

autostrade // per l'italia

AUTOSTRADA (A4) : TORINO – VENEZIA

ADEGUAMENTO DELLO SVINCOLO DI DALMINE TRATTO: MILANO BERGAMO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA

IL GEOLOGO

Dott. Vittorio Boerio
Ord. Geol. Lombardia N.794
RESPONSABILE GEOLOGIA

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Andrea Ceppi
Ord. Ingg. Milano N. A26059

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Orlando Mazza
Ord. Ingg. Pavia N. 1496
PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO				RIFERIMENTO DIRETTORIO						RIFERIMENTO ELABORATO				Ordinatore:
Codice	Commessa	Lotto, Sub-Prog, Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	tipologia	WBS progressivo	PARTE D'OPERA		Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	---
1	10402	LL00	PP00	0000	0000	0000	0000	000000	000000	R	GE	000010	0	SCALA:
														-

 gruppo Atlantia	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:		REVISIONE				
	Ing. Paolo Simonetta Ord. Ingg. Varese N. 2239				n.	data			
					0	LUGLIO 2017			
					1	-			
					2	-			
REDATTO:		-		VERIFICATO:		-		3	-
								4	-

VISTO DEL COMMITTENTE

autostrade // per l'italia

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Stefano Storoni

VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	5
3. MODELLO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	7
3.1 RICERCA BIBLIOGRAFICA	7
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E PALEOGEOGRAFICO	8
3.3 PLANIMETRIA GEOLOGICA	14
3.3 UNITA' DEL SOTTOSUOLO.....	17
3.4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	22
4. MODELLO IDROGEOLOGICO D'INQUADRAMENTO.....	28
4.1 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	28
4.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	30
4.3 PIEZOMETRIA DELLA PRIMA FALDA	33
4.4 PERMEABILITÀ.....	37
4.5 CENSIMENTO DEI POZZI	39
4.6 PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO	40
4.7 PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI	41
5. ANALISI CLIMATOLOGICA DELL'AREA.....	44
5.1 ANALISI STORICA DELLE PIOGGE	45
5.2 ANALISI STORICA DELLE TEMPERATURE.....	46
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	49
7. ELEMENTI DI SISMICA GENERALE	52

8.	REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA.....	67
9.	DESCRIZIONE GEOLOGICA DEL PROGETTO	70
10.	PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO.....	72

ALLEGATI

Allegato 1 - Carta geologica geomorfologica con ubicazione delle indagini geognostiche

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è stata redatta a supporto del progetto di fattibilità di adeguamento dello svincolo di Dalmine. Si illustra la natura geologica dei terreni interessati dalle opere definendo 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, 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 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 (pozzi per acqua, sondaggi geognostici, ecc.), che consentono una interpretazione dei depositi del sottosuolo al di sotto del terreno di coltivo o di riporto.

I dati utilizzati per la redazione della carta geologica a scala 1:5000 sono stati ricavati dall'analisi critica dei dati bibliografici, integrata da apposite campagne geognostiche e da un censimento dei pozzi nell'intorno dell'asse di progetto (dati forniti da Provincia di Bergamo - Siter).

La presente relazione contiene anche un capitolo di sismica generale, che inquadra il territorio dal punto di vista della sismicità; ed un capitolo di inquadramento idrogeologico, che espone un quadro conoscitivo utilizzabile come punto di partenza per studi quantitativi di idrologia sotterranea.

La definizione dell'accelerazione sismica di riferimento, della quota di falda di progetto, delle interferenze fra infrastruttura e la falda idrica, 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. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La fascia di territorio interessata dal progetto è ubicata ad Ovest di Bergamo, ricade interamente nella omonima provincia ed interessa il comune di Dalmine al limite col confine comunale di Stezzano.

In particolare l'area è delimitata ad est dalla Tangenziale di Bergamo, a nord dall'autostrada A4, a ovest dall'abitato e dal cimitero di Sabbio Bergamasco (frazione del comune di Dalmine).

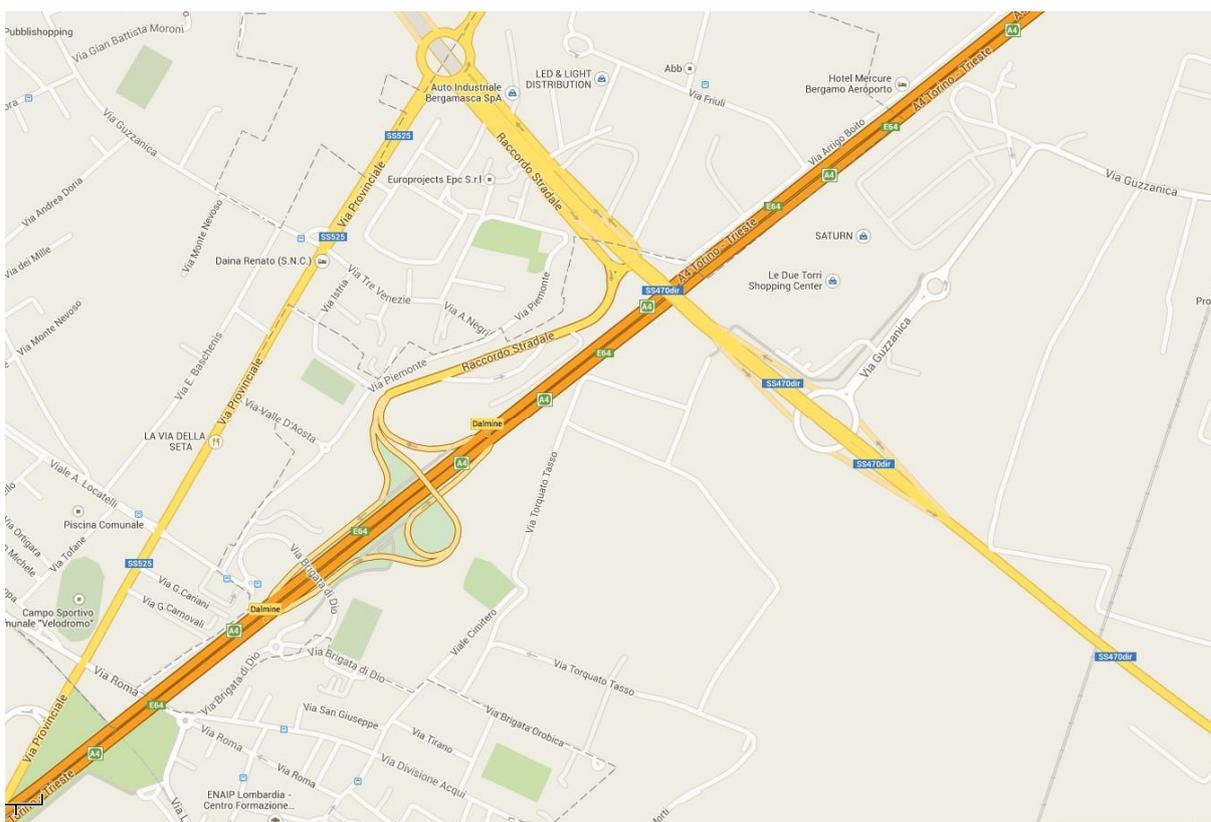


Figura 1: Inquadramento geografico dell'area



Figura 2: Inquadramento geografico dell'area da Google Earth

3. MODELLO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 RICERCA BIBLIOGRAFICA

La prima fase del lavoro è consistita nel reperire 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 46 – Treviglio. Tale documento risale agli anni '60 e presenta ancora una suddivisione "tradizionale" delle unità del Quaternario.
- Carta Geologica a scala 1:50.000 (CARG): Foglio 97 – Vimercate in allestimento per la stampa e corredato dalle rispettive Note Illustrative in bozza. Tale documento, presente sotto forma di bozza sul sito http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/97_VIMERCATE/Foglio.html, presenta le distinzioni delle unità in alloformazioni.
- Documentazione inerente la pianificazione territoriale reperibile nel sito della Provincia di Bergamo
<http://siter.provincia.bergamo.it/sitera2/ot/home/Interattiva.asp?Raggruppa=7>
<http://www.provincia.bergamo.it/ProvBgSettori/provBgSettoriHomePageProcess.jsp?myAction=&page=&folderID=594>
<http://pianoalluvioni.adbpo.it/mappe-del-rischio-2/download-mappe/>
- studio geologico annesso al Piani di Governo del Territorio del Comune di Dalmine, Febbraio 2011

Per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo e per l'inquadramento idrogeologico e climatico sono stati analizzati i seguenti documenti:

- Stratigrafie di pozzi fornite dalla Provincia di Bergamo (Siter)
<http://siter.provincia.bergamo.it/sitera2/ot/home/Interattiva.asp?Raggruppa=7>

- Ricostruzione della superficie piezometrica fornite da PTCP Provincia di Bergamo

<http://www.provincia.bergamo.it/ProvBgSettori/provBgSettoriHomePageProcess.jsp?myAction=&page=&folderID=594>

- Campagne d'indagine di precedenti progetti inerenti l'area d'interesse
- Campagne d'indagine appositamente eseguite lungo l'area d'interesse
- studio geologico annesso al Piani di Governo del Territorio del Comune di Dalmine, Febbraio 2011

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E PALEOGEOGRAFICO

L'area del progetto è costituita da depositi quaternari di età compresa tra il Pleistocene inferiore e l'Attuale.

L'assetto dell'area d'interesse 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, con l'aumento dell'azione erosiva sulla terraferma, la depressione pedemontana venne ricoperta da potenti coltri ghiaiose, localmente cementate a dare il "Ceppo".

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 (di cui solo le ultime tre sono presenti nella nostra Regione). 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.



Figura 3: Schemi paleogeografici

La massima espansione dei ghiacciai nell'area Prealpina, si ebbe durante il Mindel (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.

Il susseguirsi di periodi con climi sensibilmente differenti ha determinato successivi momenti 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 e alla conseguente creazione di una serie di terrazzi, sui quali si rinvengono tipici depositi eolici di clima più 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 e stanno portando al superamento delle classiche suddivisioni in Mindel – Riss - Wurm (individuate in zone a nord delle Alpi) con il riconoscimento di glaciazioni locali.

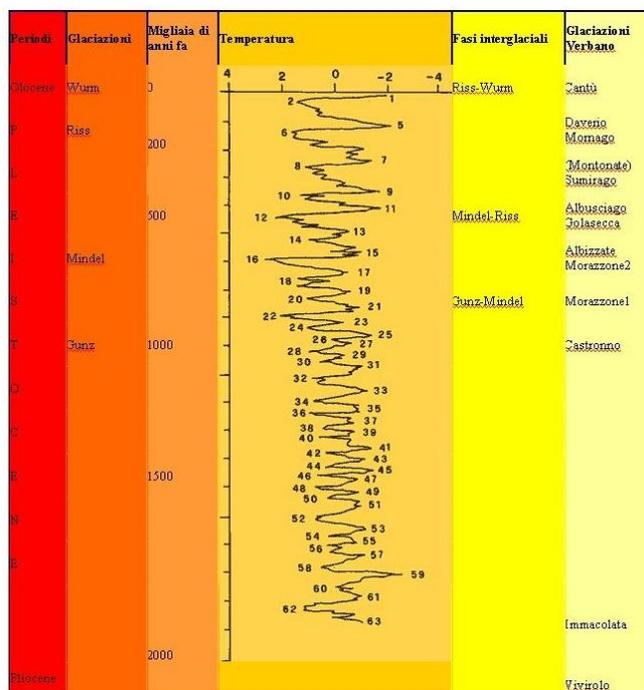


Figura 4: Fasi glaciali e interglaciali

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

Per quanto riguarda le unità riconosciute nelle carte geologiche di bibliografia (carta geologica a scala 1:100.000 e nuova cartografia CARG) occorre precisare che sono state redatte utilizzando differenti criteri di classificazione:

- il foglio Vimercate a scala 1:100.000 adotta ancora la suddivisione in depositi glaciali e fluvioglaciali Mindel/Riss/Wurm. Per quanto riguarda il sottosuolo, i vecchi studi (cfr. Pozzi e Francani, 1980) riconoscono la successione stratigrafica riportata nel seguente schema.

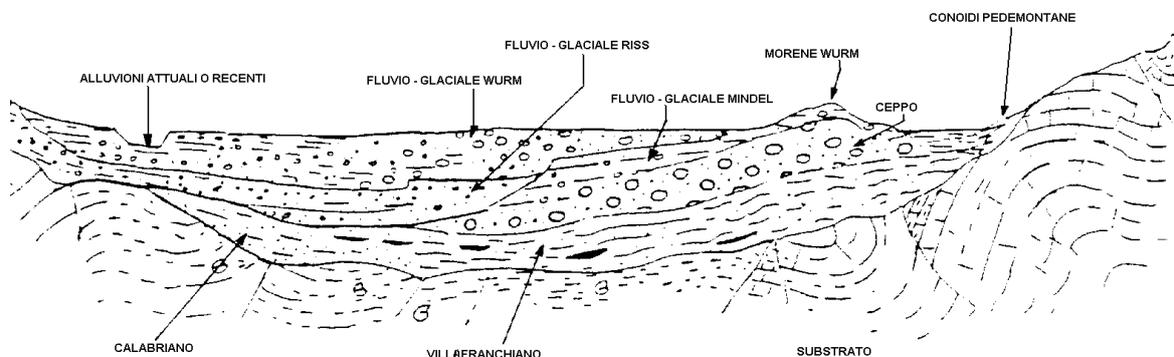


Figura 5: Schema stratigrafico di sintesi riferibile alla Pianura Padana

- il nuovo foglio CARG Vimercate a scala 1:50.000, invece, adotta la suddivisione in alloformazioni, distinguendo in planimetria vari Supersintemi e Sintemi

Il North American Stratigraphic Code definisce un'unità allostratigrafica come *un corpo di rocce cartografabile, che differiscono dalle unità sottostanti e soprastanti semplicemente per il fatto di essere separate da esse mediante superfici di discontinuità*; l'alloformazione comprende i sedimenti appartenenti ad un determinato evento deposizionale. La gerarchizzazione di queste unità è la seguente: allogruppo, alloformazione e allomembro.

In una unità allostratigrafica le caratteristiche interne (litologiche, tessiturali, fisiche, chimiche, paleontologiche, ecc.) possono variare sia lateralmente, sia verticalmente. I limiti delle unità allostratigrafiche sono costituiti da superfici di discontinuità cartografabili, ivi compresa l'attuale superficie topografica, che corrispondono a lacune stratigrafiche (per erosione o mancata sedimentazione) di estensione cronologica ed areale significativa.

L'interpretazione genetica, la storia geologica e l'età sono criteri che non possono essere utilizzati per definire un'unità allostratigrafica, ma possono però influenzare l'identificazione dei limiti. Suoli e paleosuoli non entrano direttamente nella

definizione di unità allostratigrafiche, ma i caratteri dell'alterazione, i suoli e i paleosuoli possono concorrere a identificare le superfici che delimitano l'unità.

Dato che un'unità allostratigrafica è un corpo reale di sedimenti, essa è svincolata dai concetti di tempo abitualmente in uso in ambito geologico. Infatti le superfici limite delle unità non sono mai isocrone ossia non si sono formate nello stesso istante, ma sono più giovani, in genere a monte del bacino, e più vecchie a valle. Per questi motivi un'unità allostratigrafica non può essere attribuita ad un intervallo tempo definito.

Nella planimetria geologica allegata sono state adottate le suddivisioni proposte dal CARG.





Depositi fluvio-glaciali (Pleistocene superiore):

Ghiaie poligeniche ed eterometriche immerse in matrice sabbiosa, localmente sabbiosa e/o limosa, in spessi strati amalgamati, localmente intervallati da strati sottili e medi di limi argillosi e sabbiosi con ghiaie

Figura 6: Estratto Carta geologica annessa al PGT del Comune di Dalmine.

All'interno della carta geologica annessa al PGT di Dalmine l'area è descritta come interessata da depositi fluvio-glaciali (Pleistocene superiore); tali depositi risultano appartenenti al sistema deposizionale della pianura proglaciale ad alimentazione alpina. L'area è caratterizzata da superfici pianeggianti, incise da numerosi canali minori che scorrono per lo più all'interno di alvei regolarizzati secondo percorsi rettilinei.

3.3 PLANIMETRIA GEOLOGICA

Nell'area di progetto la carta geologica 1:50.000 del CARG i depositi continentali neogenico-quadernari sono stati rilevati ex-novo alla scala 1:10.000 secondo i seguenti criteri:

- sono stati caratterizzati dal punto di vista sedimentologico, stratigrafico, petrografico e dell'alterazione.
- sono stati gerarchizzati in supersintemi/sintemi, gruppi/formazioni e unità informali, a seconda dei caratteri dei sedimenti di volta in volta cartografati e delle problematiche affrontate.
- sono stati suddivisi sulla base dei bacini di appartenenza, laddove tale distinzione risulti significativa per la ricostruzione della storia geologica, oppure distinti sulla base dei processi e delle dinamiche di formazione, indipendente dal bacino di appartenenza.

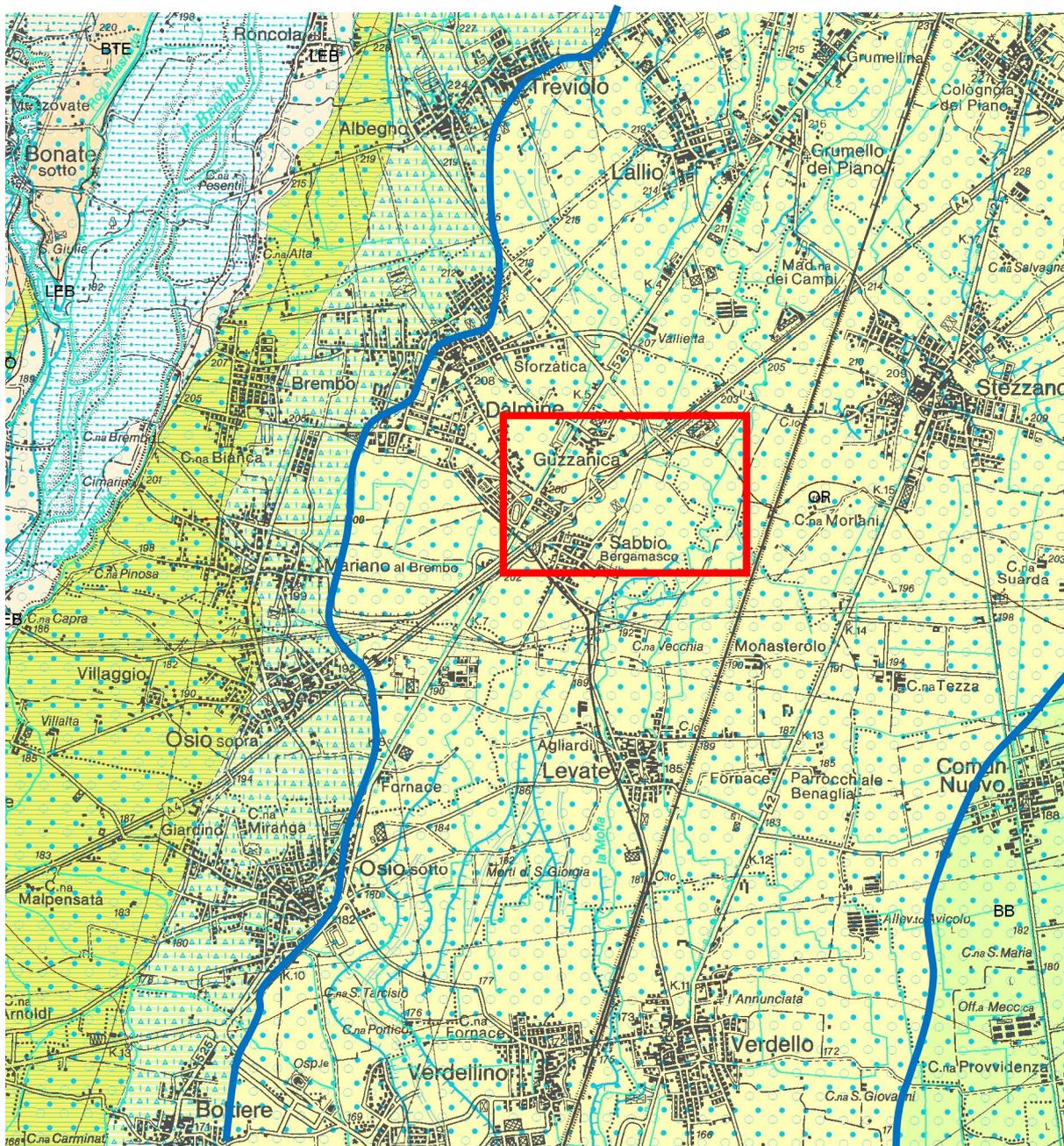


Figura 7: Estratto Carg Foglio 97 Vimercate, in blu sono stati evidenziati i limiti tra le unità del Bacino del Brembo ad Ovest, l'unità del Bacino della Morla al centro ed il Bacino del Brembo ad Est.

Viene dunque distinta in superficie la seguente unità:

Unità del Bacino della Morla - Supersistema della Morla OR (Pleistocene medio - Olocene) costituito da ghiaie e ciottoli arrotondati con prevalenti clasti derivanti dalla successione cretacea e di poco subordinati silicoclasti con evidenze di alterazione, intercalazioni sabbiose (depositi alluvionali); argille, limi e sabbie (depositi lacustri). Profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie conservate.

Dal punto di vista litologico il supersistema della Morla è costituito da:

- depositi alluvionali: ghiaie a supporto clastico e matrice sabbiosa, con clasti arrotondati, ben selezionati, calcareo-marnosi e arenacei prevalenti, subordinati calcari e silicoclasti alterati di provenienza seriana;
- depositi di bassa energia e lacustri: limi, limi sabbiosi e sabbie, osservati in scavo edilizio e cavati anticamente.

La superficie limite superiore coincide con la superficie topografica ed è caratterizzata da un profilo di alterazione di spessore variabile, in genere troncato o rimaneggiato dall'attività antropica. Ove è possibile osservare spaccati si caratterizza per un'alterazione nettamente maggiore dei clasti silicatici provenienti dall'alta Valle Seriana rispetto a quelli marnosi o calcareo marnosi della successione cretacea locale, elemento che porta a interpretare gli apporti silicoclastici come rielaborati da depositi seriani precedenti, entro i quali la Morla ha scavato il proprio alveo. Colore della matrice da 7.5 YR per i terrazzi più alti ed esterni, a 10 YR in prossimità dell'alveo olocenico.

Il limite inferiore non è mai osservabile. Esso si giustappone alla superficie erosionale che tronca i depositi del supersistema di Grassobbio ad Est del foglio Vimercate ed il sistema di Brembate ad Ovest, annegandone la superficie.

L'unità affiora nella valle della Morla fra Sorisole e Castagneta, e forma una fascia ad andamento meridiano compresa fra Bergamo, Curno, Comun Nuovo e Osio.

L'unità presenta una morfologia ben conservata con più ordini di terrazzi e scarpate di altezza sino a 3 m entro la valle a N di Bergamo che si attenua verso S e per le superfici più recenti.

Il supersistema riunisce una serie di episodi deposizionali distinti in base alla morfologia caratterizzata da una evidente gradonatura preservata dagli interventi edilizi sino agli inizi del secolo scorso. La paleovalle si riconosce nell'interno della linea ferroviaria per Treviglio evidenziata dal tracciato ferroviario in rilevato e su viadotto necessario a superarne la depressione.

3.3 UNITA' DEL SOTTOSUOLO

Nel sottosuolo vengono distinte le seguenti unità, affioranti ad est ed ad ovest dell'area di interesse (vedi figura 7), in profondità (nelle stratigrafie di sondaggio pregresse) sia il Supersistema di Grassobbio che il Sistema di Brembate sono difficilmente distinguibili dall'unità affiorante in superficie (Supersistema della Morla). Il Ceppo del Brembo non affiora anch'esso nell'area di interesse ma è tuttavia osservabile lungo le pareti del fiume Brembo (vedi figura 9).

Unità del Bacino del Serio - Supersistema di Grassobbio BB (Pleistocene medio - superiore ?) costituito da ghiaie a clasti arrotondati, sabbie e limi (depositi alluvionali). Profilo di alterazione di spessore variabile; le morfologie sono ben conservate mentre la cementazione è da assente a buona.

Dal punto di vista litologico il supersistema di Grassobbio è costituito da depositi alluvionali: ghiaie in corpi stratoidi o lenticolari, a supporto di matrice sabbiosa fine o a supporto clastico, con clasti sino a decimetrici ed arrotondati. Sono presenti intercalazioni di sabbie e limi. I clasti prevalentemente carbonatici, subordinati silicoclasti dell'alta valle. Il profilo di alterazione è di spessore variabile, in genere troncato o rimaneggiato dall'attività agricola.

Il limite inferiore non è direttamente osservabile. Il limite superiore coincide con la superficie topografica o troncata dalla superficie erosionale entro cui si sedimentano i depositi alluvionali del supersistema della Morla.

L'unità affiora da Comun Nuovo al limite sudorientale del foglio CARG Vimercate

Il supersistema di Grassobbio costituisce un'area lievemente più rilevata che delimita verso est la valle della Morla. Il gradino morfologico appare in questo tratto poco evidente, obliterato dall'attività antropica e ricostruibile solo parzialmente sulla base della cartografia antica.

Unità del Bacino del Brembo - Sistema di Brembate BEB (Pleistocene medio) costituito da ghiaie a supporto clastico (deposito fluvioglaciali). la superficie superiore è caratterizzata da un profilo di alterazione evoluto, con spessore tra 5,5 e 8 m; colore 7.5YR. Copertura loessica sempre presente.

L'unità è costituita da ghiaie a supporto clastico, con matrice prevalentemente limoso argillosa, con frazione sabbiosa variabile; colore 7.5YR, subordinatamente 10YR e 5YR, I ciottoli sono ben arrotondati, con prevalenza di forme discoidali ed ellissoidali, da centimetrici a decimetrici. Dal punto di vista petrografico prevalgono i litotipi brembani tipici, quali le arenarie e i conglomerati del Verrucano, vulcaniti e vulcanoclastiti di Collio; in quantità minori sono presenti elementi del basamento cristallino sudalpino, i carbonati sono comunemente assenti o scarsi.

La superficie limite superiore delle ghiaie, fortemente ondulata a scala metrica e quindi erosionale è saturata dai limi della coltre loessica 10YR, con spessori variabili da 0,5 a 2,5 m. L'unità, inoltre, è terrazzata assialmente lungo il corso attuale del Brembo, dall'Unità di Ponte San Pietro e, nella sua parte occidentale, dall'unità di Bonate, entrambe appartenenti al supersistema di Besnate (vedi figura 8). Sulla piana di brembate viene ricoperta, senza discontinuità morfologiche, dalle unità di Arzenate e di cascine Zanchi, entrambe del supersistema di Palazzago. Ad est è

incisa e coperta dal supersistema della Morla (bacino della Morla). Il limite inferiore è ancora rappresentato da una superficie erosionale che incide il Conglomerato di Madonna del Castello, il Ceppo del Brembo, il conglomerato del Torrente Gaggio e il supersistema di Almè; parte di quest'ultima unità viene solo ricoperta. L'alterazione interessa le metamorfiti e alcune intrusive, le rare rocce a componente carbonatica e parte delle vulcaniti; le rocce terrigene a cemento siliceo possono essere fragili. L'elevata percentuale di rocce silicee presenti (vulcaniti e rocce terrigene permiane) giustifica l'apparentemente scarsa alterazione ghiaie. I depositi sono alterati fino alle massime profondità osservate negli scavi (oltre 5 m); in corrispondenza del Torrente Tornago, il suolo raggiunge uno spessore di 8 m, interessando completamente le ghiaie fino al sottostante orizzonte calcico (1,5 m). patine d'argilla illuviale sono presenti, anche in quantità elevata, fino ad una profondità di oltre 5 m (limite inferiore non raggiunto).

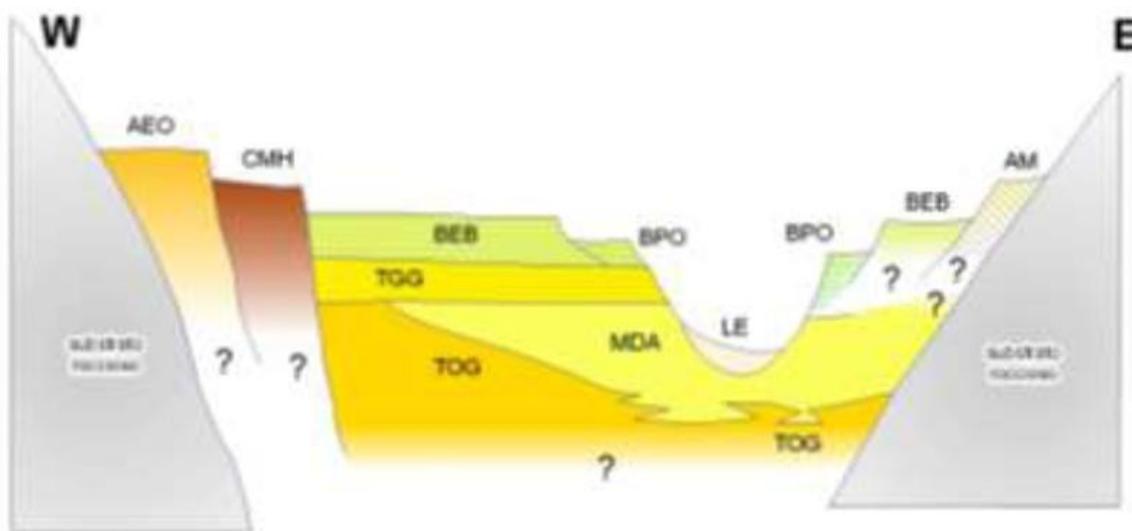


Figura 8: Schema dei rapporti stratigrafici delle unità del Bacino del Brembo tra Almenno S. Bartolomeo e Brembate di Sopra.

L'unità si rinviene a partire dallo sbocco della Val Brembana; in sponda destra del Brembo essa termina all'altezza di ponte S. Pietro, mentre in riva sinistra prossimo a Treviolo.

L'unità mostra una forte asimmetria nello sviluppo areale tra la sponda destra e sinistra del Brembo, in riva destra costituisce una ristretta fascia, delimitata, fatta eccezione per l'area tra Arzenate e Trasolzio, da una netta scarpata con dislivelli variabili tra 3 (Tresolzio-Sottoriva) e 15 m (Campino-San Giuseppe). in riva sinistra essa forma una fascia più larga e più estesa verso sud. Nelle parti più settentrionali sono distinguibili, su entrambe le sponde del Brembo, due sistemi di terrazzi morfologicamente ben distinti, ma pedologicamente omogenei. Il sintema di brembate testimonia una fase importante di aggradazione dell'alta pianura, in connessione con una delle numerose espansioni dei ghiacciai brembani nel Pleistocene medio.

Unità del Bacino del Brembo - Ceppo del Brembo BRM (Pleistocene inferiore) è un conglomerato costituito da ghiaie a supporto clastico, con matrice arenacea; i ciottoli sono ben arrotondati, poligenici, di provenienza brembana (depositi fluviali). Presenta intercalazioni basali di limi, argille e sabbie e forte cementazione.

I conglomerati sono costituiti da ghiaie a supporto clastico e conglomerati arenacei, al limite tra supporto clastico e di matrice; i ciottoli in genere sono ben arrotondati e subarrotondati, spesso discoidali. Nella parte più prossimale ai rilievi, sbocco della Val Brembana, le ghiaie presentano caratteri di estrema grossolanità con dimensioni medie dei ciottoli di 25-30 cm e massime superiori al metro; spostandosi verso sud e sud-ovest si assiste ad una riduzione del diametro medio a valori attorno al decimetro e, negli affioramenti più distali centimetrici. Anche le strutture sedimentarie mostrano variazioni con la latitudine. La cementazione è forte, irregolare nelle parti basali: nei livelli meno o non cementati le rocce carbonatiche sono argillificate o decarbonatate fino a dimensioni di 2-3 cm; su ciottoli

maggiori cortex fino ad 1 cm. Nel sottosuolo, il ceppo del Brembo si presenta omogeneo, spesso e ben riconoscibile nell'area a SE e ad E dell'Adda diviene meno evidente per la presenza di numerose intercalazioni di sedimenti fini e sabbie. Il carattere distintivo di questa unità, che ne permette la distinzione dal ceppo del naviglio di paderno e da quello dell'Adda, è la notevole abbondanza di ciottoli di provenienza brembana, costituiti da Verrucano Lombardo e vulcaniti.

In area brembana il limite inferiore del Ceppo del Brembo è costituito da una superficie marcatamente erosionale che incide il substrato, la formazione di Tornago ed il conglomerato di Madonna del Castello. I rapporti con queste formazioni plioceniche sono ben esposti lungo la forra del T. Tornago; il contatto con il substrato è osservabile all'altezza di Paladina. Non sono mai visibili i limiti con le unità a ghiaie brembane più antiche (formazione di Ca' Marchi e Formazione di Almenno basso): tuttavia, in base alle età ipotizzate, si ritiene che esse siano troncate dal Ceppo del Brembo. Rimangono indefiniti i rapporti con il conglomerato del torrente Gaggio e con il sistema di Valtrighe.

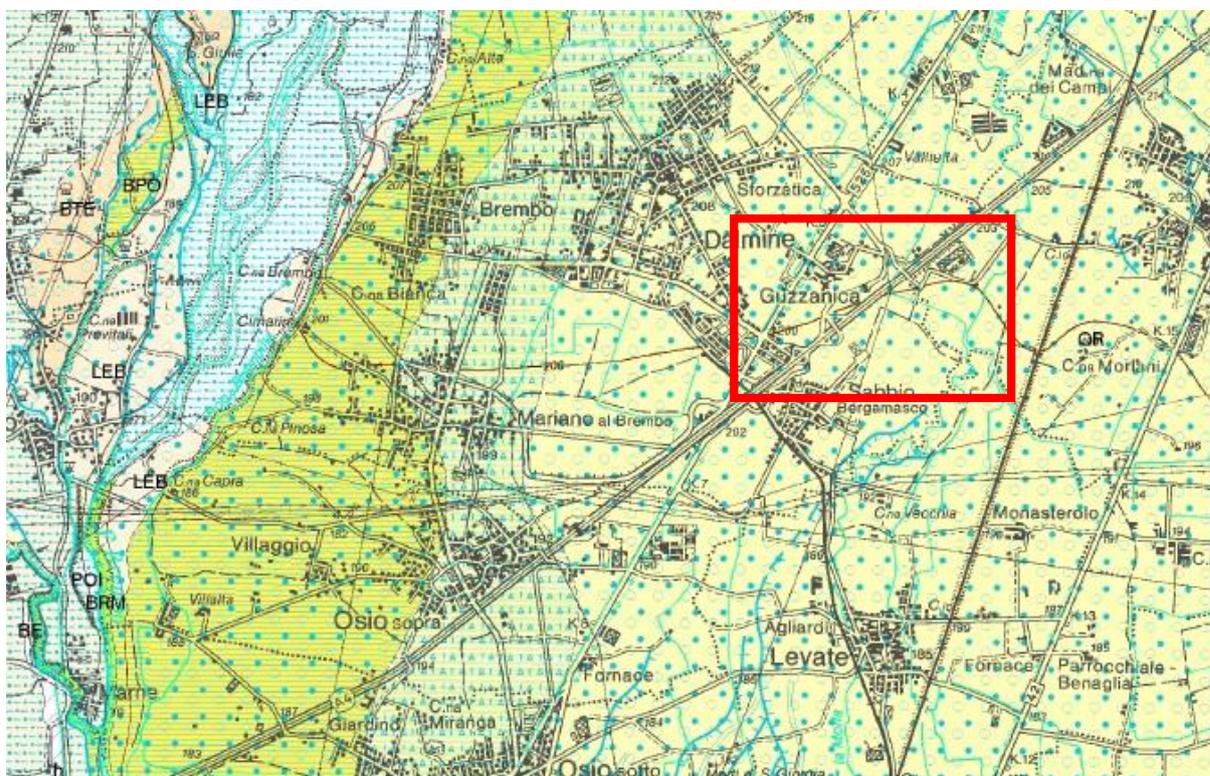


Figura 9: Estratto Carg Foglio 97 Vimercate, Il Ceppo del Brembo (BRM) affiora lungo l'alveo del Fiume Brembo.

Il ceppo del Brembo affiora nelle incisioni dei fiumi Brembo e Adda, lungo il corso del Brembo (vedi Figura 9). L'unità forma l'ossatura dell'alta pianura tra lo sbocco della Val Brembana e la confluenza dei fiumi Brembo e Adda: esso è visibile lungo le incisioni dei principali corsi d'acqua, dove origina forme caratterizzate da pareti verticali che raggiungono altezze di parecchie decine di metri. Poichè è stato ripetutamente eroso e ricoperto da depositi di altre unità, non da' mai origine a morfologie proprie.

3.4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto di studio è dominata dai depositi glaciali e fluvioglaciali della parte orientale dell'anfiteatro morenico del Lario. Tutti i ghiacciai hanno seguito un identico

percorso pur con una diversa estensione. Il ghiacciaio proveniente dal ramo di Lecco del lago di Como si divideva all'altezza di Lecco in due lingue, una diretta verso la Brianza attraverso Valmadrera, l'altra diretta verso S lungo la valle dell'Adda. La lingua della Valle dell'Adda si adattava alla serie di colli e monti che caratterizzano il pedemonte in questo settore formando varie digitazioni, come in corrispondenza di Pontida.

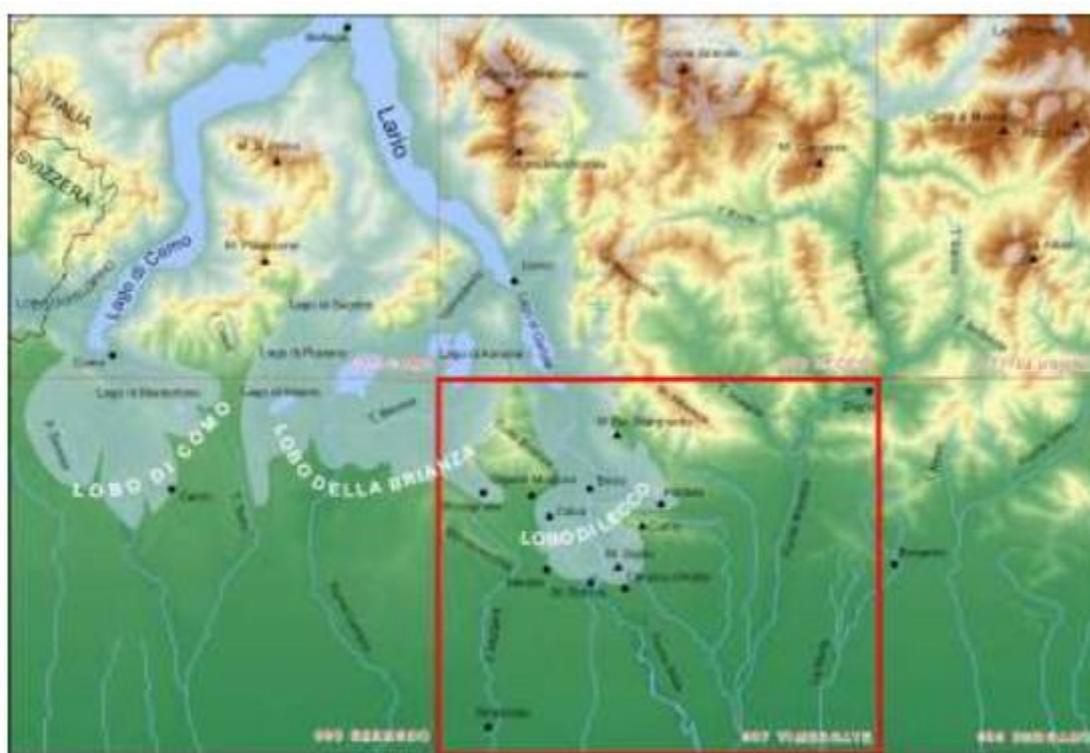


Figura 10: Estensione dei ghiacciai durante LGM ricostruita in base alle evidenze di terreno (in rosso il foglio Vimercate)

Tutto il settore nord occidentale del foglio Vimercate sino a Mongorio, Maresco, Cernusco Lombardone, Robbiate, Carvico e Pontida è caratterizzato da depositi in gran parte glaciali con morfologie a morene e depositi lacustri marginoglaciali di ritiro. All'esterno del semicerchio ideale identificato dalle località sopra citate dominano grandi piane fluvioglaciali caratterizzate dal fatto che, a ogni glaciazione, i fiumi glaciali incidono le piane precedenti generando le scarpate dei terrazzi. I depositi più

antichi formano pertanto alti terrazzi ben individuabili. L'estensione delle piane fluvioglaciali del ghiacciaio dell'Adda era limitata verso E dalla presenza del Brembo. In Val Brembana i ghiacciai non sono mai giunti sino al margine della pianura e, di conseguenza, il Brembo non ha mai formato ampie piane fluvioglaciali, ma è rimasto contenuto in una valle relativamente ristretta. Sia l'Adda sia il Brembo percorrono gran parte del territorio compreso nel foglio Vimercate all'interno di profonde forre intagliate nei depositi cementati del ceppo del Naviglio di Paderno, ceppo dell'Adda e ceppo del Brembo. Tali forre sono accompagnate da altre valli ugualmente incise, ma attualmente sepolte. Le forre attuali si sono formate nel tempo corrispondente alla deposizione del supersistema di Besnate e sono state, più volte, riempite e svuotate di depositi fluvioglaciali. Ancora più a E l'area è interessata da un terzo corso d'acqua, la Morla, che riveste una certa importanza geomorfologica pur essendo di limitata portata attualmente. Il torrente Morla nasce nella fascia pedemontana a Nord di Bergamo, raccogliendo le acque dei versanti meridionali del Canto Alto, da qui scorre verso SE aggirando i colli di Bergamo per poi piegare verso SW entro il centro abitato. Allo sbocco in pianura la Morla devia verso W scavando la propria valle entro i depositi ghiaiosi seriani più antichi; tale deviazione può essere legata proprio all'abbondante apporto di sedimenti da parte del fiume Serio, anche se non è da escludere che avvenga in risposta ad un sollevamento neotettonico nell'antistante pianura. Questo tratto è caratterizzato da terrazzi alluvionali successivi, con orli molto netti e ben riconoscibili, alti sino oltre un metro nella parte nord-occidentale della città; l'altezza delle scarpate decresce via via verso la pianura, sino a ridursi a meno di un metro all'altezza di Lallio. Un'ampia zona di interfluvio, alta e caratterizzata da depositi seriani con profili d'alterazione evoluti, separa in questo tratto la valle della Morla dall'area di pertinenza Serio, decorrendo da Zanica sino oltre Comun Nuovo: Verso W, un'analogha fascia rilevata e terrazzata da ambedue i lati sottolinea invece il limite con l'area di pertinenza brembana: su di essa si sono sviluppati i nuclei di insediamento più antichi, da Curno a Treviolo, sino ad Osio. Entro la pianura le morfologie, profondamente ritoccate dall'attività millenaria di coltivazione dei campi, divengono pressochè illeggibili.

Le caratteristiche morfologiche generali dell'area considerata sono dunque il risultato di diversi processi:

- 1) fasi glaciali recenti
- 2) dinamica dei corsi d'acqua
- 3) intensa attività di rielaborazione del territorio ad opera dell'uomo, particolarmente importante in quest'area

A piccola scala, risultano estremamente importanti i processi legati all'azione delle acque di deflusso superficiali e soprattutto all'azione dell'uomo (l'area è caratterizzata, infatti, da un'elevata urbanizzazione che ne condiziona l'assetto attuale) che ha comportato una profonda modificazione del paesaggio.

Come già anticipato l'area di interesse è frapposta tra il rio La Morla ad est e il fiume Brembo ad ovest; quest'ultimo, come si evince dalla carta geomorfologica estratta dal Siter, risulta caratterizzato da più ordini di terrazzi (vedi figura 11).

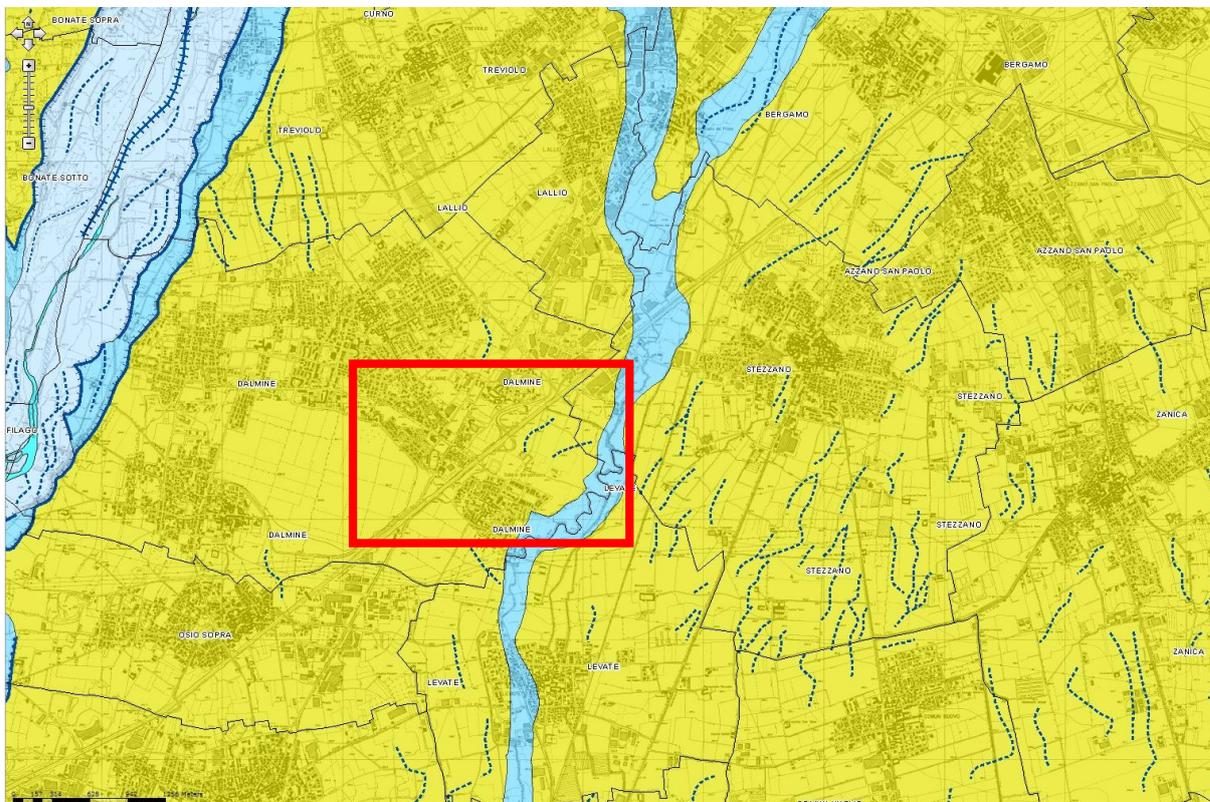


Figura 11: Estratto carta geomorfologica Siter Provincia di Bergamo

All'interno della documentazione della Provincia di Bergamo (Siter) andando ad una scala di maggior dettaglio, nell'area di interesse vengono inoltre identificati: ambienti di bassa pianura e meandri, terrazzi fluviali con paleoalvei.

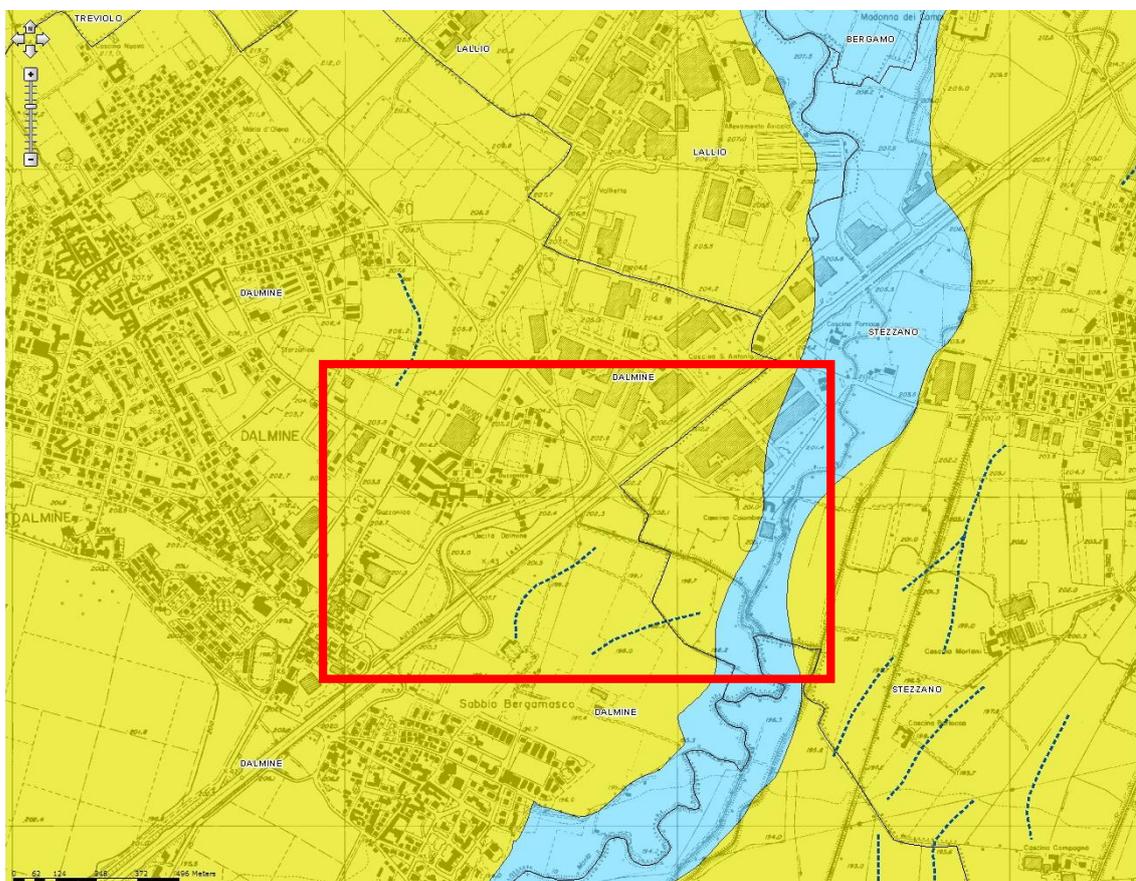


Figura 12: Estratto carta geomorfologica Siter Provincia di Bergamo (ambienti di bassa pianura e meandri (giallo), terrazzi fluviali (azzurro) con palealvei (blu tratteggiati))

4. MODELLO IDROGEOLOGICO D'INQUADRAMENTO

La definizione della falda di progetto e la definizione delle interferenze dell'infrastruttura con la falda idrica, sia come impatto sull'ambiente idrico, sia come ripercussioni ingegneristiche a contrasto delle azioni erosive delle acque di superficie, non è oggetto della presente relazione.

4.1 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

La zona è caratterizzata da un reticolo idrografico naturale e da una rete di canali artificiali molto sviluppata ed articolata e suddivisa, in funzione dell'utilizzo e della portata, in rogge, canali irrigui e canali scolmatori. Entrambi i sistemi risultano molto spesso ritombati parzialmente/totalmente, in particolar modo in corrispondenza dei centri abitati. Tutti appartengono al bacino dell'Adda sottolacuale (sottobacino del Brembo, in rosa nella figura sottostante).

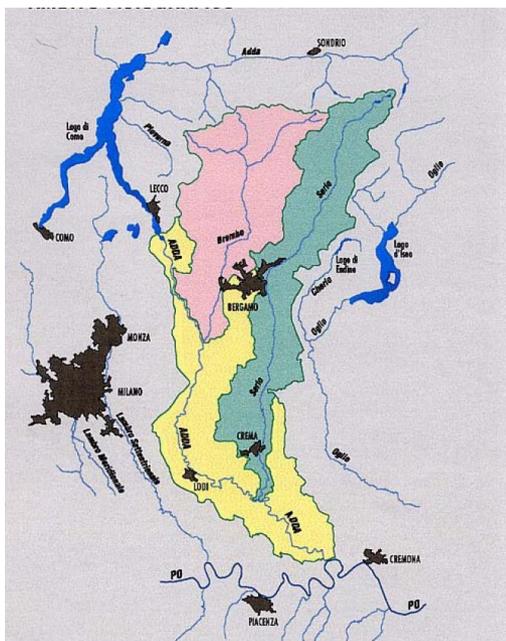


Figura 13: Bacino del fiume Adda sottolacuale: ambito fisiografico

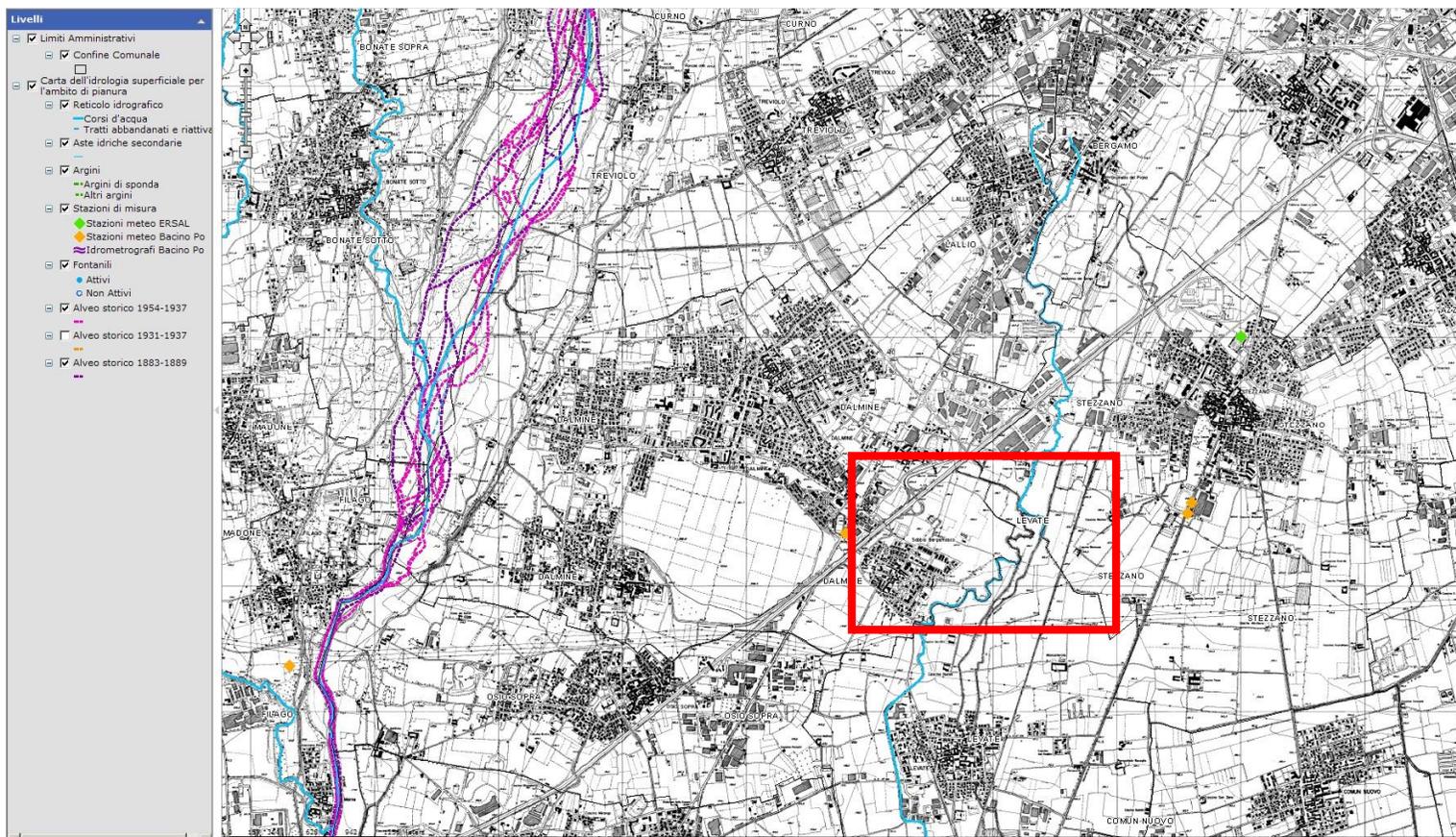


Figura 14: Reticolo idrografico

I corsi d'acqua naturali scorrono da Nord a Sud in accordo con la morfologia della media pianura lombarda che ha una superficie debolmente inclinata (0.3%) verso Sud (da ovest verso est si ritrovano il Fiume Brembo e il Torrente Morla); i canali artificiali, invece, hanno uno sviluppo dipendente dal loro utilizzo (es. irriguo) e dal contesto urbano in cui sono inseriti.

4.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Come in gran parte dell'alta pianura lombarda, si hanno in affioramento unità geologiche tra le più antiche tra i depositi plio-pleistocenici, che sono caratterizzate in superficie da paleosuoli e comunque da litologie a granulometrie fine e che possono raggiungere anche oltre la decina da metri di spessore.

La presenza di tali litologie nelle unità del Pleistocene medio e inferiore (bacini dell'Adda, del Brembo, della Morla e del Serio) determina una bassa permeabilità generale delle unità in affioramento e quindi la prevalenza del ruscellamento superficiale rispetto all'infiltrazione di acque.

Tuttavia le acque si possono raccogliere nelle aree topograficamente più depresse, occupate dai maggiori corsi d'acqua e dalle unità geologiche più recenti e permeabili di origine fluviale; questi settori costituiscono zone preferenziali di infiltrazione delle acque e di ricarica delle falde che sono captate più a valle. I corsi d'acqua maggiori sono generalmente in contatto con la falda, mentre quelli minori risultano sospesi rispetto alle acque sotterranee, così come possono creare falde sospese di carattere locale.

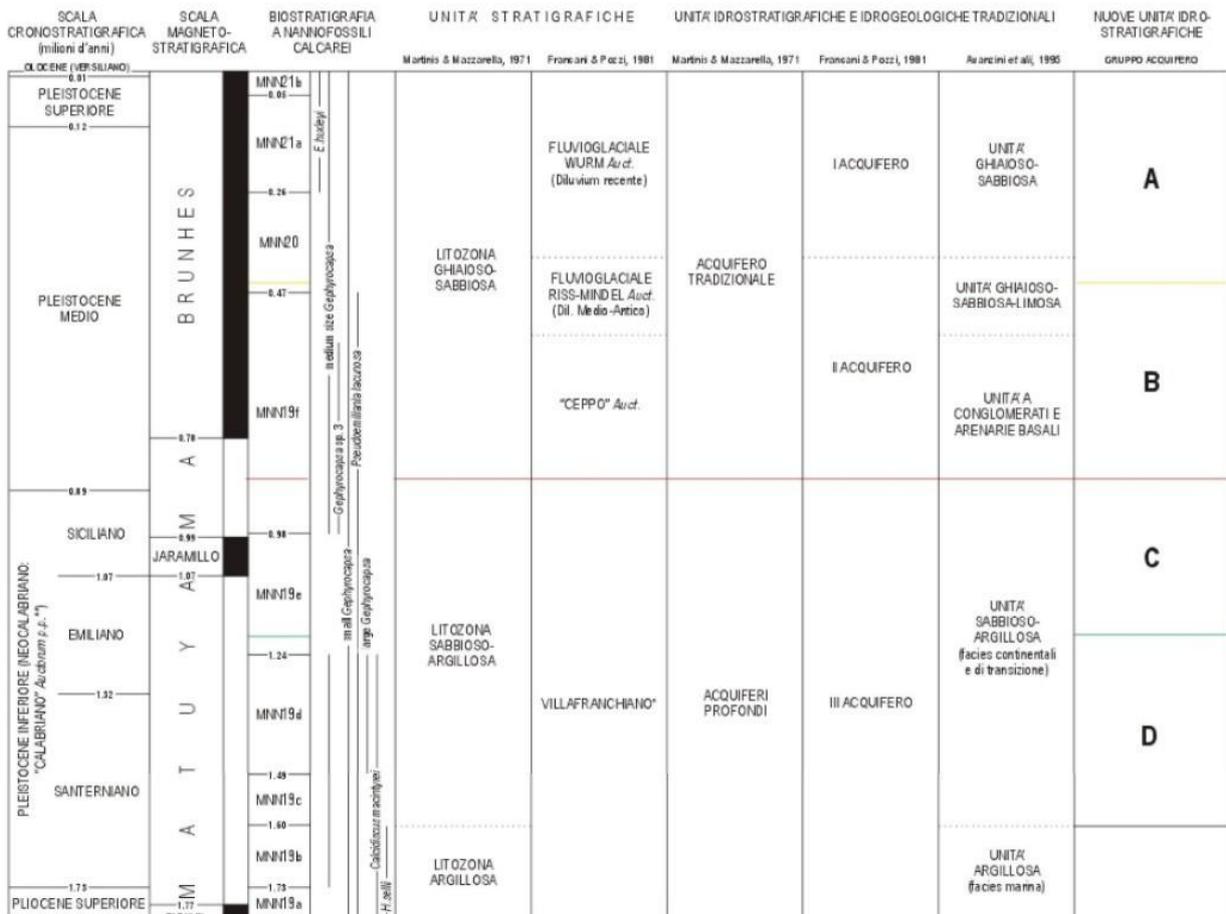
Nel sottosuolo dell'area di studio, che è stato indagato talora fino ad oltre 200 m di profondità per la perforazione di pozzi per acqua, si hanno in generale tre acquiferi sovrapposti che possono trovare una generale corrispondenza con la classificazione introdotta da Regione Lombardia - ENI divisione AGIP 2002:

Gruppo acquifero A: Olocene - Pleistocene Medio, corrisponde all'incirca all'unità ghiaioso-sabbiosa superficiale.

Gruppo acquifero B: Pleistocene Medio, corrisponde all'incirca all'insieme delle unità a conglomerati e arenarie prevalenti.

Gruppo acquifero C: Pleistocene inf. - Pliocene sup., corrispondente all'unità sabbioso-argillosa.

Gruppo acquifero D: Pliocene sup., corrisponde all'unità argilloso-sabbiosa.



Il limite tra il Gruppo acquifero B ed il Gruppo acquifero C è caratterizzato da una paleosuperficie che suddivide i depositi continentali da quelli lacustro-palustri; tale limite risulta caratterizzato da un andamento a valli e dossi che paiono individuare paleovalli. Nella zona lecchese-milanese si individua una paleovalle (forse attribuibile al T. Molgora) nel settore di Mezzago-Ornago e nella zona della bergamasca del F. Brembo nel settore di Sabbio-Verdello; in entrambi i casi tali paleovalli appaiono spostate verso Est rispetto ai corsi d'acqua attuali e rappresentano zone di circolazione idrica sotterranea preferenziale.

Anche il limite tra il Gruppo acquifero C ed il Gruppo acquifero D è caratterizzato da una paleosuperficie che separa i depositi marini più profondi, il cui andamento però è più uniforme e appare fondersi con la precedente verso est. Nella media pianura infatti la presenza di una dorsale sepolta che si estende da Treviglio fino a Ghisalba e influenza in modo determinante la circolazione idrica sotterranea in quanto:

- determina l'avvicinamento alla superficie topografica del Gruppo acquifero C (in un intervallo di quote tra 60 e 100 m s.l.m. a seconda delle zone)
- riduce lo spessore del Gruppo acquifero B, con conseguente diminuzione della sua trasmissività
- determina una maggiore separazione tra le acque circolanti nel sottosuolo nei Gruppi acquiferi B e C.

Tale dorsale inizia a far risentire la sua azione intorno a Verdello-Verdellino.

4.3 PIEZOMETRIA DELLA PRIMA FALDA

L'andamento del flusso idrico è conosciuto per quanto riguarda i Gruppi acquiferi A e B. Le acque sotterranee ricevono alimentazione dagli afflussi da monte provenienti dai corsi d'acqua e dal ruscellamento superficiale, oltre che dagli apporti meteorici. Tuttavia la presenza di spessi orizzonti poco permeabili in superficie (anche di 20 m) non consente una significativa infiltrazione dalla superficie, come ad esempio in vaste zone dei depositi terrazzati in riva destra del Fiume Adda e nell'Isola Bergamasca in riva sinistra. In linea generale l'andamento delle isopiezometriche risulta molto influenzato dal corso del Fiume Adda e in minor misura da quello del F. Brembo.

Il fiume Adda risulta sempre drenante rispetto alle acque sotterranee e conferisce una morfologia radiale convergente alle isopiezometriche, con gradiente idraulico crescente verso il fiume. Il fiume Brembo risulta caratterizzato da tratti drenanti e tratti alimentanti sia nello spazio che nel tempo in relazione al suo regime; sembrerebbe prevalente l'azione drenante nella parte pedemontana del corso d'acqua e alimentante in quella di pianura.

A seguire ricostruzione della profondità della falda all'interno del PTCP.

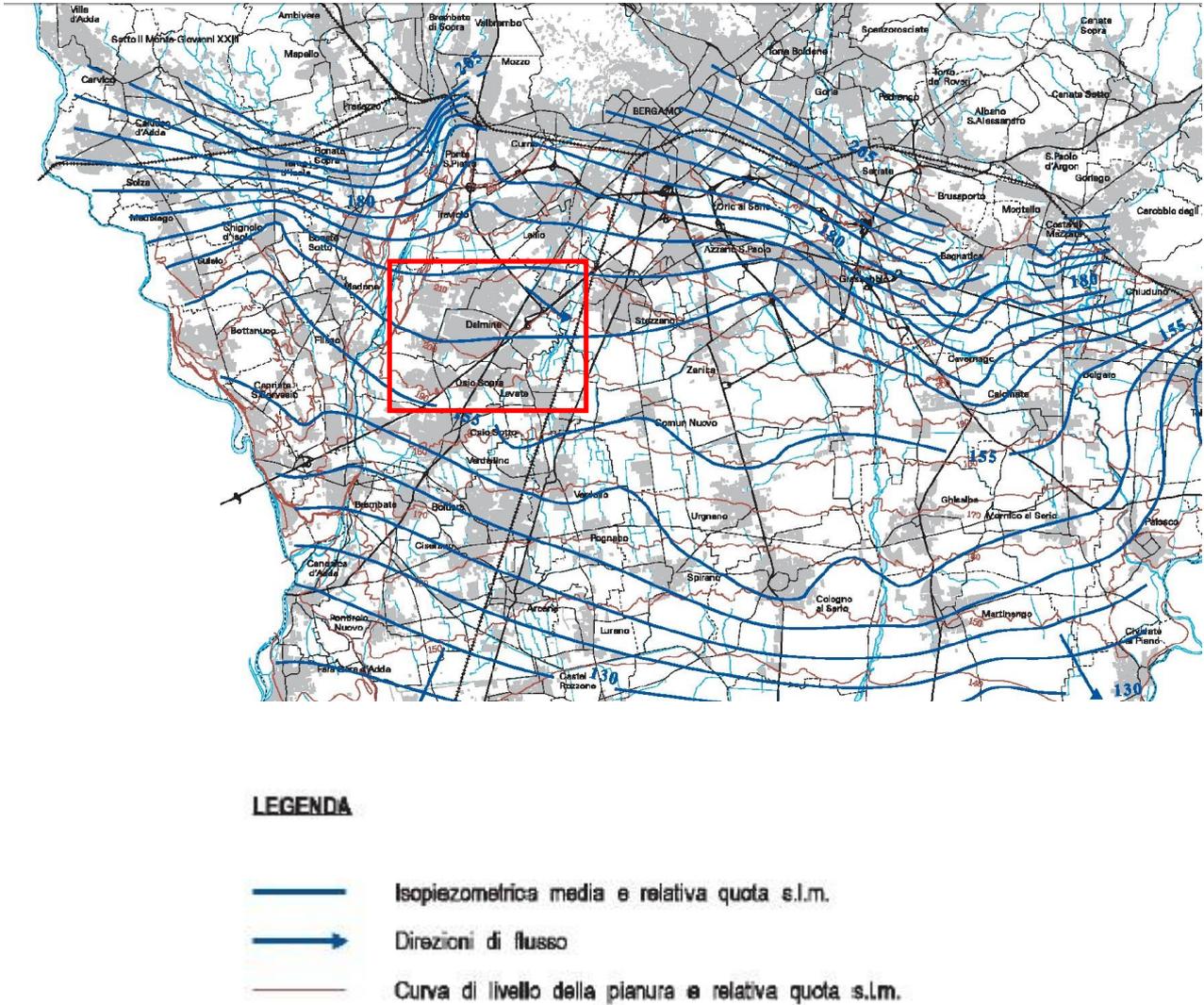


Figura 15: Estratto della Carta 1.2 della profondità della falda (C1 "geomorfologia ed idrologia del territorio" del PTCP della Provincia di Bergamo giugno 2003)

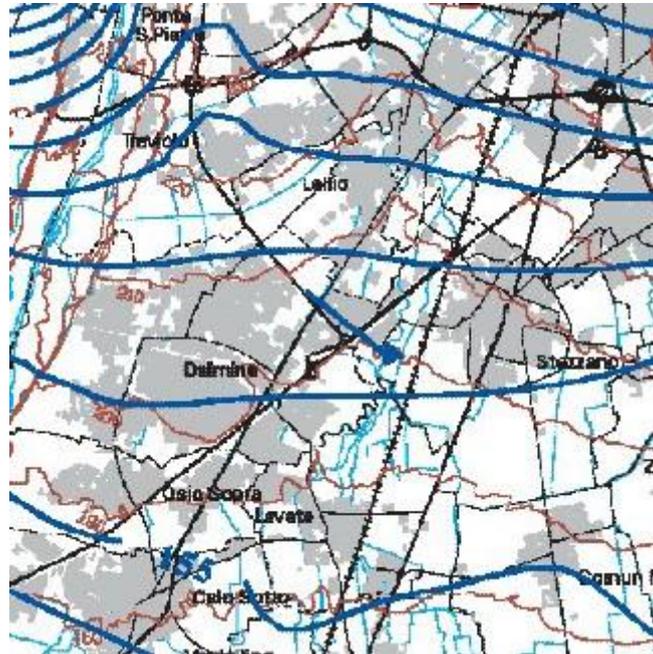
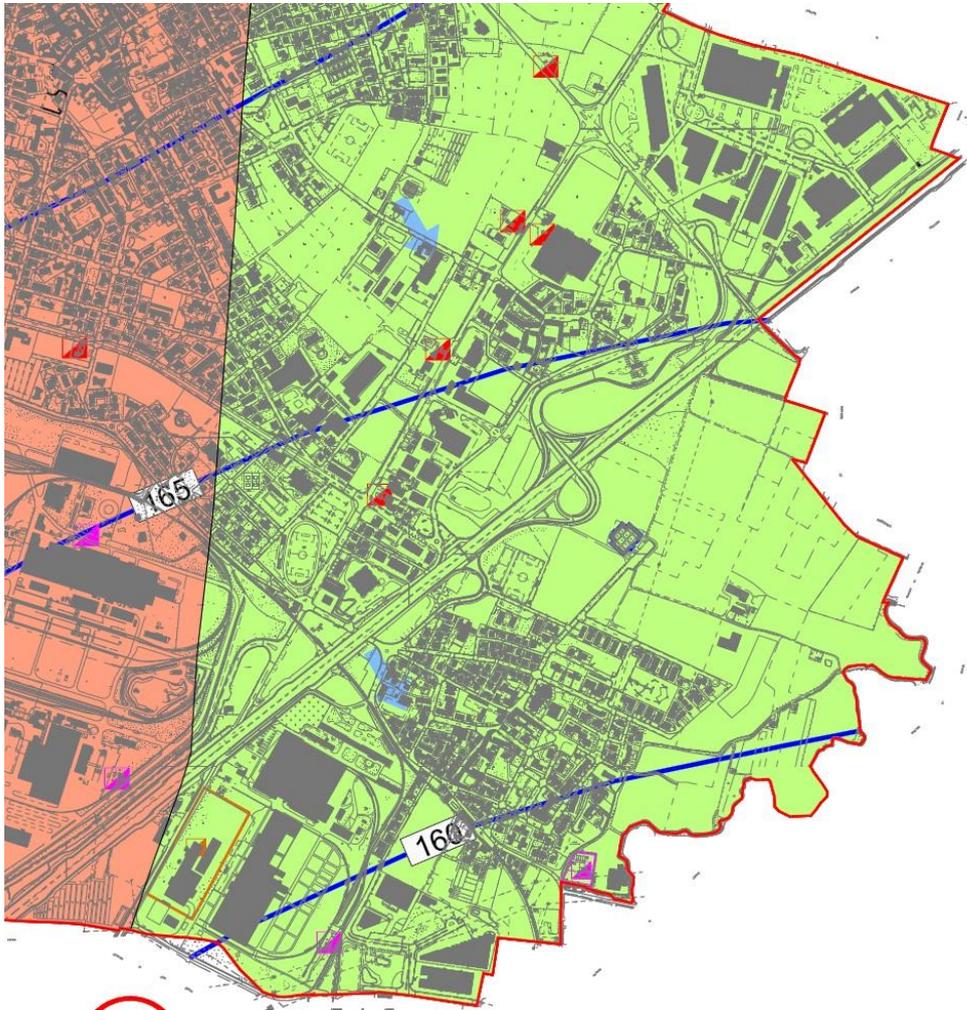


Figura 16: Dettaglio dell'estratto della Carta 1.2 della profondità della falda (C1 "geomorfologia ed idrologia del territorio" del PTCP della Provincia di Bergamo giugno 2003)

L'analisi della cartografia consente di osservare come nell'area interessata dal progetto la piezometria si attesti intorno ai 160 m s.l.m. con andamento nord-sud. Tali piezometrie ben si accordano con i livelli statici dichiarati nelle stratigrafie dei pozzi riportati in carta (vedi paragrafo 4.5).

All'interno del PGT del Comune di Dalmine viene ricostruita una carta isopiezometrica riferita agli anni 2009-2010. La direzione di flusso è verso sud-est. In generale il fiume Brembo esercita un'azione alimentante nei confronti degli acquiferi superficiali. La ricostruzione effettuata ben si accorda con quanto già ricostruito all'interno del PTCP con quote piezometriche che si attestano tra 160 - 165 m s.l.m..



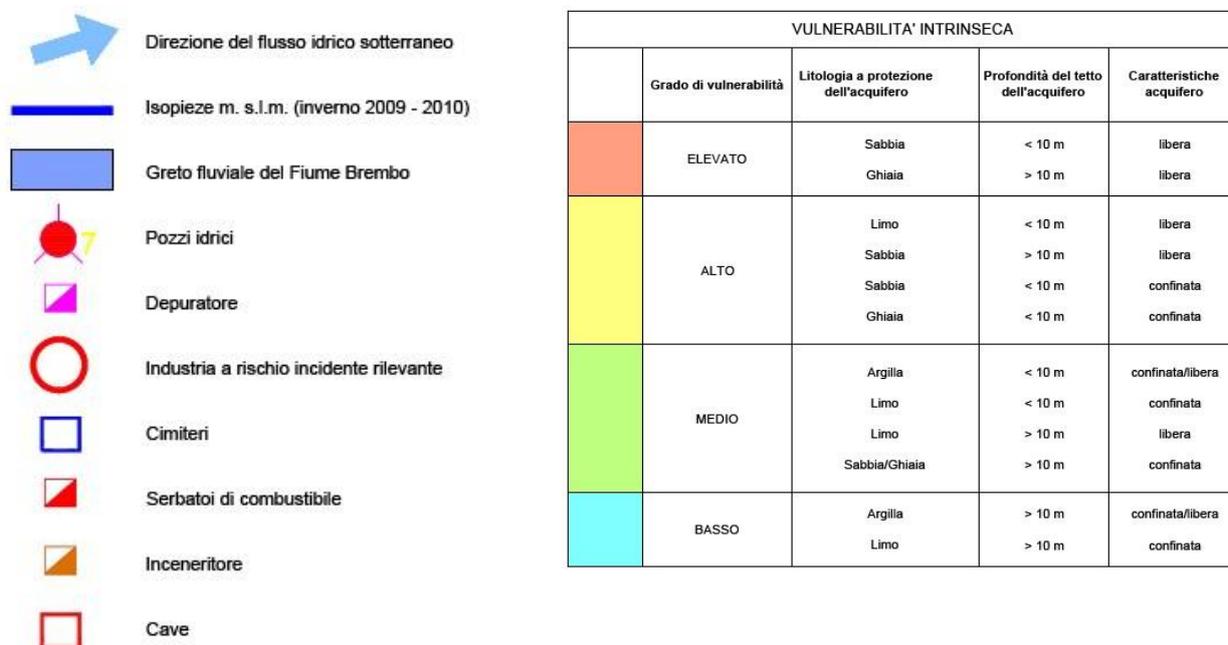


Figura 17: Estratto della Carta G3 idrogeologica (PGT Comune di Dalmine)

4.4 PERMEABILITÀ

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 permeabilità dei depositi quaternari affioranti nell'area del progetto viene descritta in funzione delle caratteristiche granulometriche (Francani, 1987):

Ghiaie e sabbie (complesso ghiaioso-sabbioso C1): si tratta di depositi di origine fluviale e fluvioglaciale (Pleistocene - Attuale). Le ghiaie e le sabbie contengono anche lenti limose

ed occupano in genere i fondovalle pedemontani e la zona di pianura (dove la granulometria dei sedimenti da nord verso sud passa da ghiaie ai limi ed alle argille). Questi terreni contengono importanti acquiferi distinguibili in falde libere, artesiane e semiartesiane utilizzate a scopo potabile, agricolo e industriale. La trasmissività raggiunge anche valori di $10^{-1} \div 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Il coefficiente di permeabilità K risulta variabile tra $10^{-4} \div 10^{-5} \text{ m/s}$.

Nel corso delle campagne geognostiche sono state eseguite alcune prove Lefranc a carico costante; nella tabella seguente sono riportati i risultati:

Sondaggio	Anno	Fase progettuale	carico variabile - carico costante	Profondità tratto investigato [m]	k [m/sec]
S13	2003	Campagna geognostica IV corsia	variabile	10.5-11.5	1.25×10^{-7}
S14	2003	Campagna geognostica IV corsia	variabile	7.5-8.3	4.46×10^{-4}
DD1	2014	Campagna geognostica Geotecnica D'angelo	costante	5.0-5.5	4×10^{-3}

Tali valori sono riconducibili a sabbie e ghiaie e/o sabbie e ghiaie contenenti una frazione limoso - argillosa.

4.5 CENSIMENTO DEI POZZI

Al fine di ottenere un quadro conoscitivo relativo alla distribuzione dei pozzi situati nell'area investigata, è stata operata un'analisi dei dati bibliografici forniti dalla Provincia di Bergamo (Siter) inerente il tipo di utilizzo dei pozzi censiti, lunghezza, presenza di stratigrafia, utilizzo, livello statico e anno di realizzazione.

Nelle seguente tabella sono riportati tutti i pozzi che ricadono all'interno dell'area (totale pozzi n. 5)

COD_PUNTO	COMUNE	UTILIZZO	STRATIGRAFIA	PROFONDITA'	LIVELLO STATICO (m da p.c.)	ANNO REALIZZAZIONE
BG03132602008/1	STEZZANO	POMPA DI CALORE	SI	86.50	38.32	2008
BG03132602008/2	STEZZANO	POMPA DI CALORE	SI	86.50	37.77	2008
BG03130862008/1	STEZZANO	POMPA DI CALORE	SI	108	38.67	2008
BG03130862008/2	STEZZANO	POMPA DI CALORE	SI	103	38.23	2008
BG0116091995(*)	STEZZANO	ANTINCENDIO/IGIENICO	SI	70	36.00	1995

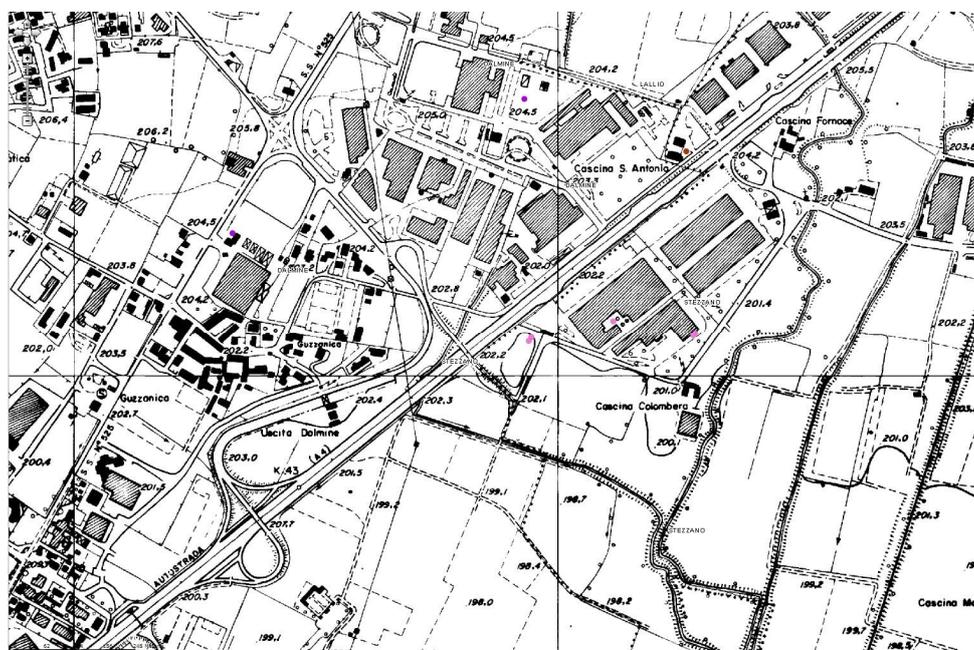
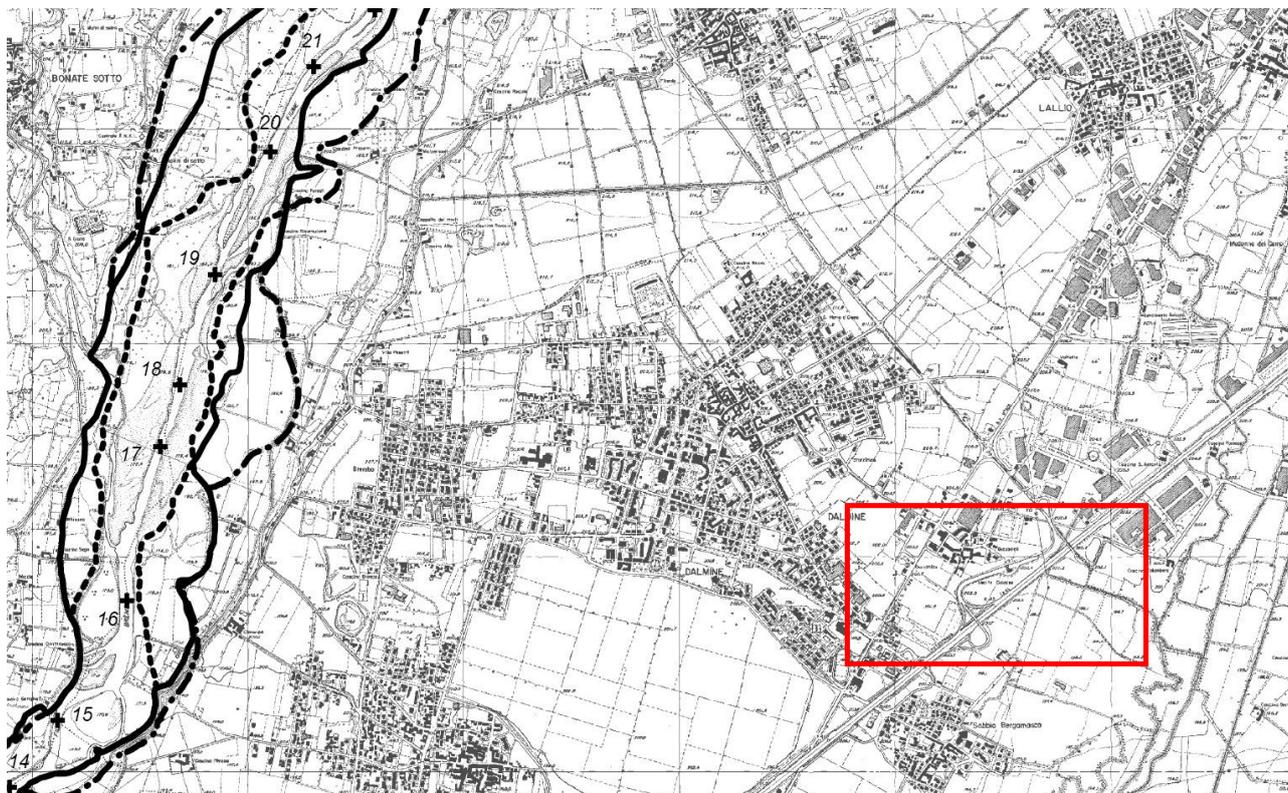


Figura 18: Estratto Siter Provincia di Bergamo - Ubicazione pozzi

4.6 PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO

La zona di studio ricade all'interno delle aree di pertinenza del Piano di Assetto Idrogeologico del Fiumi Po. Nell'ambito del PAI sono identificati e descritti i criteri di pericolosità idraulica, finalizzati alla redazione di strumenti di pianificazione per la salvaguardia del territorio. Le indicazioni del PAI sono state recepite nel corso del presente studio, al fine di permettere la corretta valutazione delle eventuali interferenze e condizioni di rischio potenziale con l'intervento in oggetto.

La zona di competenza non mostra interferenze con le aree a rischio o le fasce fluviali del fiume Brembo.



LEGENDA

-----	limite (*) tra la Fascia A e la Fascia B
————	limite (*) tra la Fascia B e la Fascia C
- . - . - .	limite (*) esterno della Fascia C
●●●●●●	limite (*) di progetto tra la Fascia B e la Fascia C

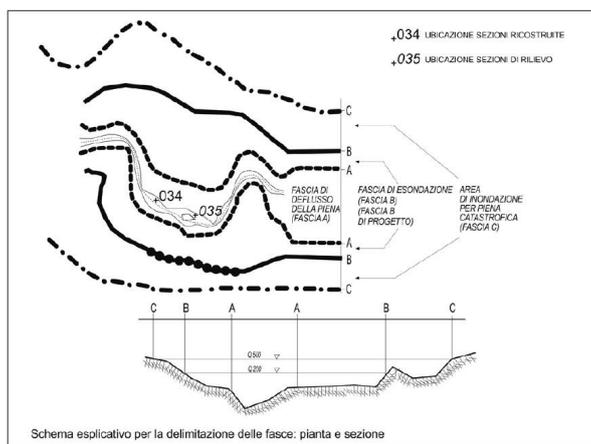


Figura 19: Estratto Piano Assetto Idrogeologico, tavole di delimitazioni delle fasce fluviali (Foglio 097 - Sez II Trezzo sull'Adda)

4.7 PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI

La Direttiva Europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni, che il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) deve attuare. Il PGRA, introdotto dalla Direttiva per ogni distretto idrografico, dirige l'azione sulle aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio e definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori.

L'area d'interesse pur non interferendo con le aree a diversa pericolosità e rischio individuate dal PGRA si pone nell'immediato intorno.

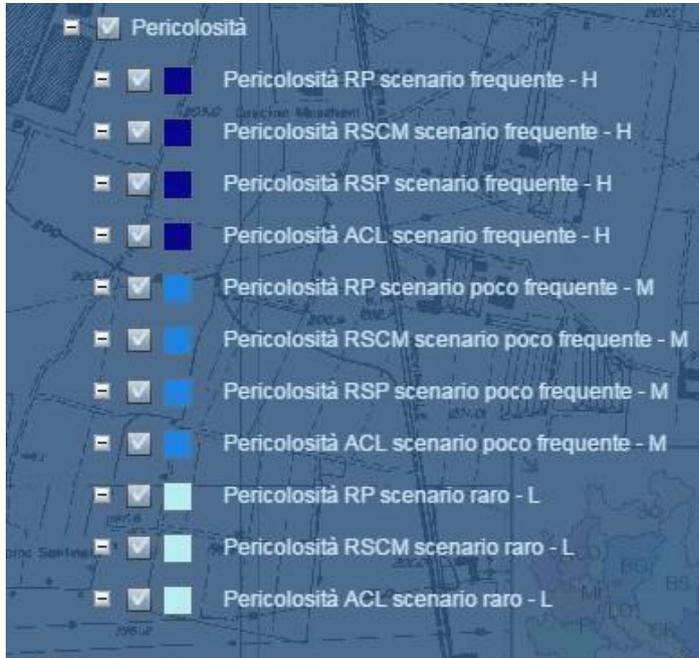
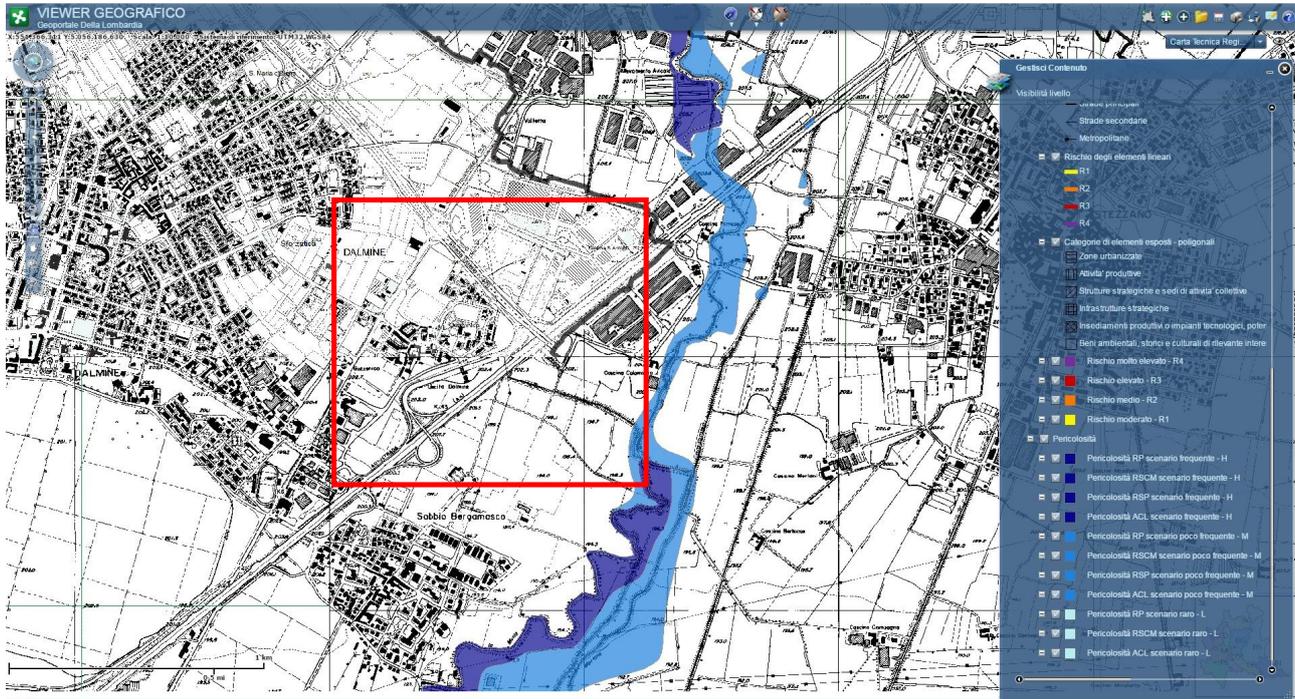


Figura 20: Estratto Viewer Geografico del Geoportale della Regione Lombardia, rappresentante la pericolosità

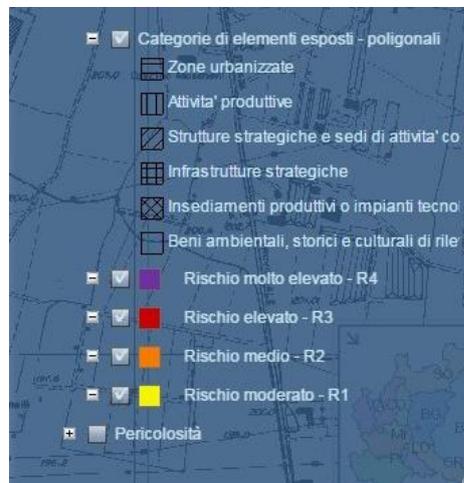
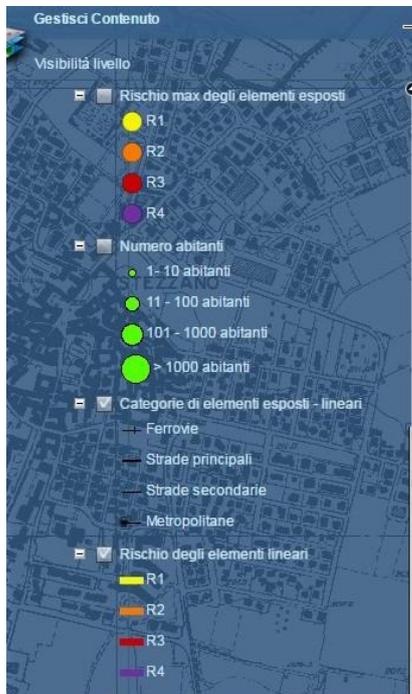
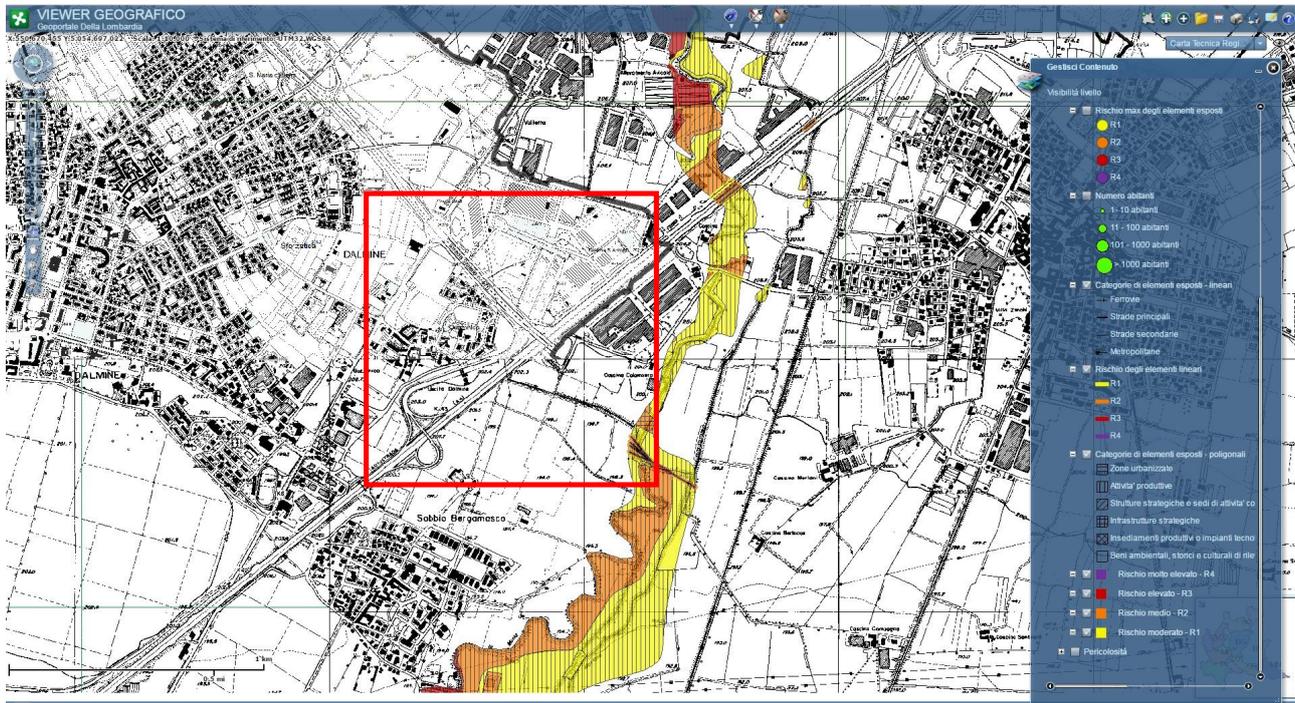


Figura 21: Estratto Viewer Geografico del Geoportale della Regione Lombardia, rappresentante il rischio

5. ANALISI CLIMATOLOGICA DELL'AREA

In genere l'area d'interesse gode di un clima tipicamente temperato delle medie latitudini, piovoso o generalmente umido in tutte le stagioni, con estati particolarmente caldi, inoltre la vicinanza dei monti permette di evitare i fenomeni di nebbia invernale e di afa estiva che caratterizzano invece le zone del milanese.

Salvo fenomeni particolari la stagione invernale è compresa tra novembre e fine marzo, il meteo caratterizza una percentuale di piovosità molto bassa rispetto alla media italiana. In riferimento alla media trentennale compresa tra gli 1961-1990, la temperatura meteo media del mese più freddo è gennaio, con +1,5 °C, mentre quella del mese più caldo è luglio, con +22,4 °C.

Le precipitazioni sono concentrate in prevalenza nei periodi compresi tra marzo e maggio, con un leggero calo nei mesi estivi, e un aumento nel periodo compreso tra ottobre e novembre. Le medie annue relative alle precipitazioni sono superiori ai 1.100 mm, distribuite in circa 97 giorni, con massime nel periodo estivo ed autunnale e minime in occasione della stagione invernale.

A Orio al Serio di Bergamo è presente la stazione meteorologica di riferimento per il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare e per l'Organizzazione Mondiale della Meteorologia, gestita dall'Enav, la stazione meteorologica è situata all'interno dell'aeroporto, a 237 metri s.l.m. e alle coordinate geografiche 45°40'N 9°42'E".

I dati sono stati elaborati all'interno della relazione del PGT del comune di Dalmine. Sono stati esaminati i dati relativi al periodo di tempo 1961-2000.

5.1 ANALISI STORICA DELLE PIOGGE

Il regime pluviometrico è stato definito attraverso l'analisi dei quantitativi degli afflussi meteorici medi registrati relativamente al periodo 1961-2000. La distribuzione delle precipitazioni presenta un andamento bimodale con due massimi, in primavera (massimo assoluto) e in autunno. Due minimi: in inverno (minimo assoluto) e in estate. Il regime delle precipitazioni può essere pertanto definitivo "sublitoraneo alpino"..

L'andamento bimodale della distribuzione pluviometrica è da porre in relazione alla frequente formazione, durante l'estate (minimo assoluto) e l'inverno (minimo relativo) di aree anticicloniche padane che frenano la propagazione delle perturbazioni di origine e di provenienza ligure.

Bergamo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	A
Precipitaz, medie	68,6	59,2	77,3	88,4	124,8	116,9	101	114,8	104,3	115,1	99,1	60	1129,5



Figura 22: Media delle precipitazioni medie mensili e annuale (mm) con andamento dei valori medi delle precipitazioni calcolati sulla serie storica (1961-2000)

Il mese mediamente più piovoso è maggio con 124,8 mm, mentre il mese più siccitoso è febbraio (59,2 mm)

5.2 ANALISI STORICA DELLE TEMPERATURE

Le medie presentano un andamento con minimo in gennaio (Tm 1.5°C) e massimo in luglio (T28°C). la sequenza delle variazioni intermensili ha quindi valore positivo da gennaio a luglio e negativo da agosto a dicembre.

Nella tabella seguente sono riportate le temperature medie, massime e minime e i valori di escursione termica, mensili ed annuali.

Stazione di Bergamo	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Media annuale
Temperat. Minima	-1,5	0,1	3,3	6,4	10,9	14,5	17,2	17	13,8	9	3,5	-0,7	7,8
Temperat. Media	2,3	4,2	8	11,4	16,1	19,9	22,6	22,2	18,6	13,3	7,2	3,1	12,4
Temperat. Massima	6,1	8,3	12,6	16,4	21,2	25,2	28	27,3	23,4	17,6	10,9	6,8	17,0
Escursione termica	7,6	8,2	9,3	10,0	10,3	10,7	10,8	10,3	9,6	8,6	7,4	7,5	20,3
Variaz. intermensili	0,8	4,5	3,2	3,1	4,5	3,6	2,7	-0,2	-3,2	-4,8	-5,5	-4,2	

Figura 23: Valori medi mensili e annuali in °C di temperatura media, massima e minima, di escursione termica e variazioni intermensili, riferiti alla serie storica 1961 -2000 della Stazione di Bergamo (Relazione geologica PGT comune di Dalmine)

L'incremento maggiore si ha tra il mese di aprile e maggio (+4.5°C), mentre la diminuzione più marcata si ha nel passaggio da ottobre a novembre (-5.5°C). Il valore delle temperature medie annuali è 12.4°C. In inverno le temperature possono scendere abbondantemente sotto lo zero termico, anche durante le ore più calde della giornata,

instaurando condizioni rigide di gelo che possono permanere anche per tutto l'arco della giornata. In estate le temperature possono arrivare a superare la barriera dei 30°C che, associate agli scarsi rimescolamenti verticali dell'ari, determinano condizioni di caldo afoso con elevati valori di umidità relativa al suolo.



Figura 24: Andamento dei valori medi delle temperature medie mensili misurati e calcolati sulla serie storica 1961-2000 (Relazione geologica PGT comune di Dalmine)

Secondo la classificazione climatica di Koppen, l'area in esame, relativamente ai dati registrati alla stazione di riferimento, rientra nelle condizioni climatiche di tipo temperato sub continentale: media annua da 10° a 14°, media del mese più freddo da -1° a 3.9°C; 2 mesi con temperatura > 20°C. Escursione annua da 16 a 19°C.

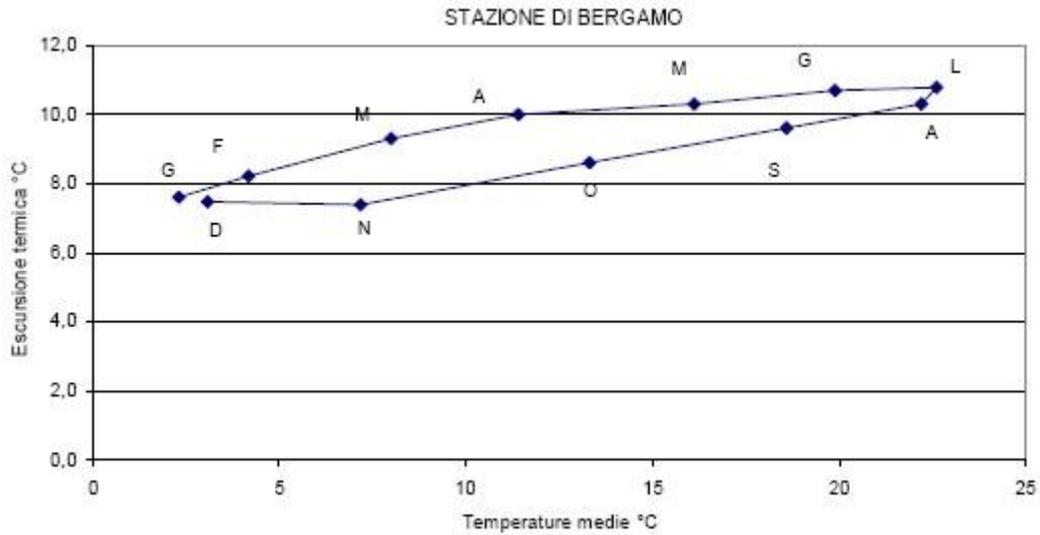


Figura 25: Diagramma termico della stazione di riferimento relativo alla serie storica 1961-2000 (Relazione geologica PGT comune di Dalmine)

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

I dati considerati riguardano le diverse campagne geognostiche eseguite lungo il tratto di interesse a partire dall'epoca del primo ampliamento dell'autostrada esistente, sino alle indagini più recenti.

Nella fase di interpretazione stratigrafica sono stati attribuiti vari gradi di attendibilità ai dati dei sondaggi geognostici ed in generale alle verticali esaminate; infatti sono stati ritenuti maggiormente attendibili i sondaggi di cui sono disponibili le descrizioni stratigrafiche e la documentazione fotografica delle cassette catalogatrici, seguiti dai sondaggi di cui sono disponibili le sole descrizioni stratigrafiche, senza l'ausilio della documentazione fotografica. Meno attendibili, ma comunque utili per la ricostruzione stratigrafica d'insieme, le verticali con descrizione stratigrafica sommaria (es. pozzi per acqua eseguiti da privati).

L'ubicazioni delle indagini geognostiche sono riportate nell'elaborato allegato in scala 1:5000 utilizzando simbologia differente in relazione alla tipologia di indagine ed alla fonte.

È stata effettuata una ricerca presso tutti gli Enti pubblici che si occupano della raccolta di stratigrafie e sono state in tal modo recuperate le stratigrafie di 5 pozzi relativi alle aree limitrofe a quella d'interesse (Provincia di Bergamo - Siter).

Sono state utilizzate le indagini realizzate da ASPI tra gli anni 2000 e 2003 per il progetto del primo ampliamento dell'autostrada esistente sono state inoltre utilizzate le indagini realizzate per il primo progetto di svincolo (2006). E' stata realizzata una campagna di indagine per il nuovo progetto di svincolo nel 2014.

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; dagli ingegneri responsabili degli uffici opere all'aperto (APE); 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.

Campagna geognostica IV corsia: RCT - 2000

Sondaggi	Profondità
SA27	20 m

Campagna geognostica IV corsia: SG - 2003

Sondaggi	Profondità
SA13	20 m
SA13B	40 m
SA14	15 m
SA14B	30 m

Campagna geognostica Pavimental IV corsia: RCT - 2003

Sondaggi	Profondità
S1est	30 m
S2ovest	30 m

Campagna geognostica Svincolo Dalmine: Teknos - 2006

Sondaggi	Profondità	DPSH	Profondità
SD1	35 m	SDDPSH1	8.4 m
		SDDPSH2	9.6 m
		SDDPSH3	12.3 m
		SDDPSH4	15.3 m
		SDDPSH5	15 m
Sono stati realizzati anche 4 pozzetti esplorativi.			

Campagna geognostica Svincolo Dalmine: Geotecnica d'Angelo - 2014

Sondaggi	Profondità
DD1	35 m
Sono stati realizzati anche 4 pozzetti esplorativi e 2 sondaggi a distruzione per Cross-Hole	

7. ELEMENTI DI SISMICA GENERALE

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica del territorio esaminato ed 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 DBMI15 - a cura di Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15> - disponibile on-line all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>.
- Sismicità recente (dal 1 aprile 2005 al 2017): Database dell'I.N.G.V. Centro Nazionale terremoti disponibile on-line all'indirizzo <http://cnt.rm.ingv.it/>
- 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/suolo-e-territorio-1/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 regionale disponibile on-line all'indirizzo <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/la-classificazione-sismica>

6.1 Sismicità storica (dal 1000 al 2014)

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel D.B.M.I.15, che contiene 122.701 dati di intensità, relativi a 3.212 terremoti riferiti a circa 20.000 località di cui 15.213 in territorio italiano.

L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano, chiamata DBMI15 è stata rilasciata a luglio 2016 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI11.

DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2014. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia). I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

Nelle tabelle seguenti viene riportato l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5, 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.

In particolare sono stati estratti i dati disponibili per il Comune di Dalmine e Stezzano interessati dal progetto:

Seismic history of Dalmine					
45.650, 9.597					
Total number of earthquakes: 4					
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
2	1960 03 23 23 10	Vallese	178	7	5
6	1979 02 09 14 44	Bergamasco	73	6	4,78
2-3	1995 10 29 13 00 27.69	Lago d'Iseo	408	5-6	4,35
3-4	2002 11 13 10 48 03.19	Franciacorta	768	5	4,21

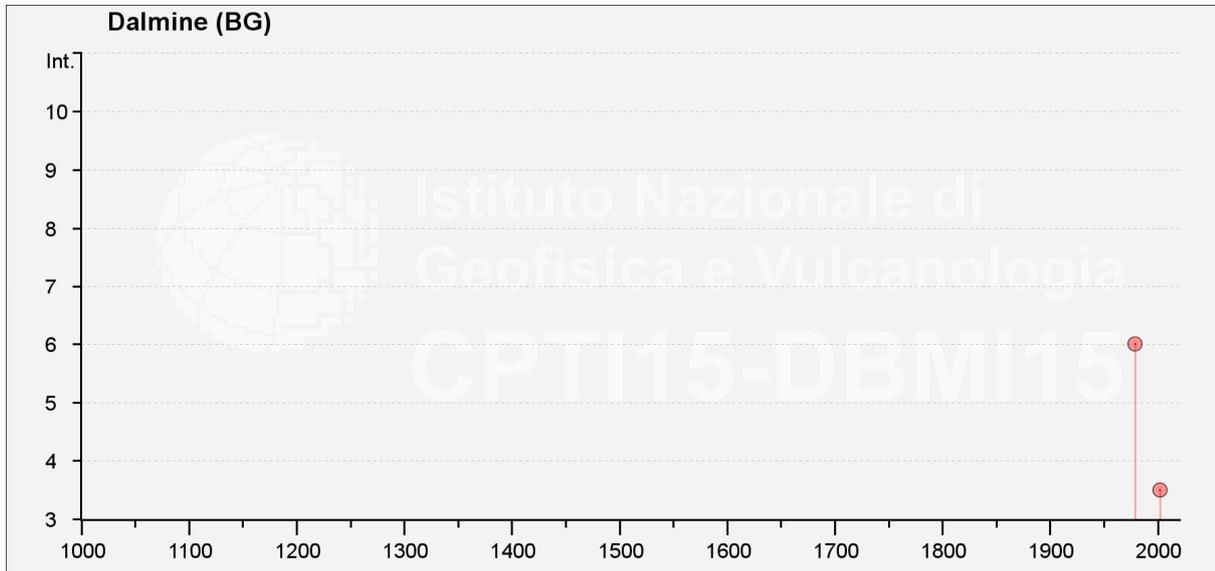


Fig. 20 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2006 nel Comune di Dalmine

Le intensità sismiche massime osservate per il Comune di Monzuno sono pari a IS=6 per l'evento del 1979. L'area epicentrale di tale terremoto sono localizzate nel Bergamasco.

Seismic history of Stezzano					
45.650, 9.653					
Total number of earthquakes: 3					
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
NF	1991 11 20 01 54 17.60	Grigioni, Vaz	468	6	4,7
3-4	1995 10 29 13 00 27.69	Lago d'Iseo	408	5-6	4,35
4-5	2002 11 13 10 48 03.19	Franciacorta	768	5	4,21

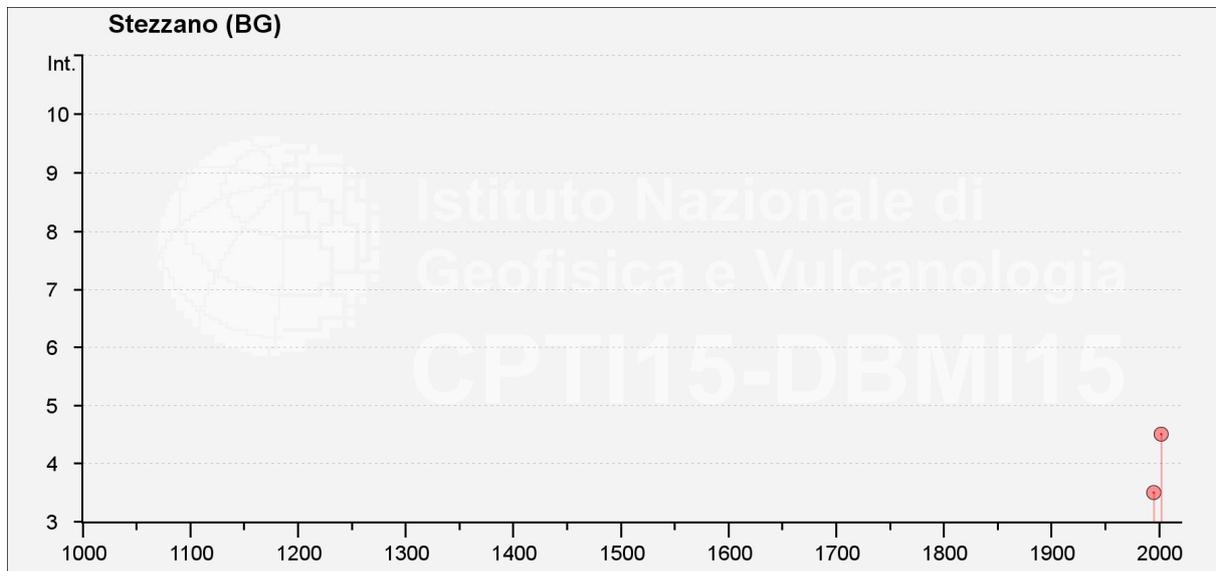
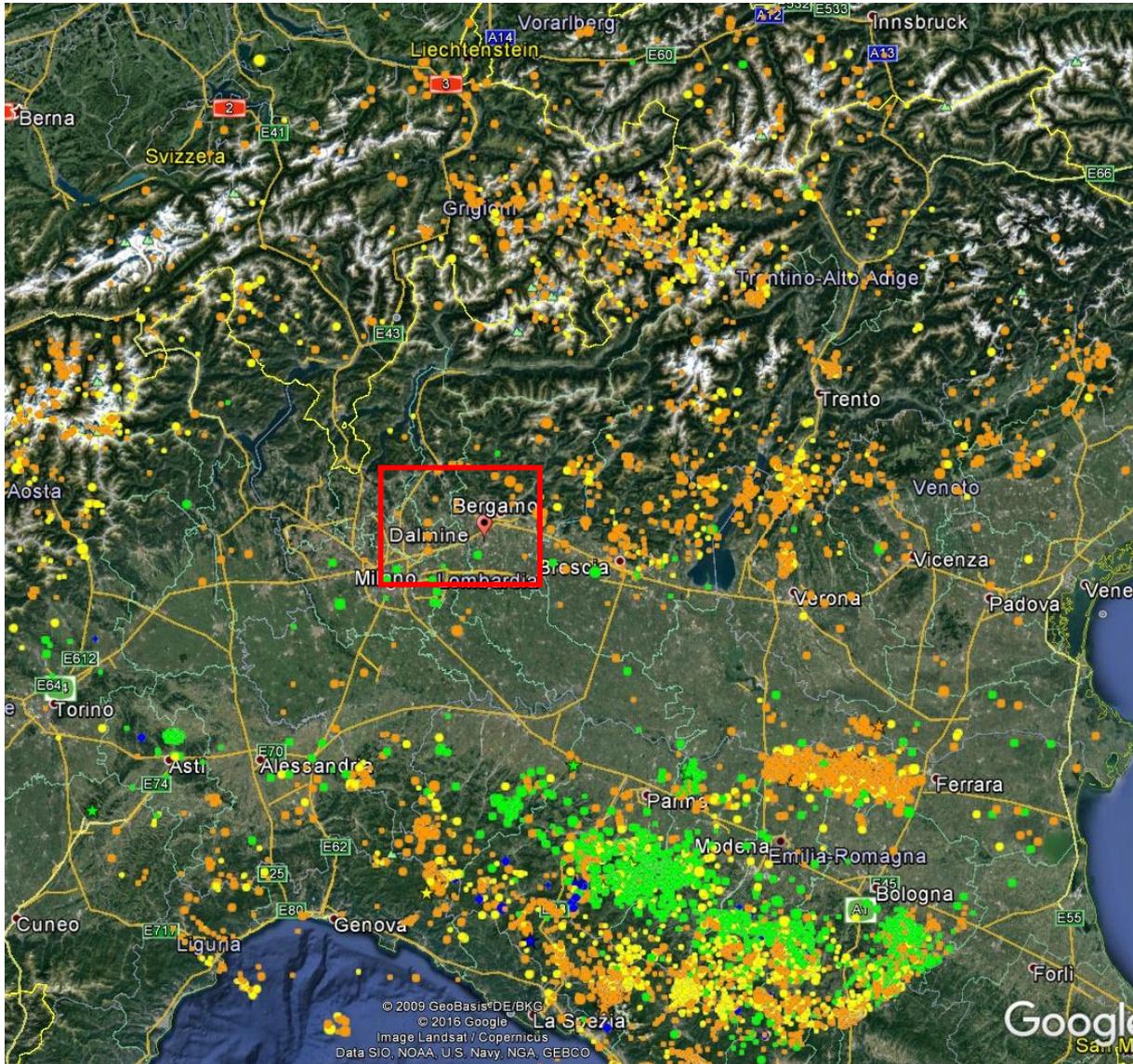


Fig. 21 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2006 nel Comune di Grizzana Morandi

L' intensità sismica massima osservata per il Comune di Grizzana Morandi è pari a $IS=4-5$ per l'evento del 2002. L'area epicentrale di tale terremoto è localizzata in Franciacorta.

6.2 Sismicità recente (dal 2005 al 2017)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area d'interesse dal 1 Aprile 2005 a Maggio 2017, i dati sono stati recuperati dal database dell'INGV considerando un'area di raggio 200 km dal Comune di Monzuno (che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente).



Depth (km)		Magnitude	
Orange circle	0 - 10	☆	M >= 5.0
Yellow circle	10 - 20	○	M < 5.0
Green circle	20 - 60	○	M <= 4.0
Blue circle	60 - 300	○	M <= 3.0
Purple circle	300 - 500	○	M <= 2.0
Red circle	500 - 800	○	M <= 1.0

Fig. 22 – Database ISIDE - periodo 2005-2017.

Dalla planimetria di figura 22 si distinguono le seguenti aree sorgenti:

- la principale area sorgente si sviluppa lungo l'arco appenninico, dalla Lunigiana - Garfagnana al Mugello;
- numerosi sismi sono presenti in una fascia trasversale che va da Parma a Ferrara, riconducibili alla sequenza sismica che hanno interessato l'Emilia nel 2012;
- una fascia con terremoti diffusi è presente tra il Garda e la zona prealpina lombarda
- lungo l'arco alpino sono presenti terremoti diffusi, concentrati particolarmente nelle Alpi Liguri e tra Alto Adige e Svizzera;
- si può anche notare una certa attività in mare a S di Genova

è inoltre evidente come, con l'inizio della sequenza sismica iniziata il 20 maggio 2012, si sia creata una nuova area sorgente in corrispondenza dell'arco ferrarese romagnolo.

In generale le profondità sono per la maggior parte entro i 10 km e le magnitudini più rappresentate variano tra 1.0 e 2.0.

6.3 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.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/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.

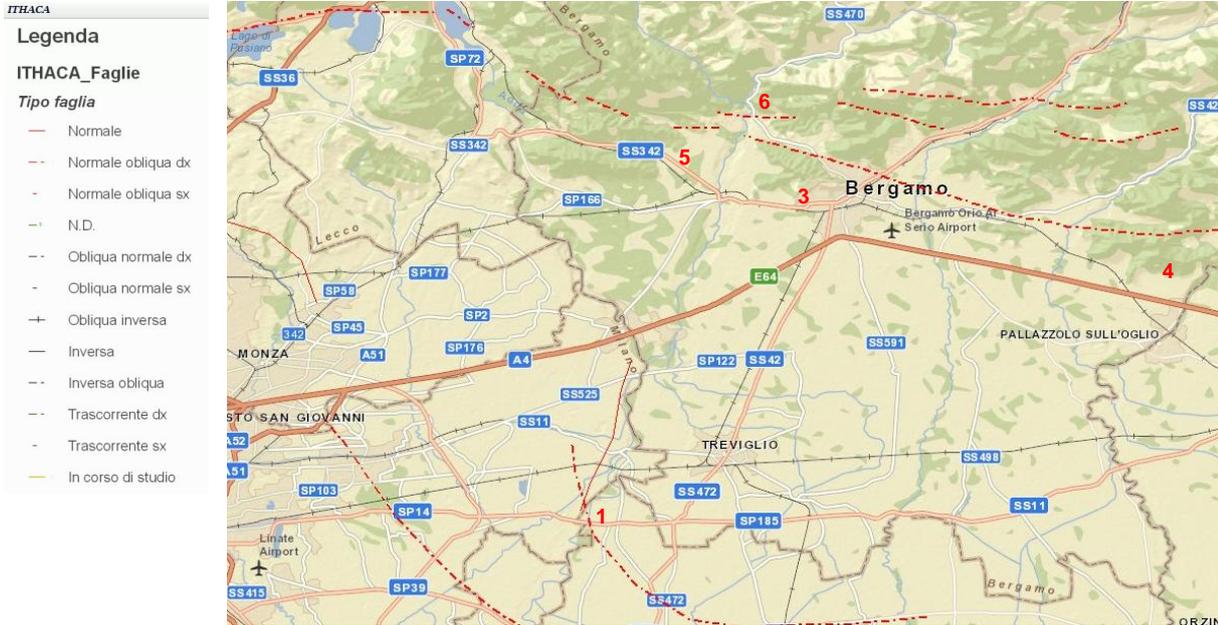


Figura 23: Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA"

	1	2	3	4	5	6
FAULT NAME	Treviglio	Cernusco	Seriate-Bergamo	Sarnico-Bergamo	Almenno-Bergamo	Villa d'Alme-Bergamo
FAULT CODE	87034	87032	87000	87001	87005	87006
MACROZONE	Southern Alps	Southern Alps	1	1	1	1
REGION NAME	Lombardia	Lombardia	Lombardia	Lombardia	Lombardia	Lombardia
SYSTEM NAME	Po Plain	Po Plain	Bergamo	Bergamo	Bergamo	Bergamo
RANK	PRIMARY	PRIMARY	PRIMARY	PRIMARY	PRIMARY	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	200	210	280	280	270	280
DIP	30	30	-	-	-	-
LENGTH (Km)	27	27	19	19	3.2	4.5
GEOMETRY	-	-	-	-	-	-
SEGMENTATION	no	no	yes	yes	No	yes
DEPTH (Km)	6	6	0	0	0	0
LOCATION RELIABILITY	1:100000	1:100000	1:500000	1:500000	1:500000	1:500000
LAST ACTIVITY	Pleistocene generic	Pleistocene generic	-	-	-	-
ACTIVITY RELIABILITY	Medium reliability	Medium reliability	-	-	-	-
RECURRENCE INTERVAL (yr)	-	-	0	0	0	0
SLIP-RATE (mm/yr)	-	-	0	0	0	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	27	27	0	0	0	0
MAX CREDIBLE SLIP (m)	-	-	0	0	0	0
KNOWN SEISMIC EVENTS		-	-	-	-	-
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	6.5	6.5	0	0	0	0
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)		-	-	-	-	-
STUDY QUALITY	LOW	LOW	LOW	LOW	LOW	LOW
NOTES	-	-	-	-	-	-

6.4 Strutture sismogenetiche

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche 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 l'intervento in progetto si snoda in un'area posta al limite di numerose e complesse aree sismogenetiche; le più vicine si trovano ad una distanza di 20-25 km.

La figura seguente evidenzia le aree sismogenetiche prossime all'intervento (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.

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 tra le aree sismogenetiche: "Castelvetro di Modena - Castel S. Pietro" (ITCS047), Castel San Pietro Terme-Meldola (ITCS001), "Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga" (ITCS027), "San Giorgio Piacentino-Fornovo di Taro" (ITCS045)

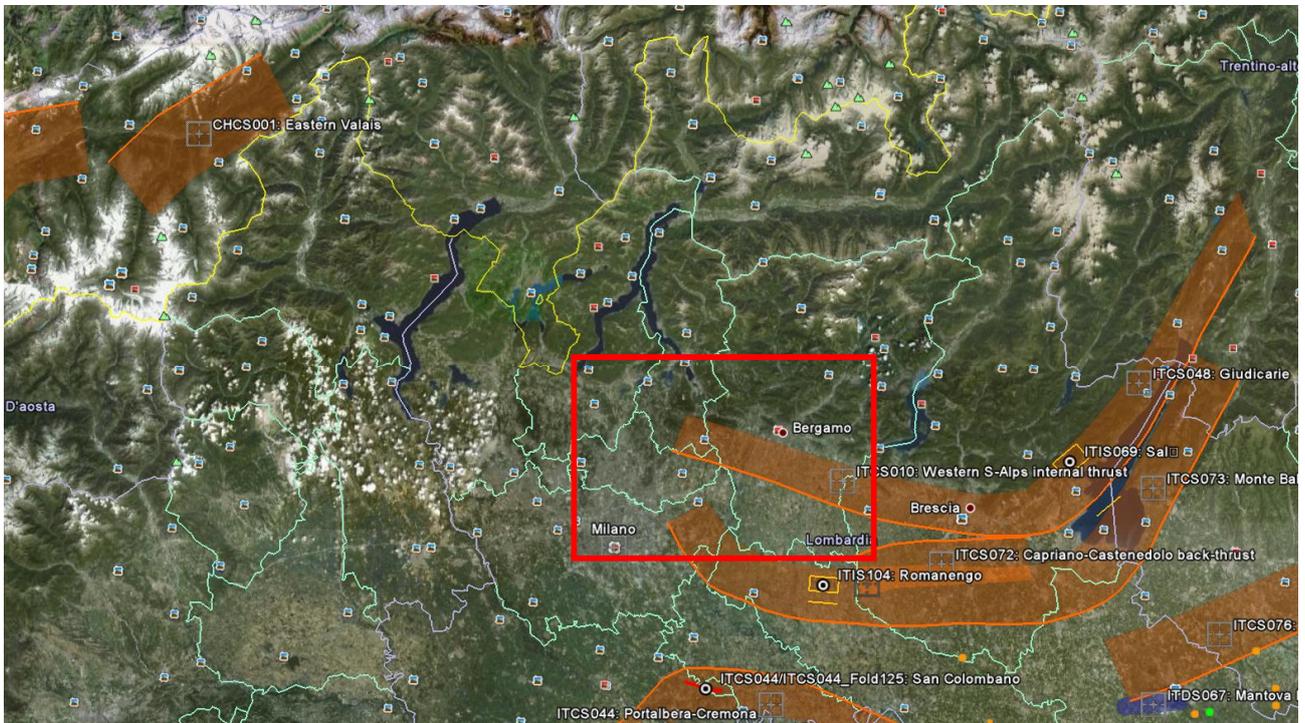


Figura 24: Mappa delle aree sismogenetiche di interesse - Database DISS3.

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	Compiled By	Latest Update	Min Depth (km)	Max Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip (m)	Slip Rate (mm/y)	Recurrence (y)	Max Magnitude (Mw)	Information about the associated Earthquakes	
													Latest Earthquake	Penultimate Earthquake
CHCS001	Eastern Valais	Burrato, P., and S. Mariano	24/09/2007	5	20	40 - 65	60 - 70	250 - 290	-	0.1 - 1	-	5.9	-	-
ITCS010	Western S-Alps internal thrust	Burrato, P.	19/04/2010	5	10	265 - 295	25 - 45	80 - 100	-	0.1 - 0.5	-	5.5	-	-
ITIS069	Salò	Burrato, P., and P. Vannoli	02/12/2005	6.5	9	231	30	90	0.35	0.1 - 0.5	700 - 3500	5.7	30/10/1901	Unknown
ITIS104	Romanengo	Burrato, P.	19/04/2010	2.5	5.8	275	45	90	0.5	0.1 - 0.5	1000 - 5000	5.7	12/05/1802	Unknown
ITCS072	Capriano-Castenedolo back-thrust	Burrato, P.	19/04/2010	1	7	70 - 100	30 - 45	80 - 100	-	0.1 - 0.5	-	6.1	-	-
ITCS073	Monte Baldo	Burrato, P.	19/04/2010	3	9	200 - 250	25 - 45	70 - 100	-	0.1 - 0.5	-	5.5	-	-
ITCS044	Portalbera-Cremona	Burrato, P., and S. Mariano	06/09/2007	2	7	30 - 115	20 - 40	80 - 100	-	0.1 - 0.5	-	5.5	-	-

6.5 Classificazione Sismica

Negli ultimi anni si sono succeduti diversi provvedimenti normativi ed amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale.

Dal 1999 al 2003, la classificazione sismica del territorio nazionale era riconducibile alla mappa di classificazione sismica prodotta dal Gruppo di Lavoro (GdL, 1999), istituito dal Servizio Sismico Nazionale su indicazione della Commissione Grandi Rischi della Protezione Civile.

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM 3274/2003 ha rappresentato una prima risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale strumento si sono stabiliti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche introducendo la nuova classificazione sismica dei comuni italiani (successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/2006) ed abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4; procedendo in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico, poiché di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nella quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

	Caratteristiche	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
Zona 1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g > 0.25$
Zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0.15 < a_g \leq 0.25$
Zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.	$0.05 < a_g \leq 0.15$
Zona 4	E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g \leq 0.05$

Con la successiva ordinanza OPCM 3519/2006 è stata adottata la mappa di pericolosità sismica di riferimento nazionale (INGV, 2004), e sono state stabilite nuove disposizioni per l'individuazione a livello regionale delle zone sismiche su base probabilistica. I nuovi criteri per la determinazione della classificazione sismica individuano 12 fasce e sono basati, (innovando le disposizioni del precedente OPCM 3274/2003) su valori delle accelerazioni massime al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi. Tale classificazione è quindi basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro a_g secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, le Regioni hanno inoltre riclassificato il proprio territorio in termini di livello di pericolosità, o mantenendo le quattro zone nazionali o adottando tre sole zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

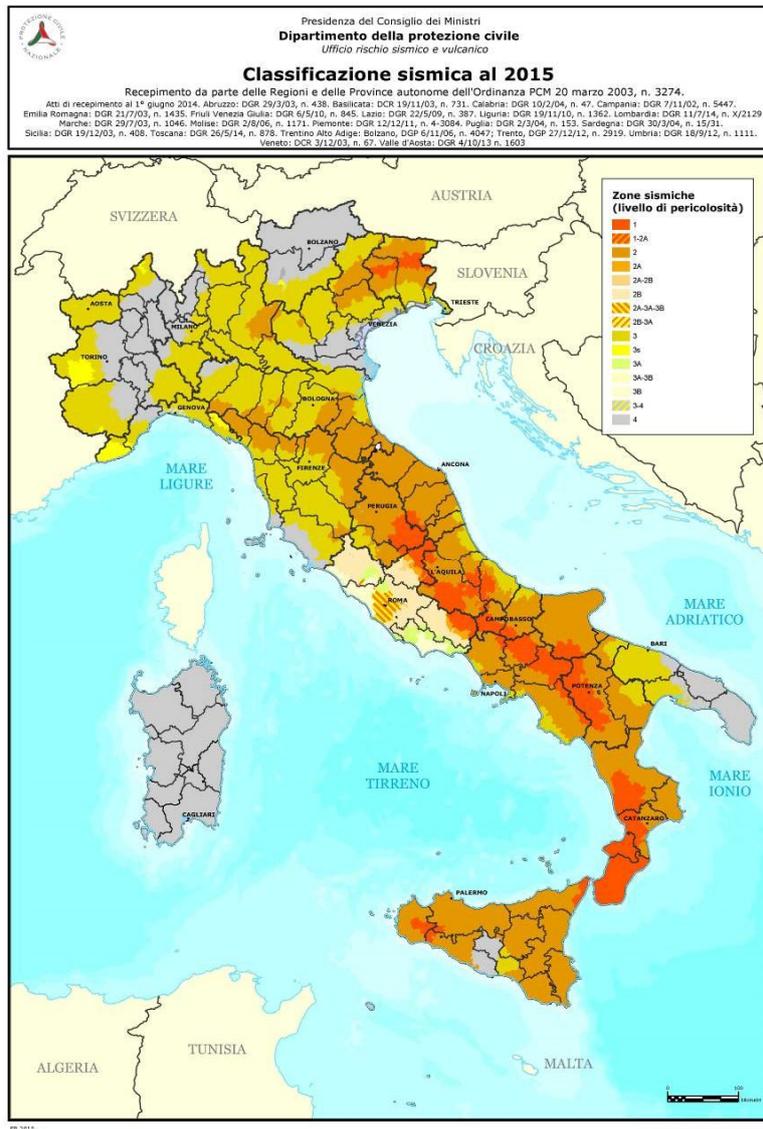
Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozone è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g).

Allo stato attuale, tale valore di pericolosità di base non ha diretta influenza sulla progettazione. Infatti, con l'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) avviene direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 dell'Allegato B delle stesse NTC), indipendentemente dai limiti amministrativi comunali.

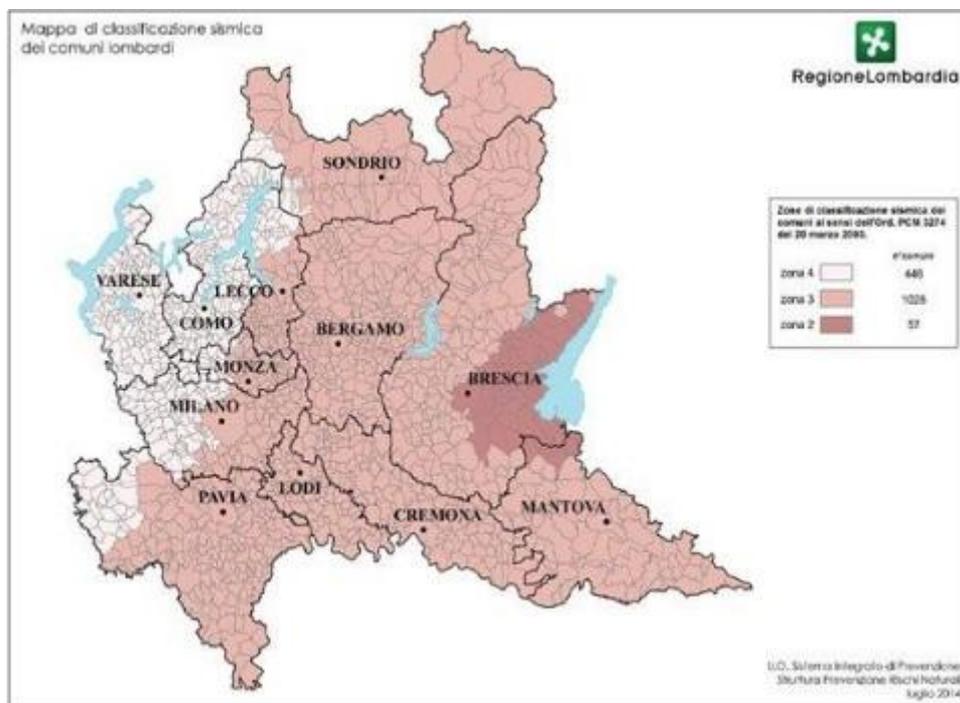
L'allegato A di tali Norme prevede inoltre che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dall'INGV, utilizzati per determinare la forma dello spettro di risposta elastico di riferimento.

L'approccio "sito dipendente" della nuova normativa permette di riferirsi, per ogni costruzione, ad un'accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'opera stessa.

In quest'ottica la precedente zonazione dei territori comunali mantiene la propria utilità, dal punto amministrativo, per la gestione delle attività di pianificazione e controllo.



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.

Regione	Province	Denominazione	Classificazione_2015
Lombardia	Bergamo	Dalmine	3
Lombardia	Bergamo	Stezzano	3

8. REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA

Sulla base dei dati bibliografici e dei sopralluoghi è stato possibile ricostruire una carta geologica - geomorfologica alla scala 1:5000, tale da definire l'unità presente nell'area di interesse, il tutto in analogia alle suddivisioni adottate nell'ambito della carta geologica CARG alla scala 1:50.000 (Foglio Vimercate).

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). Analogamente non è applicabile un criterio di tipo paleontologico a causa della scarsità di fossili ed al loro rimaneggiamento. Viceversa la distinzione dei differenti corpi geologici è stata affidata a fattori rilevabili in sito quali la morfologia (terrazzi, salti e ribassi morfologici, ecc.) ed il grado d'alterazione (colore).

I più recenti studi geologico - geomorfologici (progetto CARG della Regione Lombardia) hanno superato le vecchie suddivisioni legate alle fasi glaciali Mindel – Riss – Wurm (nate per zone Oltralpe), ed hanno adottato una differente classificazione basata sulle alloformazioni.

In linea con questa definizione il progetto di cartografia geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Progetto CARG) stabilisce che la classificazione stratigrafica dei depositi quaternari di pianura, debba basarsi sulla litologia relativa a ciascun ambiente deposizionale e sulla presenza di discontinuità o interruzioni di sedimentazione (limiti non conformi) portando alla distinzione di unità stratigrafiche definite sintemi e subsintemi.

Nella planimetria è riportata la seguente unità allostratigrafica:

Supersintema della Morla OR (Pleistocene medio - Olocene) costituito da ghiaie e ciottoli arrotondati con prevalenti clasti della successione cretacea e di poco subordinati silicoclasti con evidenze di alterazione, intercalazioni sabbiose (depositi alluvionali); argille, limi e sabbie (depositi lacustri). Profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie conservate.

Precedentemente veniva cartografata come fluvioglaciale ghiaioso alterato per circa un metro "livello fondamentale della pianura" (Riss).

Dal punto di vista litologico il supersintema della Morla è costituito da:

- depositi alluvionali: ghiaie a supporto clastico e matrice sabbiosa, con clasti arrotondati, ben selezionati, calcareo-marnosi e arenacei prevalenti, subordinati calcari e silicoclasti alterati di provenienza seriana
- depositi di bassa energia e lacustri: limi, limi sabbiosi e sabbie, osservati in scavo edilizio e cavati anticamente

La superficie limite superiore coincide con la superficie topografica ed è caratterizzata da un profilo di alterazione di spessore variabile, in genere troncato o rimaneggiato dall'attività antropica; ove è possibile osservare spaccati si caratterizza per un'alterazione nettamente maggiore dei clasti silicatici provenienti dall'alta Valle Seriana rispetto a quelli marnosi o calcareo marnosi della successione cretacea locale, elemento che porta a interpretare gli apporti silicoclastici come rielaborati da depositi seriani precedenti entro cui la Morla ha scavato il proprio alveo. Colore della matrice da 7.5 YR per i terrazzi più alti ed esterni, a 10 YR in prossimità dell'alveo olocenico.

Il limite inferiore non è mai osservabile. Esso si giustappone alla superficie erosionale che tronca i depositi del supersintema di Grassobbio ad Est del foglio Vimercate.

L'unità presenta una morfologia ben conservata con più ordini di terrazzi e scarpate di altezza sino a 3 m entro la valle a N di Bergamo che si attenua verso S e per le superfici più recenti.

Il supersintema riunisce una serie di episodi deposizionali distinti in base alla morfologia caratterizzata da una evidente gradonatura preservata dagli interventi edilizi sino agli inizi del secolo scorso. La paleovalle si riconosce nell'interno della linea ferroviaria per Treviglio evidenziata dal tracciato ferroviario in rilevato e su viadotto necessario a superarne la depressione.

La legenda comprende anche alcuni elementi geomorfologici (paleoalvei) ed elementi a tema idrogeologico quali i pozzi. Entrambi derivano dalla cartografia disponibile su Siter della Provincia di Bergamo.

9. DESCRIZIONE GEOLOGICA DEL PROGETTO

Il progetto prevede l'adeguamento dello svincolo di Dalmine tramite la realizzazione di una rampa bidirezionale che, scavalcando l'autostrada A4 con una nuova opera, collega il casello di Dalmine con la rotatoria della Tangenziale di Bergamo (posta in Comune di Stezzano) e garantisce il mantenimento dell'attuale corsia di accesso al casello per i soli flussi diretti verso la viabilità locale. Contestualmente verrà potenziata la rampa in uscita della Tangenziale di Bergamo per i mezzi provenienti da Treviolo da cui si biforcherà una rampa che andrà ad affiancarsi alla rampa di adduzione al casello.

Il progetto si sviluppa interamente su depositi superficiali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi attribuibili al Supersistema della Morla.

I terreni presenti nel sottosuolo sono costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con lenti di materiale fine discontinue; le stratigrafie dei sondaggi evidenziano anche la presenza di livelli cementati tipo "Ceppo" all'interno dei depositi granulari prevalentemente ghiaioso-sabbiosi ma la cementazione di questi livelli non appare continua come indicato in bibliografia. A partire dai 15 metri di profondità i livelli cementati risultano più frequenti. Considerando le stratigrafie dei pozzi per acqua, più profondi rispetto ai sondaggi geognostici, si osserva che il conglomerato cementato viene segnalato a partire dai 16-20 metri, anche in questo caso la continuità in profondità non è sempre presente.

La falda freatica defluisce da nord-ovest a sud-est. L'ultima ricostruzione della superficie freatica è riferibile al PGT di Dalmine ed è riferita a 2009-2010; tale ricostruzione indica piezometrie comprese tra 160-165 m s.l.m. circa per la tratta in esame, situazione che ben si accorda con la ricostruzione effettuata all'interno del PTCP di Bergamo.

La definizione delle caratteristiche delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico finalizzato alla progettazione

degli interventi di stabilizzazione, di ripristino di opere d'arte e di sostegno, i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere non è oggetto della presente relazione.

10. PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

In questo capitolo si ribadiscono alcune criticità che, a giudizio del geologo, possono avere influenza nella progettazione delle opere:

- presenza localizzata di livelli di materiali fini che possono essere soggetti a cedimenti;
- presenza di livelli discontinui di conglomerato (anche di spessore maggiore di 1 m) che, nell'eventualità si renda necessario approfondire scavi oppure eseguire infissioni, potrebbero creare difficoltà esecutive;
- presenza di edifici civili ed industriali in prossimità delle opere, il che 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;
- possibile presenza, nell'ambito dei rilevati esistenti, di materiale di scarse caratteristiche geotecniche, oppure di materiale contraddistinto da caratteristiche geotecniche variabili;
- possono essere presenti cavità dovute a fenomeni di dissoluzione pseudo-carsica all'interno dei conglomerati presenti in profondità (Ceppo).

ALLEGATO 1

Carta geologica geomorfologica con ubicazione delle indagini geognostiche



Indagini geognostiche

Campagna d'indagine	Sondaggi a carotaggio continuo	Sondaggi a distruzione	DPSH	Pozzetti esplorativi	Pozzi
Campagna geognostica RCT (2000)	SA20				
Campagna geognostica SG (2003)	S8				
Campagna geognostica RCT (2003)	S2ovest				
Campagna geognostica Teknos (2006)	SDX		SDDPSHX	SDPZX	
Campagna geognostica D'angelo (2014)	DD1	DD1BIS DD1TER	DPSHX	PZ1	
Pozzi (Siter - Provincia di Bergamo)					⁽¹⁾ BGx

⁽¹⁾ Le ubicazioni dei pozzi (Provincia di Bergamo Siter) non deriva da coordinate Gauss-Boaga

Elementi geologici (da bozza foglio CARG N.97 VIMERCATE)

UNITA' DEL BACINO DELLA MORLA

OR

Supersistema della Morla Ghiaie e Ciottoli arrotondati con prevalenti clasti della successione cretacea e di poco subordinati silicoclasti con evidenze di alterazione, intercalazioni sabbiose (depositi alluvionali); argille e limi e sabbie (depositi lacustri). profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie conservate.
PLEISTOCENE MEDIO - OLOCENE (sino al XIV secolo)

SOVRASSEGNI DELLE UNITÀ NEOGENICO-QUATERNARIE



Deposito alluvionale prevalentemente ghiaioso

Nota: In alcuni tratti i dati bibliografici relativi alla litologia di superficie (primi due metri di spessore) evidenziano granulometrie di tipo differente rispetto a quelli riscontrati nelle verticali d'indagine; pertanto, qualora si ravvisassero locali incongruenze, si attribuisce un maggior valore a quanto puntualmente verificato mediante le indagini geognostiche e riportato nel profilo geologico.

Elementi geomorfologici (da Siter - Provincia di Bergamo)



Traccia di paleoalveo