	5	9	0	1	GE00001	—	—		

 Ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Federica Ferrari	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	Dott. Luciano Cagnola
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	Dott. Luciano Cagnola
CONSULENZA A CURA DI :	—	IL RESPONSABILE GEI	Ing. Tiziano Collotta – O.I. Lecco N. 122

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE 	VISTO DEL CONCEDENTE 
---	---	--

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E PALEGEOGRAFICO	4
3	METODOLOGIA DI STUDIO	9
3.1	FOTOINTERPRETAZIONE.....	10
3.2	RILEVAMENTO	12
3.3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	14
3.3.1	<i>Indagini pregresse.....</i>	<i>14</i>
3.3.2	<i>Indagini geognostiche 2010-2011</i>	<i>16</i>
4	GEOMORFOLOGIA.....	18
4.1	INQUADRAMENTO GENERALE	18
4.2	RETICOLO IDROGRAFICO	19
4.2.3	<i>Fiume Lambro</i>	<i>19</i>
4.2.4	<i>Reticolo idrografico secondario ed artificiale</i>	<i>20</i>
4.3	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) E PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (P.T.C.P.).....	22
5	CENNI DI IDROGEOLOGIA	26
5.1	CARATTERISTICHE DELLA FALDA FREATICA.....	26
6	CARTOGRAFIA TEMATICA E LEGENDE	27
6.1	GEOLOGIA.....	27
6.2	GEOMORFOLOGIA	29
6.3	VINCOLI.....	32
7	ELEMENTI DI SISMICA GENERALE.....	33
8	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO E DEGLI ELEMENTI DI MAGGIORE INTERESSE INGEGNERISTICO	43

8.1	DA KM 4+882 (INIZIO INTERVENTO) A KM 11+030 C.A.	43
8.2	DA KM 11+030 C.A. A KM 13+050 C.A.	44
8.3	DA KM 13+050 C.A. A KM 21+922 (FINE INTERVENTO)	45
9	BIBLIOGRAFIA.....	46

1 INTRODUZIONE

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 attraversati dall'ampliamento alla quarta corsia del tratto dell'Autostrada A1 tra Milano Sud e Lodi; 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 ad oggi 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 (reperate da bibliografia e dai sondaggi appositamente realizzati).

2 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.

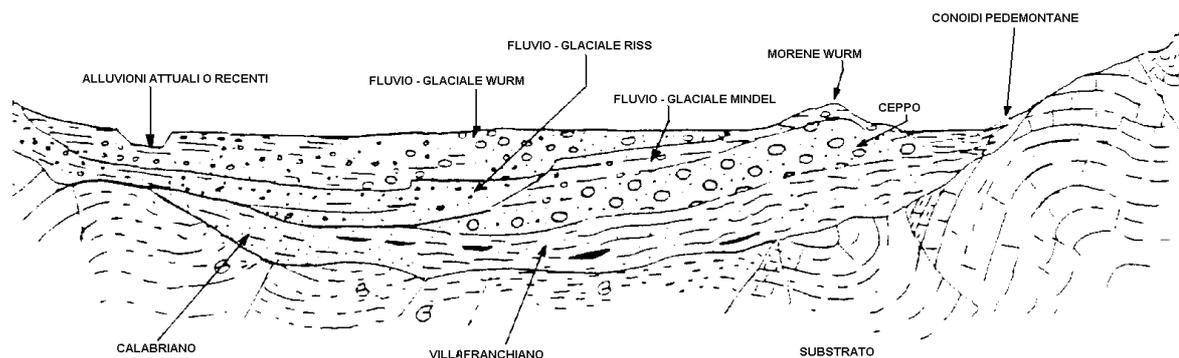


Fig. 1 - Schema stratigrafico di sintesi riferibile alla Pianura Padana

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 - Wurm (individuate in zone a nord delle Alpi) e permettono il riconoscimento di periodi glaciali di valenza locale.

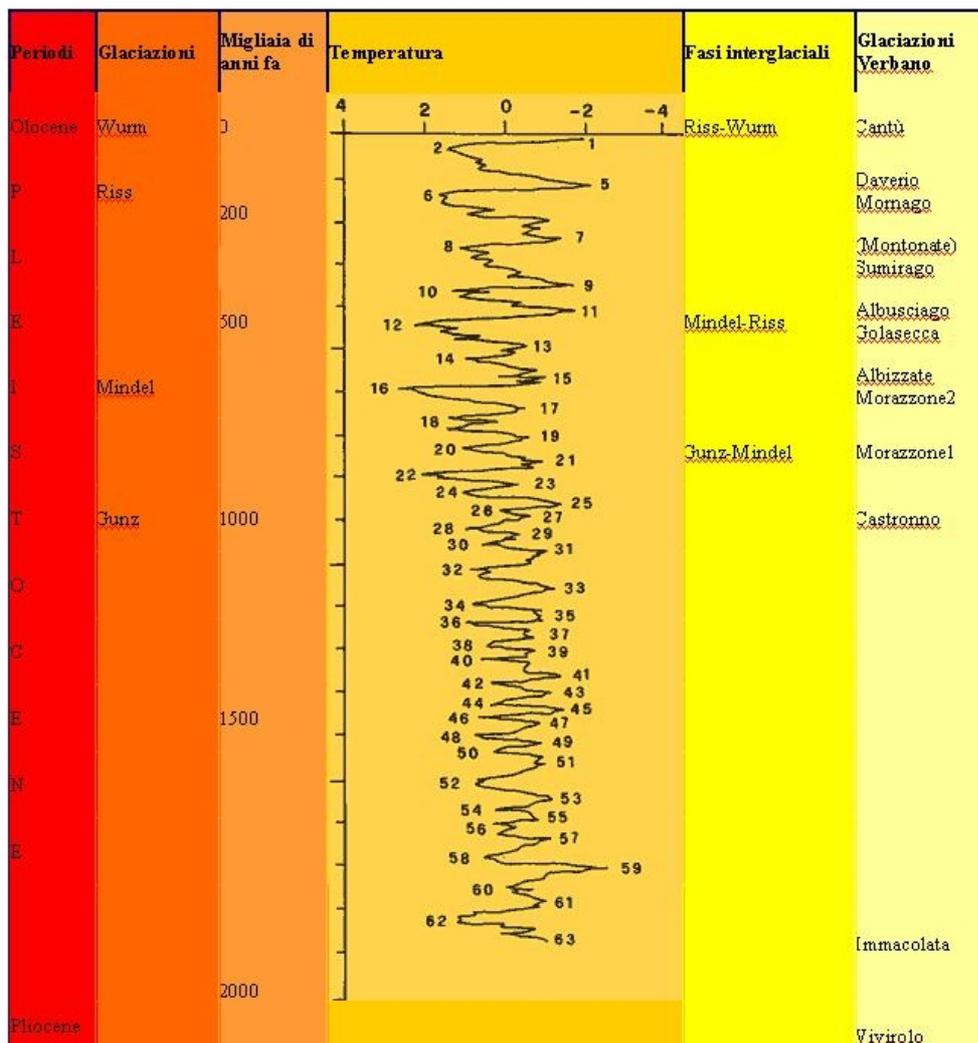


Fig. 2 - Fasi glaciali e interglaciali

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

Fluvioglaciale Riss: depositi costituiti da ciottoli ben arrotondati con ghiaie, immersi in una matrice sabbiosa giallo - oca. 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 rinvengono 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.

3 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. 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 approntata una nuova cartografia CARG con distinzione delle unità in alloformazioni; in ogni caso, vista la finalità applicativa dello studio, le distinzioni proposte dalla cartografia ufficiale – più legate alle caratteristiche granulometrie dei materiali – mantengono la loro validità.
- 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;
- Servizio di cartografia *online* GeoPortale della Regione Lombardia: <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>, messo a disposizione dall'ITT (Infrastruttura Informazione Territoriale);
- Servizio di cartografia *online* GeoPortale della Provincia di Lodi: <http://cartografia.provincia.lodi.it/>;
- Piani cave provinciali (Province di Milano e Lodi);
- Strumenti urbanistici vigenti a livello comunale relativi ai comuni interessati dal tracciato dell'A1 e da un'intorno di 1 km ai lati di esso.

A valle del recepimento di tutta 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 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
- Stratigrafie di pozzi fornite da ARPA - Dipartimento di Lodi

3.1 FOTINTERPRETAZIONE

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 sui 135 fotogrammi di un volo appositamente realizzato lungo il tracciato da BLOM – Compagnia Generale Riprese aeree 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.

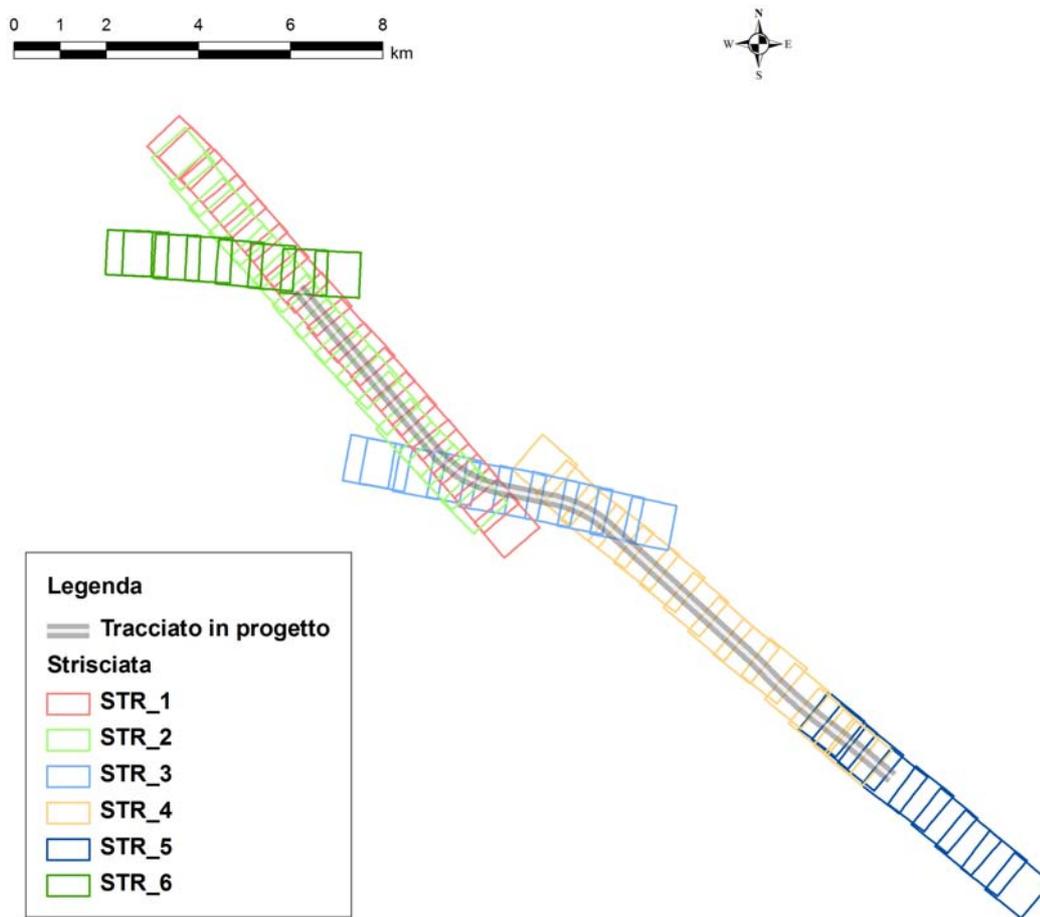


Fig. 3 - Schema delle strisciate utilizzate per la fotointerpretazione con evidenziato il tracciato del tratto Milano Sud-Lodi dell'autostrada A1.

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

3.2 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.

3.3 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.

3.3.1 Indagini pregresse

In prima battuta si è provveduto a reperire tutti i dati disponibili (presso Enti, privati o indagini pregresse realizzate da Autostrade all'interno dell'area in esame) per una fascia molto più ampia di quella riportata nelle planimetrie allegate al presente progetto.

Committente/Ente	Progetto	Anno	N. e tipo di indagine
Autostrade S.p.A.	Ampliamento III corsia – tratto Milano- Piacenza Sud	1987	9 pozzetti (eseguiti in sede stradale)
Autostrade S.p.A.	Barriera Milano Sud	1979	7 sondaggi + 3 CPT
Società italiana per le strade ferrate del Mediterraneo	Autostrada Milano – Roma – Napoli 2° Lotto	-	9 sondaggi
Autostrade S.p.A.	Area di Servizio S. Zenone Est	2006	7 sondaggi
Autostrade S.p.A.	Area di Servizio S. Zenone Ovest	2004	38 sondaggi
Spea S.p.A.	Tangenziale Est Esterna di Milano	2003	1 sondaggio
CEPAV UNO	Sistema A.V. – Tratta Milano-Bologna	1992	38 sondaggi + 60 CPT
ARPA Lodi	-	-	113 pozzi con stratigrafia

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.

3.3.2 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.

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 Villaresi.

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

4.2.3 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 km².

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.

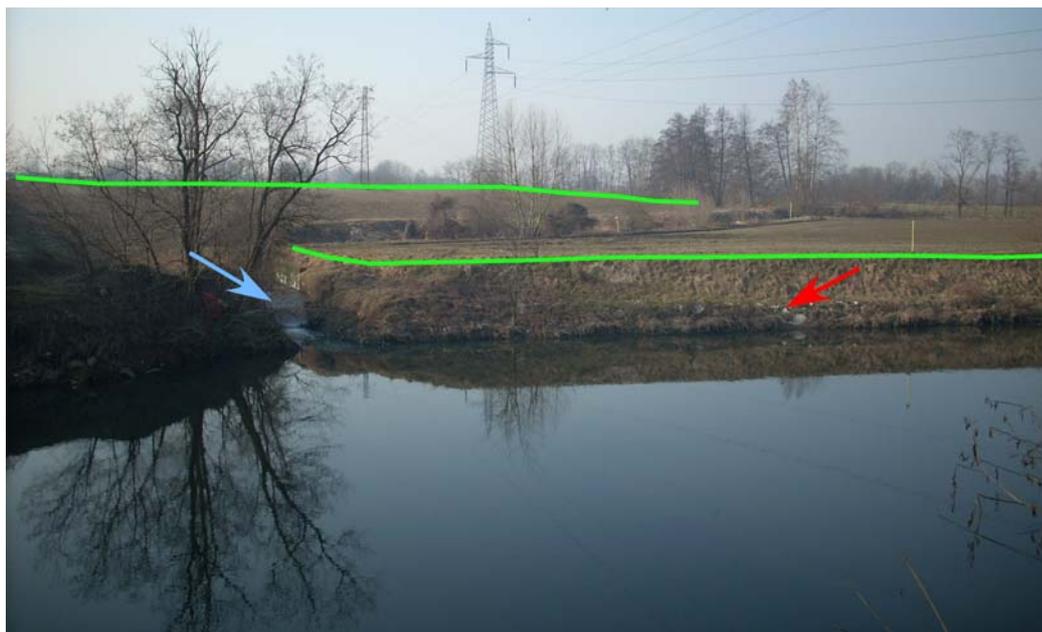


Fig. 7 - Fiume Lambro a monte del ponte dell'A1 a San Zenone al Lambro. Sono visibili due ordini di terrazzi evidenziati dalle linee verdi, l'immissione della Roggia Viscontea indicata dalla freccia azzurra e difese spondali indicate dalla freccia rossa.

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.

4.2.4 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. 8 - 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. 9 - 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 (PAI) E PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (P.T.C.P.)

Il PAI del Bacino del Fiume Po, 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 subrettilinei, 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 meandriiformi 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 ²)	Conoide (km ²)	Esondazione montagna (km ²)	Esondazione pianura (km ²)	Fascia B PAI (km ²)	Fascia B PSFF (km ²)	Fluvio Torrentizi (km)	Frana osservata (km ²)	Frana potenziale (km ²)	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).

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.

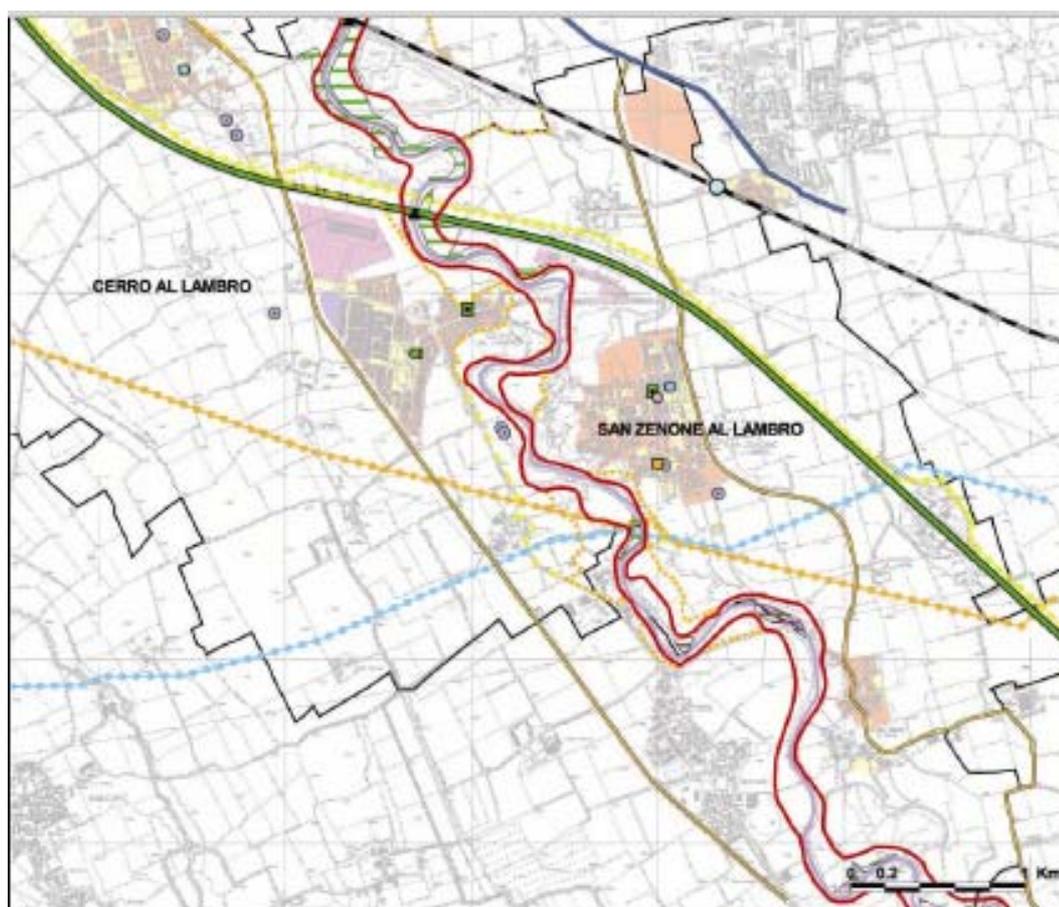


Fig. 10 - Protezione Civile - Macroscenari relativi al rischio di esondazione – Comuni di Cerro e S. Zenone al Lambro

5 CENNI DI IDROGEOLOGIA

La successione idrogeologica dell'area è caratterizzata da più falde idriche sotterranee sovrapposte, separate tra loro da orizzonti argilloso - limosi non sempre continui, la cui presenza tende ad aumentare con la profondità. In particolare, si osserva una progressiva diminuzione della granulometria dei terreni in senso verticale, riferibile a diverse fasi di deposizione, che comporta la formazione di tre acquiferi distinti.

Il primo acquifero è costituito da una successione di depositi grossolani, che presentano spessore di circa 40-50 m, in cui è contenuta la prima falda.

Il secondo acquifero è costituito da una successione ghiaioso - sabbiosa con frequenti diaframmi argillosi che occupano l'intervallo da 40-50 m fino a 100-110 m di profondità. I livelli argillosi del secondo acquifero non sono continui quindi il primo acquifero risulta genericamente intercomunicante con il secondo.

Il terzo acquifero, in cui si riconoscono depositi prevalentemente argillosi contenenti sabbie e ghiaie, sede di una modesta circolazione idrica, si colloca oltre i 100-110 m di profondità e risulta in condizioni di pressione.

5.1 CARATTERISTICHE DELLA FALDA FREATICA

I depositi wurmiani e le alluvioni recenti ed attuali, caratterizzate dalla predominanza di sabbia, vengono considerati come un acquifero multifalde, penalizzato dalla carenza e discontinuità di livelli a bassa permeabilità in grado da garantire una protezione delle acque immagazzinate dal rischio di inquinamento.

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 studio si rimanda alla specifica relazione idrogeologica.

6 CARTOGRAFIA TEMATICA E LEGENDE

6.1 GEOLOGIA

Sulla base dei dati bibliografici, dei rilievi in sito e delle indagini geognostiche 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 1:5000/500 e scala 1:5000/5000, ed una planimetria geomorfologica/dei vincoli alla scala 1:5000.

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); 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 ed è stata concepita in maniera tale da riportare i corsi d'acqua naturali, i corsi d'acqua secondari (per lo più artificiali) e la perimetrazione della discarica di Vizzolo Predabissi.

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

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: per ottenere informazioni dettagliate circa la posizione e lo spessore dei livelli organici è possibile fare riferimento a quanto riportato nelle singole stratigrafie.

Il presente studio ha inoltre consentito di verificare la buona congruenza tra la granulometria dei terreni superficiali indicati dalla Regione Lombardia ed i dati geognostici acquisiti direttamente in sito.

6.2 GEOMORFOLOGIA

La legenda geomorfologica distingue cinque gruppi di tematismi utili alla valutazione del territorio:

- reticolo idrografico naturale ed antropico;
- forme fluvio-denudazionali;
- pericolosità geomorfologica (PAI – Autorità di Bacino del Fiume Po);
- depositi quaternari;
- 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;

La pericolosità geomorfologica legata alla dinamica del Lambro e desunta dal PAI, 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 carta geomorfologica e dei vincoli, laddove i limiti tra le fasce fluviali coincidono, è stato riportato unicamente il limite più esterno.

I depositi quaternari, coerentemente con la descrizione geologica dell'area studiata, sono stati suddivisi in:

- alluvioni recenti ed attuali;
- alluvioni antiche terrazzate;
- depositi fluviali e fluvioglaciali del Wurm;

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.



Fig. 11 - Discarica di rifiuti solidi urbani a Cerro al Lambro-Vizzolo Predabissi.

La suddivisione adottata tiene conto della natura geomorfologica delle forme e dei depositi ed anche delle potenziali interferenze dei medesimi con l'opera in progetto. In particolare, per questo secondo aspetto, le sezioni sopra descritte individuano per tipologia gli elementi che potrebbero provocare interferenze con il tracciato in progetto e pericolo geomorfologico per il territorio.

6.3 VINCOLI

I vincoli insistenti sul territorio e riportati nella planimetria geomorfologica e dei vincoli possono essere suddivisi in due gruppi: le aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee ad uso potabile pubblico ed i vincoli paesaggistici.

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'insieme 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.

7 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE

I Comuni interessati dall'opera in oggetto (S. Giuliano Milanese, Melegnano, Cerro al Lambro, S. Zenone al Lambro, Lodi Vecchio e Borgo San Giovanni), ai sensi del Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 n°3274 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* (Allegato 1), venivano classificati sismici in zona 4; successivamente, la pericolosità sismica veniva rappresentata dalle “Hazard Maps” dell'istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia (aggiornate ad aprile 2004).

Il 4 febbraio 2008 sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture). L'allegato A di tali Norme prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia (INGV) (<http://esse1.mi.ingv.it/ntc.html>).

Le stime di pericolosità sismica proposte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica; tali parametri sono proposti nell'allegato A del Decreto Ministeriale.

Di seguito si riportano le risultanze derivate dal programma sperimentale Spettri-NTC ver.1.0.3.xls, che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale, con particolare riferimento ai valori massimi (o picco) di accelerazione del suolo attesi forniti dal Ministero delle Infrastrutture e relativi ai territori comunali entro cui ricade l'opera in progetto.

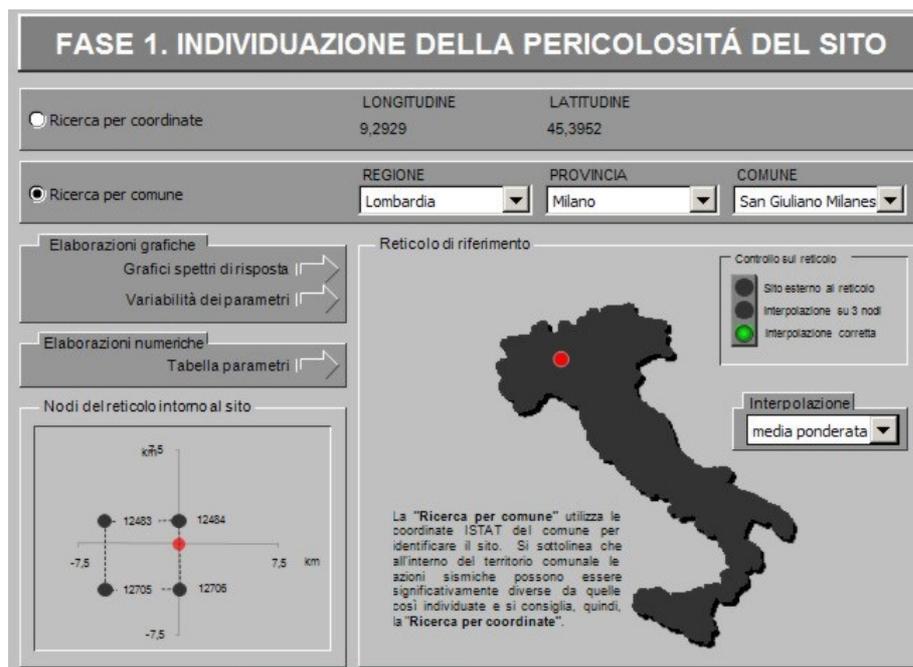


Fig. 9 – Programma sperimentale " Spettri di risposta " (Spettri-NTC vers. 1.0.3) - Comune di S. Giuliano Milanese.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,021	2,550	0,179
50	0,027	2,549	0,200
72	0,031	2,556	0,215
101	0,035	2,574	0,226
140	0,038	2,590	0,243
201	0,043	2,575	0,266
475	0,056	2,627	0,283
975	0,069	2,645	0,296
2475	0,088	2,700	0,314

Fig. 10 – Valori dei parametri a_g , F_o , T_c per il periodo di ritorno T_R di riferimento - Comune di S. Giuliano Milanese.

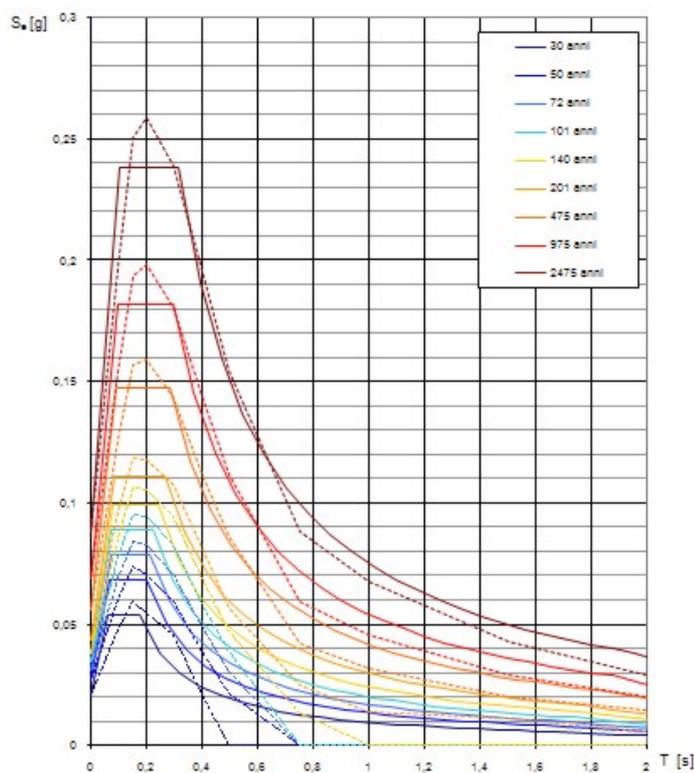


Fig. 11 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno TR di riferimento (con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati) – Comune di S. Giuliano Milanese.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
9,325

LATITUDINE
45,3597

Ricerca per comune

REGIONE
Lombardia

PROVINCIA
Milano

COMUNE
Melegnano

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta ▶▶▶

Variabilità dei parametri ▶▶▶

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri ▶▶▶

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

media ponderata ▶

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle posti individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito

Fig. 12 – Programma sperimentale " Spettri di risposta " (Spettri-NTC vers. 1.0.3) - Comune di Melegnano.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C [s]
30	0,022	2,548	0,182
50	0,028	2,540	0,204
72	0,033	2,560	0,218
101	0,037	2,576	0,229
140	0,041	2,578	0,252
201	0,046	2,563	0,268
475	0,060	2,614	0,286
975	0,075	2,626	0,294
2475	0,099	2,644	0,311

Fig. 13 – Valori dei parametri a_g , F_o , T_c per il periodo di ritorno T_R di riferimento - Comune di Melegnano.

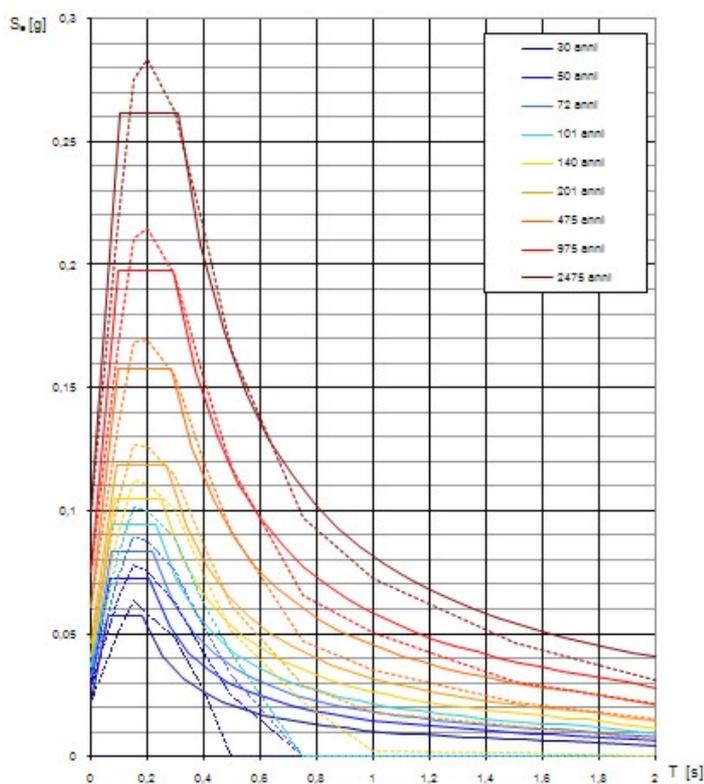


Fig. 14 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento (con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati) – Comune di Melegnano.

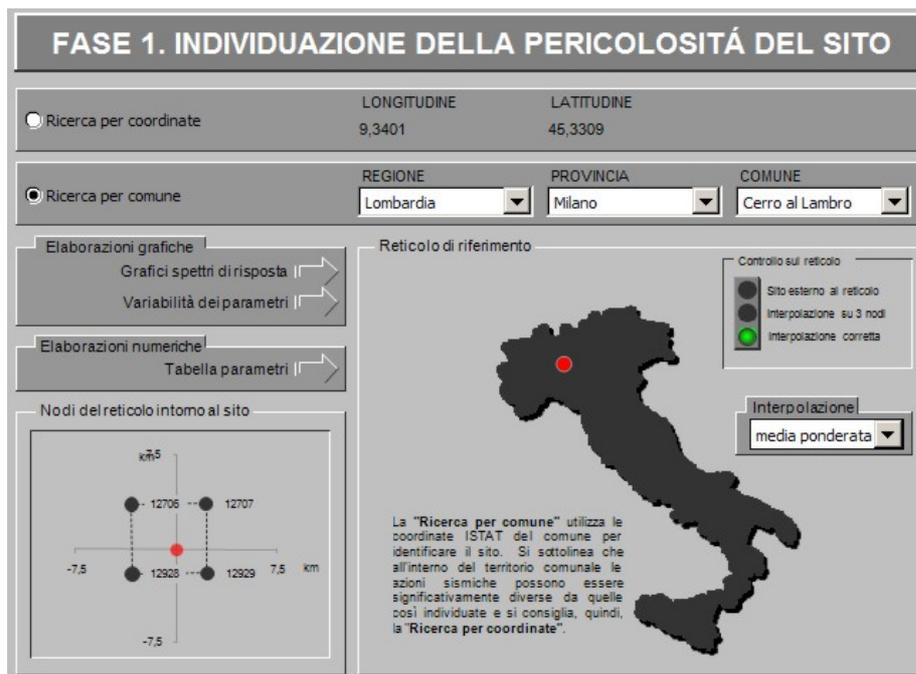


Fig. 15 – Programma sperimentale " Spettri di risposta " (Spettri-NTC vers. 1.0.3) - Comune di Cerro al Lambro.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,023	2,547	0,183
50	0,029	2,540	0,205
72	0,033	2,561	0,219
101	0,037	2,577	0,230
140	0,041	2,572	0,254
201	0,047	2,562	0,268
475	0,062	2,606	0,286
975	0,077	2,619	0,294
2475	0,102	2,625	0,309

Fig. 16 – Valori dei parametri a_g , F_o , T_c per il periodo di ritorno T_R di riferimento - Comune di Cerro al Lambro.

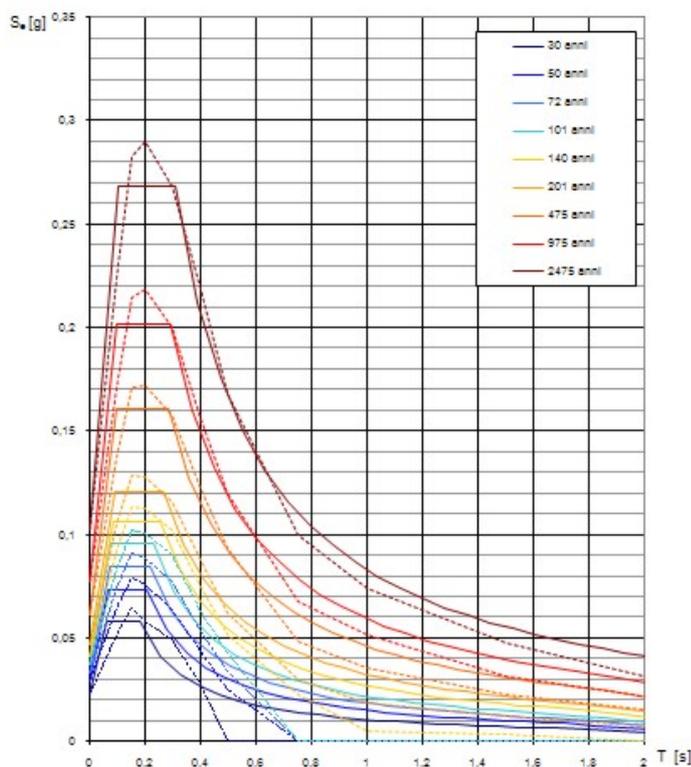


Fig. 17 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno TR di riferimento (con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati) – Comune di Cerro al Lambro.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
9,3563

LATITUDINE
45,3282

Ricerca per comune

REGIONE
Lombardia

PROVINCIA
Milano

COMUNE
San Zenone al Lambro

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta ▶

Variabilità dei parametri ▶

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri ▶

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione
 media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Fig. 18 – Programma sperimentale " Spettri di risposta " (Spettri-NTC vers. 1.0.3) - Comune di San Zenone al Lambro.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,023	2,546	0,183
50	0,029	2,541	0,206
72	0,033	2,562	0,219
101	0,037	2,577	0,230
140	0,042	2,569	0,256
201	0,047	2,563	0,267
475	0,062	2,603	0,287
975	0,078	2,619	0,294
2475	0,103	2,620	0,309

Fig. 19 – Valori dei parametri a_g , F_o , T_c per il periodo di ritorno T_R di riferimento - Comune di San Zenone al Lambro.

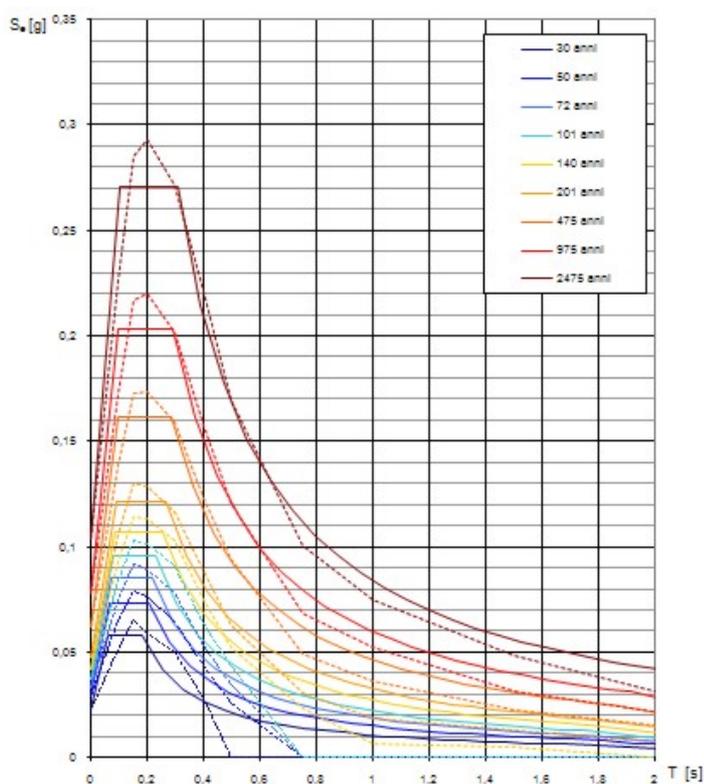


Fig. 20 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento (con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati) – Comune di San Zenone al Lambro.



Fig. 21 – Programma sperimentale " Spettri di risposta " (Spettri-NTC vers. 1.0.3) - Comune di Lodivecchio.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,024	2,522	0,187
50	0,031	2,548	0,210
72	0,035	2,568	0,223
101	0,039	2,581	0,241
140	0,045	2,547	0,262
201	0,051	2,570	0,266
475	0,067	2,582	0,287
975	0,085	2,585	0,295
2475	0,115	2,579	0,305

Fig. 22 – Valori dei parametri a_g , F_o , T_c per il periodo di ritorno T_R di riferimento - Comune di Lodivecchio.

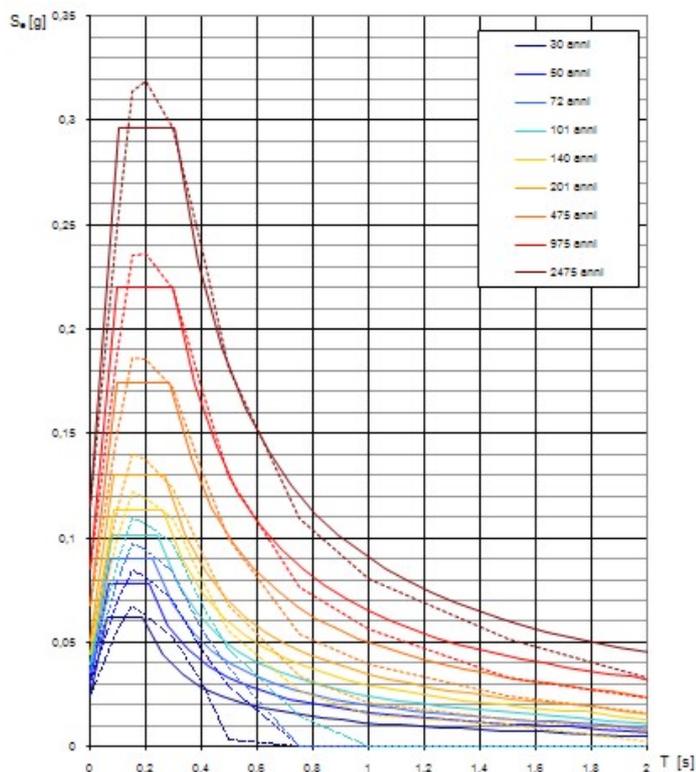


Fig. 23 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno TR di riferimento (con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati) – Comune di Lodivecchio.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
9,436

LATITUDINE
45,2788

Ricerca per comune

REGIONE
Lombardia

PROVINCIA
Lodi

COMUNE
Borgo San Giovanni

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione
 media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Fig. 24 – Programma sperimentale " Spettri di risposta " (Spettri-NTC vers. 1.0.3) - Comune di Borgo San Giovanni.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,025	2,517	0,192
50	0,031	2,550	0,211
72	0,035	2,569	0,223
101	0,040	2,580	0,243
140	0,045	2,543	0,262
201	0,052	2,569	0,266
475	0,069	2,575	0,286
975	0,088	2,569	0,295
2475	0,119	2,558	0,304

Fig. 25 – Valori dei parametri a_g , F_o , T_c per il periodo di ritorno T_R di riferimento - Comune di Borgo San Giovanni.

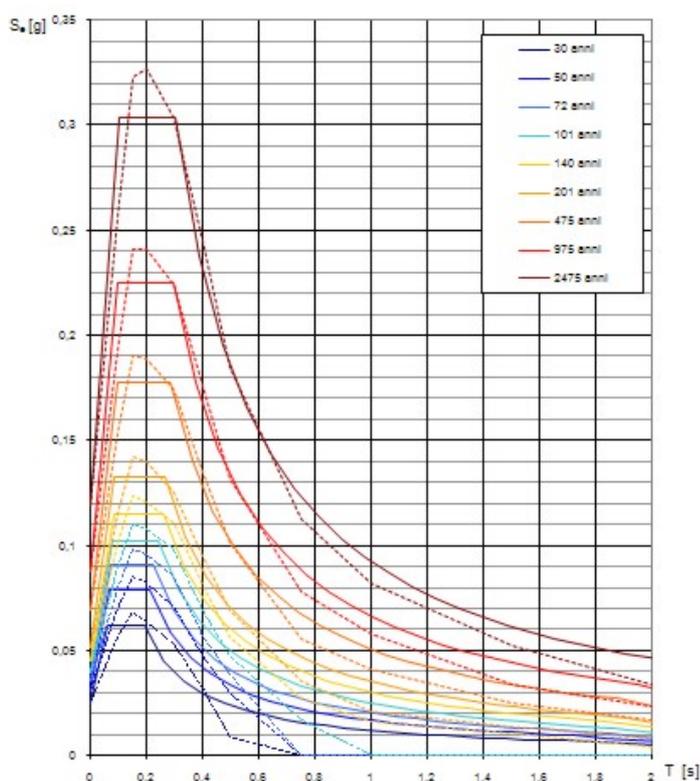


Fig. 26 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento (con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati) – Comune di Borgo San Giovanni.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda alla relazione geotecnica di dettaglio.

8 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO E DEGLI ELEMENTI DI MAGGIORE INTERESSE INGEGNERISTICO

Nell'ambito del presente capitolo si descrivono, da nord a sud, gli elementi geologici – geomorfologici dell'area di progetto e si riportano considerazioni utili nell'ambito della progettazione di ampliamento previsto per la tratta autostradale in oggetto.

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

8.1 DA KM 4+882 (INIZIO INTERVENTO) A KM 11+030 C.A.

La tratta ricade in un'unica unità litologico - stratigrafica, di origine fluvioglaciale e fluviale wurmiana; in particolare (si vedano i sondaggi proiettati in profilo) all'interno di sedimenti prevalentemente granulari sono presenti ampie lenti di materiale prevalentemente fine (pertanto 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. circa con pendenze deboli. A valle del tracciato in progetto, tra inizio intervento e la Km 7+300 c.a. è presente un paleoalveo con andamento da nord ovest a sud est; altri paleoalvei sono stati riconosciuti in prossimità del F. Lambro, a monte e a valle del tratto di esso compreso tra le pk 10+200 e 11+000. Queste forme di erosione, attualmente disconnesse dal reticolo idrografico, non coinvolgono l'opera.

Come per il resto del territorio interessato dal tratto di A1 in oggetto, il reticolo idrografico è articolato ed essenzialmente formato da canali artificiali e fossi con 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), il Cavo Annoni (pk 7+430), la Roggia Viscontea (pk 8+300 e 9+600), la Roggia Spazzola (pk 10+350).

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

8.2 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 materiali 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 è possibile osservare la presenza (al di sotto di coltre di deposito antropico) di una decina di metri di terreni alluvionali prevalentemente granulari, contenenti sottili interlivelli coesivi; al di sotto è evidenziabile la presenza di una lente di materiale fine di spessore dell'ordine di 4-5m. Più in profondità i terreni attraversati 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.

Il tratto in oggetto è posto a cavallo del F. Lambro (pk 11+790) e comprende le forme erosionali ad esso attribuibili. Sono 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 e 11+810. 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 alla pk 11+600 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.

8.3 DA KM 13+050 C.A. A KM 21+922 (FINE INTERVENTO)

Si ritorna nel fluvioglaciale e fluviale wurmiano. In superficie il materiale varia da sabbie frammiste a locali depositi fini (limi e argille) e ghiaie, a sabbie con depositi fini e ghiaie, a limi prevalenti, a limi 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 e locale torba; oltre la suddetta progressiva, per tutta la rimanente tratta, risulta la presenza di prevalenti sabbie e ghiaie con livelli di vario spessore di argille e limi. Alcuni sondaggi hanno evidenziato anche in questa zona la presenza di torba.

Fino alla pk 19+900 c.a. la morfologia appare pianeggiante con debole pendenza verso sud. Non ci sono forme di rilievo e gli unici elementi segnalabili sono i principali corsi d'acqua artificiali che intersecano l'autostrada. Essi sono il Cavo Marocco (pk 13+260), la Roggia Triulza (pk 17+320) ed il Cavo Sillaro (pk 18+430). 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 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 ed alla pk 21+810. Gli elementi principali del reticolo idrografico artificiale che interessano il tracciato in quest'ultima tratta sono la Roggia Barbavara (pk 21+300) ed il Cavo Sillaro (pk 21+800), che scorre parallelo all'autostrada A1, a valle di essa.

9 BIBLIOGRAFIA

Autorità di Bacino del Fiume Po. 1999 (a). *Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi - Bacino del Lambro*

Autorità di Bacino del Fiume Po. 1999 (b). *Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).*

Autorità di Bacino del Fiume Po. 1999 (c). *Allegato 2 all'Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici - Quadro di sintesi dei fenomeni di dissesto a livello comunale.*

Comune di Borgo San Giovanni. 2004. *Studio Geologico generale a supporto del PRG comunale comprensivo di adeguamento al P.A.I. e di individuazione del reticolo idrico minore.*

Comune di Carpiano. 2009. *Piano di Governo del Territorio – Tavola DP9, Carta dei vincoli.*

Comune di Cerro al Lambro. 2010. *Piano di Governo del Territorio – Tavola DA.02, Documento di Piano Vincoli sovraordinati.*

Comune di Lodi Vecchio. 2006. *Piano Regolatore Variante Generale.*

Comune di Melegnano. 2009. *Studio Geologico, Idrogeologico e Sismico del Territorio Comunale. Aggiornamento ai sensi della l.r. 12/05.*

Comune di Pieve Fissiraga. 2003. *Variante Generale di PRG – 16-tavola dei vincoli.*

Comune di San Giuliano Milanese. 2009. *Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio di Comune di San Giuliano Milanese (MI).*

Comune di Tavazzano con Villavesco. 2009. *Piano di Governo del Territorio – Tavola n° T7, Quadro conoscitivo e ricognitivo: vincoli.*

Comune di Tavazzano con Villavesco. 2008. *Piano di Governo del Territorio – Componente geologica e sismica.*

Comune di Vizzolo Predabissi. 2010. *P.G.T. Piano di Governo del Territorio – Componente geologica, idrogeologica e sismica.*

Finckh P. G., Kerry K., Lambert A..1984. *Seismic stratigraphy and bedrock forms in perialpine lakes.* Geological Society of America Bulletin, 95

Provincia di Lodi – Settore Tutela Territoriale ed ambientale. 2004. *Piano cave.*

Provincia di Milano. 2006. *Piano cave.*