



Piano di Governo del Territorio

AREA POLITICHE DEL TERRITORIO
DIREZIONE PIANIFICAZIONE URBANISTICA
UFFICIO PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

COORDINAMENTO UFFICIO PGT
ARCH. GIORGIO CAVAGNIS

TEAM DI PROGETTAZIONE
ARCH. GIORGIO CAVAGNIS
ARCH. GIANLUCA DELLA MEA
ARCH. MARINA ZAMBIANCHI

RESPONSABILE SCIENTIFICO
PROF. ARCH. BRUNO GABRIELLI

CONSULENZA ARCHITETTONICA
PROF. ARCH. AURELIO GALTETTI

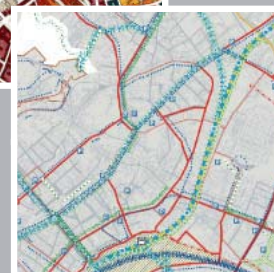
UFFICIO PGT
ARCH. SILVIA PERGAMI
ARCH. ALESSANDRO SANTORO
DOTT. SERGIO APPIANI
DOTT. ANDREA CALDIROLI
DOTT. RAFFAELE PICARIELLO
DOTT. LARA ZANGA
con
DOTT. SILVIA CIVIDINI

CONSULENZA ASPETTI AMBIENTALI E PAESISTICI E VAS
ARCH. MARGHERITA FIORINA

CONSULENZA ASPETTI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI
DOTT. GEOL. RENATO CALDARELLI
DOTT. GEOL. MASSIMO ELITROPI

CONSULENZA ASPETTI LEGALI
AVV. FORTUNATO PAGANO
AVV. PAOLO BONOMI

SIT (SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE)



Modificato e approvato con atto di rettifica non comportante variante (art 13 c.14bis della L.R. 12/05 e s.m.i.):

- ARPGT00 (Del. C.C. n. 6 Reg./60-2010 Prop. Del. in data 24/01/2011)
- ARPGT01 (Del. C.C. n. 146 Reg./46-2011 Prop. Del. in data 19/07/2011)
- ARPGT02 (Del. C.C. n. 99 Reg./25-2011 Prop. Del. in data 30/05/2011)

Pubblicato su Bollettino Ufficiale Regione Lombardia n. 38 in data 21/09/2011.

AGGIORNATO AL 21.09.2011

STUDI DI SETTORE

STUDIO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO
(ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008)

SGO RELAZIONE



STUDIO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO

Indice

Capitolo 1 – Premessa	5
Capitolo 2 – Caratteristiche fisiografiche dell'area	6
2.1 Inquadramento geografico	6
2.2 Inquadramento meteoclimatico	6
2.2.1 Temperatura	
2.2.2 Precipitazioni atmosferiche	
2.2.2.1 Determinazione dell'equazione della possibilità pluviometrica	
Capitolo 3 – Inquadramento geologico e geomorfologico	11
3.1 Evoluzione geologica delle Prealpi Lombarde	12
3.1.1 Lineamenti strutturali	
3.1.2 Descrizione paleogeografica	
3.1.3 Stratigrafia	
3.2 Evoluzione geomorfologica del territorio padano	28
3.2.1 Evoluzione morfodinamica della Pianura Padana	
3.3 Carta litologica e della dinamica geomorfologica	31
3.4 Carta del dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I.	35
3.5 Caratterizzazione pedologica del territorio	36
3.5.1 Descrizione delle unità pedologiche	
3.5.2 La capacità d'uso dei suoli	
Capitolo 4 – Carta idrogeologica e del sistema idrografico	43
4.1 Idrografia superficiale	43
4.1.1 Reticolo idrografico naturale	
4.1.2 Reticolo idrografico artificiale	
4.2 Caratteri idrogeologici	46
4.2.1 La conducibilità idraulica del sottosuolo	
4.2.2 La superficie piezometrica	

4.2.3	Geometria degli acquiferi	
4.3	Vulnerabilità dell'acquifero superficiale	52
4.3.1	D.R.A.S.T.I.C.	
4.3.2	Note conclusive	
Capitolo 5 – Carta di prima caratterizzazione geologico-tecnica		58
5.1	Premessa	58
5.2	Zonazione geotecnica del terreno	58
Capitolo 6 – Analisi della sismicità del territorio		63
6.1	Premessa	63
6.2	Primo Livello; la carta della Pericolosità Sismica Locale	65
6.3	Secondo Livello; valutazione del Fattore di Amplificazione	66
6.3.1	Procedura	
6.3.1.1	Effetti litologici	
6.3.1.2	Effetti morfologici	
6.3.2	Le carte dei fattori di amplificazione	
6.3.3	Considerazioni finali	
6.3.3.1	Amplificazione topografica (Z3)	
6.3.3.2	Amplificazione litologica (Z4)	
6.4	Terzo Livello; valutazione quantitativa degli effetti di un sisma	81
6.4.1	Aree suscettibili a cedimenti e/o liquefazioni (PSL Z2)	
6.4.2	Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3) e litologica (PSL Z4)	
Capitolo 7 – Carta dei vincoli		83
Capitolo 8 – Carta di sintesi		85
8.1	Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti	85
8.2	Caratteristiche geotecniche e geomeccaniche del sottosuolo	86
8.3	Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico	87
Capitolo 9 – Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano		88
9.1	Classi di fattibilità geologica	88
9.2	La fattibilità geologica nel comune di Bergamo	90

9.2.1	Classe 2	
9.2.2	Classe 3	
9.2.3	Classe 4	
9.3	Normativa sismica	94
9.3.1	Classe Z2	
9.3.2	Classi Z3 e Z4	

Indice Figure

<i>Figura 1</i>	Oscillazione della temperatura atmosferica media mensile registrata in Via Garibaldi	7
<i>Figura 2</i>	Oscillazione della temperatura atmosferica media mensile registrata in Via Goisis	8
<i>Figura 3</i>	Oscillazione della temperatura atmosferica media mensile registrata in Via San Giorgio	8
<i>Figura 4</i>	Istogramma delle precipitazioni cumulate mensili rilevate dalla stazione di Via Garibaldi	9
<i>Figura 5</i>	Istogramma delle precipitazioni cumulate mensili rilevate dalla stazione di Via Goisis	9
<i>Figura 6</i>	Carta strutturale delle Alpi e Prealpi Bergamasche. 1 Zona delle unità alloctone superiori e delle unità Grigna e Pegherolo, 2 Zona del Parautoctono e delle unità alloctone inferiori, 3 Zona a pieghe-faglie delle Prealpi, 4 Zona dell'Autoctono e delle scaglie Valtorta-Valcanale, 5 Zona delle Anticlinali Orobiche, 6 Zona del basamento Orobico a faglie, sovrascorrimenti, e pieghe faglie (Semplificato e modificato da Jadoul e Gaetani, 1979)	12
<i>Figura 7</i>	Estratto della Carta geologica della Provincia di Bergamo (AAVV, 2001)	15
<i>Figura 8</i>	Shaded map del territorio di Bergamo, ricavata dal Modello digitale del terreno	33
<i>Figura 9</i>	Stralcio della Carta Pedologica dell'ERSAL (Scala 1:50.000); della città di Bergamo	38
<i>Figura 10</i>	Stralcio della Carta Pedologica dell'ERSAL (Scala 1:50.000); della città di Bergamo	39
<i>Figura 11</i>	Stralcio della Carta della Capacità d'uso dei Suoli redatta dall'ERSAL (Scala 1:50.000); porzione meridionale della città di Bergamo	42
<i>Figura 12</i>	Confronto tra l'oscillazione della quota piezometrica, nel pozzo dell'Istituto Arti Grafiche, con le precipitazioni medie mensili, misurate alla stazione meteorologica sita in Via Garibaldi	51
<i>Figura 13</i>	Proprietà di dispersione delle onde superficiali	69
<i>Figura 14</i>	Schema di un dispositivo di sismica a rifrazione	73
<i>Figura 15</i>	Estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di cresta e la valutazione del fattore di amplificazione (vedi l'allegato 3 per la versione completa)	75
<i>Figura 16</i>	Estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di scarpata (vedi l'allegato 3 per la versione completa)	77

Indice Tabelle

<i>Tabella 1</i>	Classificazione utilizzata per la valutazione della capacità d'uso dei suoli	40
<i>Tabella 2</i>	Correlazione granulometria/conducibilità idraulica	47
<i>Tabella 3</i>	Parametri della griglia utilizzati per discretizzare il territorio di Bergamo	54
<i>Tabella 4</i>	Valore assegnato per tipologia di suolo	54
<i>Tabella 5</i>	Pesi normali	56
<i>Tabella 6</i>	Pesi agricoli	56
<i>Tabella 7</i>	Classi di vulnerabilità	56
<i>Tabella 8</i>	Zone sismiche	63
<i>Tabella 9</i>	Controlla il numero della tabella: livelli di approfondimento e fasi di applicazione della normativa sulla zonizzazione della pericolosità sismica locale	63
<i>Tabella 10</i>	Indicazione degli scenari di pericolosità, effetti e classi di pericolosità associate	64
<i>Tabella 11</i>	Valori di soglia del Comune di Bergamo	66
<i>Tabella 12</i>	Valori della soglia <i>St</i> come indicati nel testo delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2008	67
<i>Tabella 13</i>	Schema per l'assegnazione del Fattore di Amplificazione ed il calcolo dell'area di influenza a monte del ciglio superiore della scarpata	77
<i>Tabella 14</i>	Tabella di raffronto tra i valori di <i>Fa</i> massimi calcolati per il territorio di Bergamo ed i valori soglia forniti dalla Regione Lombardia	80

Allegati

Allegato 1	Schede censimento pozzi
Allegato 2	Indagini geognostiche
Allegato 3	Schede regionali per la valutazione del <i>Fa</i>

Elaborati cartografici

SG 1	Carta geologica (scala 1:10.000)
SG 2	Carta geomorfologica (scala 1:10.000)
SG 3	Carte della dinamica geomorfologica (scala 1:5.000)
SG 4	Carta clivometrica (1:10.000)
SG 5	Carta idrogeologica (scala 1:10.000)
SG 6	Sezioni geologiche
SG 7	Carta di prima caratterizzazione geotecnica (scala 1:10.000)
SG 8	Carta della vulnerabilità dell'acquifero superficiale (scala 1:25.000)
SG 9	Carta della pericolosità sismica locale (scala 1:10.000)
SG 10	Carta dei fattori di amplificazione – Intervallo 0,1s – 0,5 s (scala 1:10.000)
SG 11	Carta dei fattori di amplificazione – Intervallo 0,5s – 1,5 s (scala 1:10.000)
SG 12	Carta dei vincoli (scala 1:10.000)
SG 13a	Carta di sintesi (scala 1:10.000)
SG 13b	Carta di sintesi (scala 1:5.000)
SG 14a	Carta della fattibilità geologica delle azioni di piano (scala 1:10.000)
SG 14b	Carta della fattibilità geologica delle azioni di piano (scala 1:5.000)
SG 15	Carta P.A.I.

Capitolo 1

Premessa

La propensione urbanistica ed edificatoria di un comune non può prescindere dalla conoscenza dettagliata delle sue caratteristiche fisiche.

Con l'entrata in vigore della "Legge per il governo del territorio" (L.R. 12/05 dell'11 marzo 2005) la Regione Lombardia ha voluto modificare l'approccio culturale alla materia urbanistica, sostituendo il principio della pianificazione con quello del governo del territorio.

I criteri e gli indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 12/05, sono stati definiti con la D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005, recentemente sostituita dalla D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008.

L'elemento di maggiore novità introdotto dalla normativa è l'elaborato della Carta della Pericolosità Sismica Locale con la quale si vogliono individuare quelle parti del territorio che per litologia e/o conformazione geomorfologica del paesaggio presentano maggiore sensibilità ad una sollecitazione sismica.

Gli elementi territoriali di base quali la geologia, la geomorfologia, l'idrogeologia e la litologia, riconosciuti con il rilevamento in situ e mediante l'analisi fotointerpretativa, insieme alla carta della pericolosità sismica, sono riportati nelle tavole allegate alla relazione. L'analisi dei singoli tematismi e le loro interconnessioni hanno prodotto la Carta di Sintesi e la Carta della Fattibilità Geologica, nelle quali sono distinti gli elementi di pericolosità naturale presenti sul territorio di Bergamo e, per ciascuno di questi, gli approfondimenti d'indagine propedeutici alle variazioni di destinazione d'uso.

Capitolo 2**Caratteristiche fisiografiche dell'area****2.1 Inquadramento geografico**

La città di Bergamo è situata al centro della provincia di cui è capoluogo ed è inquadrata nelle sezioni C5b2 e C5b3 della Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia.

Il territorio comunale si estende per 40,4 km² nella zona di raccordo tra i rilievi più meridionali della Catena Alpina e l'ampio bacino alluvionale della Pianura Padana. Si tratta di un territorio morfologicamente vario, caratterizzato a nord da un paesaggio collinare tipico delle aree prealpine e a sud da morfologie pianeggianti dell'ambiente padano (Colognola, Grumello al Piano, ...).

Secondo i dati riportati nell'annuario demografico comunale, aggiornato all'1 gennaio 2008, la città conta 117.032 abitanti, per una densità demografica media di 2.896 abitanti/km².

Bergamo confina con i comuni di Ponteranica, Torre Boldone, Gorle, Seriate, Orio al Serio, Azzano San Paolo, Stezzano, Lallio, Treviolo, Curno, Mozzo, Valbrembo, Paladina e Sorisole (elencati in senso orario da nord).

2.2 Inquadramento meteoclimatico

L'analisi del clima è un'importante componente del quadro conoscitivo di un territorio in quanto le condizioni meteorologiche contribuiscono alla formazione del paesaggio ed alla sua evoluzione. Dalle condizioni climatiche dipendono l'intensità dei fenomeni di degradazione del territorio (erosione superficiale, fluviale, ...), lo sviluppo di fattori di protezione (colture, vegetazione arborea, ...) ed il regime idrico superficiale e sotterraneo.

La conoscenza delle condizioni meteo-climatiche di un territorio è fondamentale per la valutazione e la previsione dei fenomeni di degradazione e dissesto e la conseguente progettazione di opere di mitigazione del rischio.

I fattori sui quali si basano le diverse classificazioni climatiche sono la temperatura e le precipitazioni atmosferiche, cui si affiancano la radiazione netta (differenza tra energia in entrata ed in uscita), il bilancio del suolo e la vegetazione.

Le precipitazioni liquide (piogge) o solide (neve, grandine, brina e rugiada) sono misurate in millimetri: ogni millimetro di precipitazione corrisponde ad un litro di acqua per metro quadrato (l/m²).

Di seguito sono illustrati gli andamenti della temperatura e delle precipitazioni nei periodi compresi tra 2005 ed il 2008, dedotti dalle misurazioni rilevate da tre stazioni meteorologiche installate a Bergamo (ubicate in via Garibaldi, via Goisis e via San Giorgio) e gestite dall'A.R.P.A. Lombardia. I dati aggiornati sono consultabili sul sito web dell'ente.

2.2.1 Temperatura

La temperatura dell'aria è un parametro dipendente da numerose variabili che agiscono a scala differente: la posizione reciproca di Terra e Sole, la distribuzione delle masse continentali ed oceaniche, le grandi correnti oceaniche, i moti convettivi dell'atmosfera, le caratteristiche fisiografiche locali.

I grafici seguenti descrivono l'oscillazione delle temperature minime, massime e medie mensili misurate delle tre stazioni meteo installate nel Comune di Bergamo (figure 1, 2 e 3).

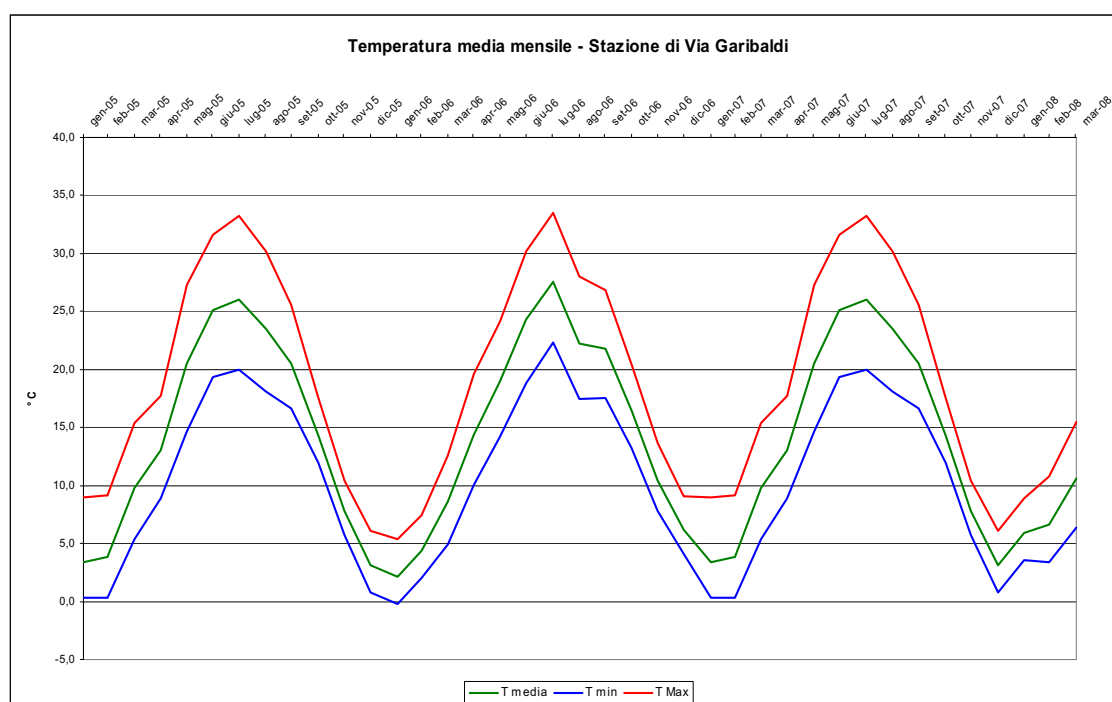


Figura 1 – Oscillazione della temperatura atmosferica media mensile registrata in Via Garibaldi.

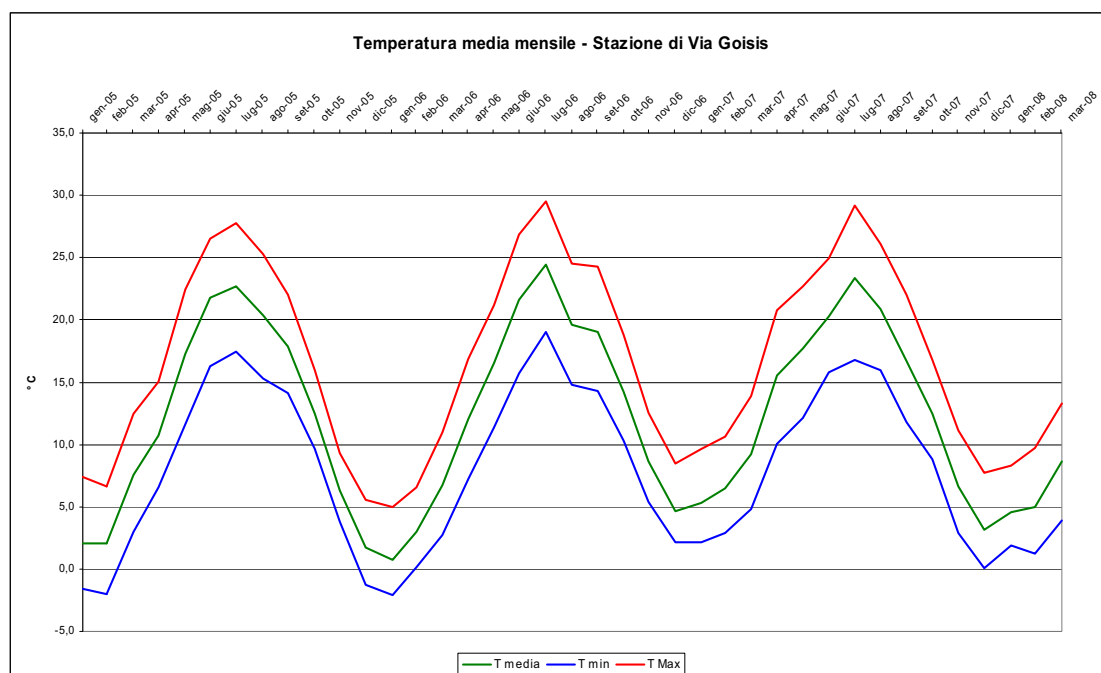


Figura 2 – Oscillazione della temperatura atmosferica media mensile registrata in Via Goisis.

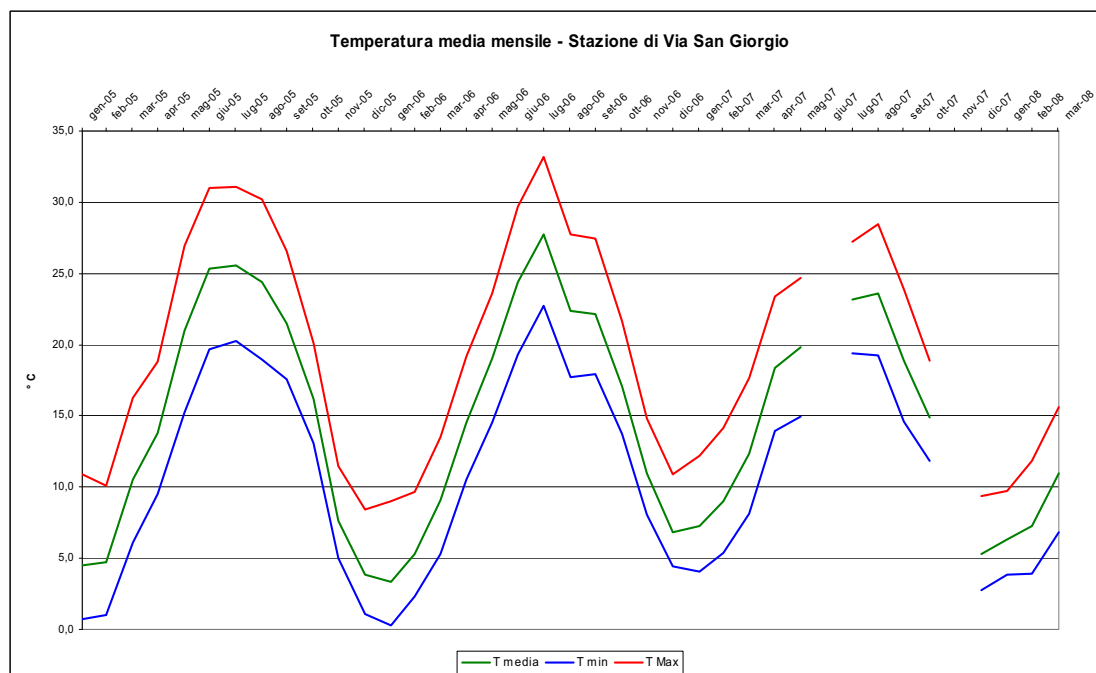


Figura 3 – Oscillazione della temperatura atmosferica media mensile registrata in Via San Giorgio.

Il periodo più caldo dell'anno coincide con il mese di luglio, con temperature medie che oscillano tra i 22 ed i 27 °C, mentre il periodo più freddo è quello compreso tra i mesi di gennaio e febbraio, con una media che oscilla tra 0 e 7 °C.

2.2.2 Precipitazioni atmosferiche

Le precipitazioni hanno una distribuzione approssimativamente sinusoidale, con i massimi concentrati nei mesi di agosto e settembre ed i minimi nel periodo invernale (figure 4 e 5).

Alcune discrepanze tra le stazioni di rilevamento di Via Garibaldi e Via Goisis, sono attribuibili alla mancata acquisizione dei dati da parte delle centraline.

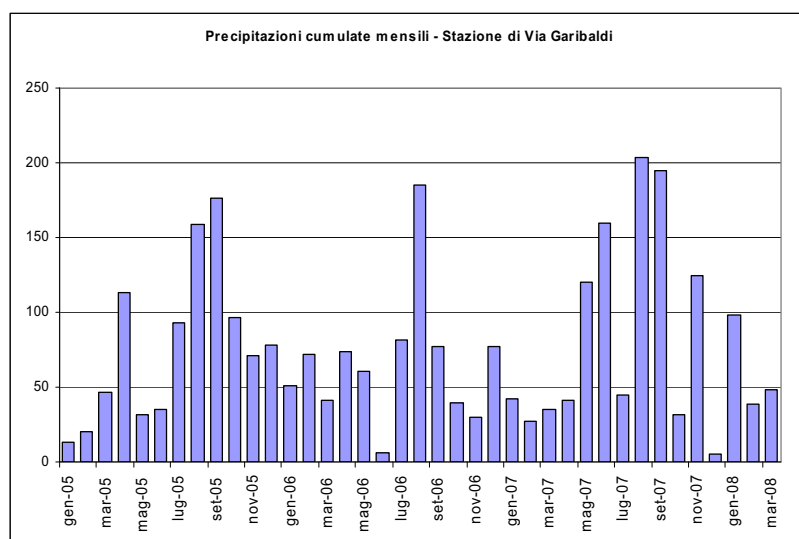


Figura 4 – Istogramma delle precipitazioni cumulate mensili rilevate dalla stazione di Via Garibaldi.

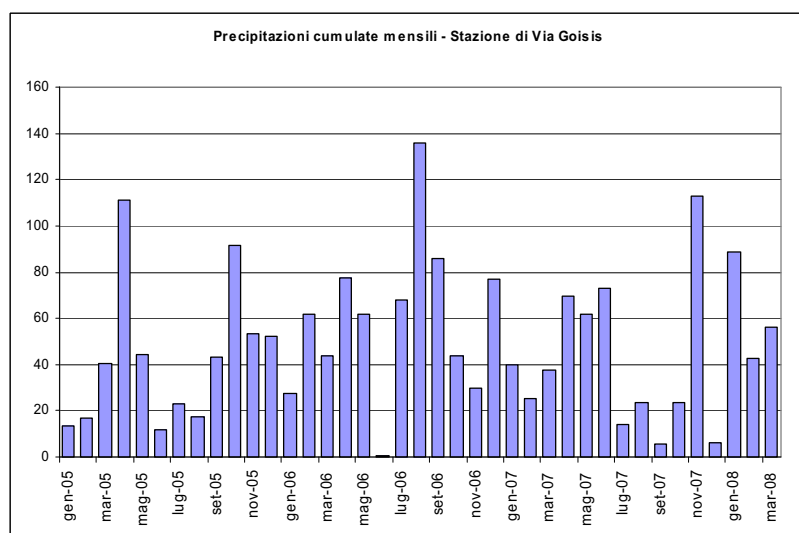


Figura 5 – Istogramma delle precipitazioni cumulate mensili rilevate dalla stazione di Via Goisis.

2.2.2.1 Determinazione dell'equazione della possibilità pluviometrica

La determinazione delle altezze idrometriche e delle portate ha un ruolo importante per il dimensionamento delle opere, nonché per le funzioni di regolazione o dissipazione dell'energia associata a tali flussi.

Le fonti dalle quali attingere gli elementi di interesse sono le rilevazioni sistematiche degli eventi climatici, meteorici ed idraulici realizzate in stazioni ad hoc distribuite sul territorio. Tali osservazioni sono effettuate dal Servizio Idrografico, dalle Regioni e/o da altri enti preposti. Gli afflussi nell'ambito dei bacini sono raccolti negli Annali Idrologici e da essi si possono ricavare i deflussi idrici alle sezioni di progetto.

L'elaborazione dei dati pluviometrici forniti da una stazione di misura delle piogge, si svolge ricercando la cosiddetta "curva di possibilità pluviometrica" per il determinato tempo di ritorno considerato, ovvero il legame esistente tra l'altezza h [mm] delle precipitazioni e la loro durata critica d [ore]. Affinché le elaborazioni siano attendibili i dati di riferimento e di osservazione devono essere sufficientemente estesi nel tempo (20 - 30 anni).

La curva di possibilità pluviometrica è generalmente espressa nella forma:

$$h = a t^n$$

dove a e n sono costanti in funzione del tempo di ritorno t .

Una prima ed approssimativa stima può essere effettuata basandosi sugli "Studi e analisi per il Piano Territoriale di Coordinamento provinciale" - Sezione Idrologia – Idraulica, che contengono la cartografia delle curve "iso- a " e "iso- n " per tutta la provincia di Bergamo relative a tempi di ritorno $T = 5, 10, 50, 100$.

Capitolo 3**Inquadramento geologico e geomorfologico (Tav. 1)**

Il territorio di Bergamo è suddivisibile in due settori distinti dal punto di vista geologico e geomorfologico. La zona dei colli appartiene alla porzione più meridionale delle Prealpi Lombarde ed è formata da rocce di età cretacea, faglie e piegate. La fascia pedecollinare e la pianura sono costituite da ampie falde di depositi quaternari originati dallo smantellamento sin-orogenetico e post-orogenetico delle rocce del substrato roccioso.

Note bibliografiche

L'inquadramento geologico e tettonico del territorio di Bergamo è stato redatto attraverso la consultazione e la sintesi di documenti bibliografici e tramite il rilevamento sul terreno.

In particolare sono state di supporto all'attività di rilevamento geologico: la *"Carta Geologica della Provincia di Bergamo"* in scala 1:50.000 e le relative note illustrative (figura 7), il Foglio n. 33 "Bergamo" (scala 1:100.000) della Carta Geologica d'Italia, pubblicato dal Servizio Geologico nel 1954 e le note illustrative allegate, la *"Carta Geologica del Comune di Bergamo"* in scala 1:10.000, Romano Gelati (1966).

L'inquadramento strutturale (figura 6) è stato tratto dalla carta in scala 1:50.000 *"Geological Map of Jurassic of Southern Alps"* di Bersezio et alii (1994), che traccia l'assetto dell'intero settore pedemontano delle Alpi e Prealpi Orobiche, dalla Guida Geologica Regionale *"Alpi e Prealpi Lombarde"* edita dalla Società Geologica Italiana.

Altre fonti consultate sono il *"Piano Territoriale di Coordinamento del Parco dei Colli di Bergamo"* (Malaram Conti, Testa, 1984) ed il rapporto finale sulle *"Indagini geologiche di supporto alla redazione del nuovo P.R.G."* (Tomei, 1999).

Le relazioni geotecniche e le indagini geognostiche realizzate a supporto dei singoli progetti di edilizia privata e pubblica hanno fornito informazioni di carattere puntuale che sono raccolte nell'allegato 2.

3.1 Evoluzione geologica delle Prealpi Lombarde

3.1.1 Lineamenti strutturali

Il territorio di Bergamo è situato nella provincia tettonica delle Alpi e Prealpi Orobiche, a loro volta comprese nelle Alpi Meridionali. Le Alpi Meridionali sono caratterizzate da uno stile tettonico a pieghe e sovrascorrimenti, differente da quello dell'edificio alpino vero e proprio in quanto ha interessato unità appartenenti allo stesso dominio paleogeografico e non ha determinato significativi episodi di metamorfismo.

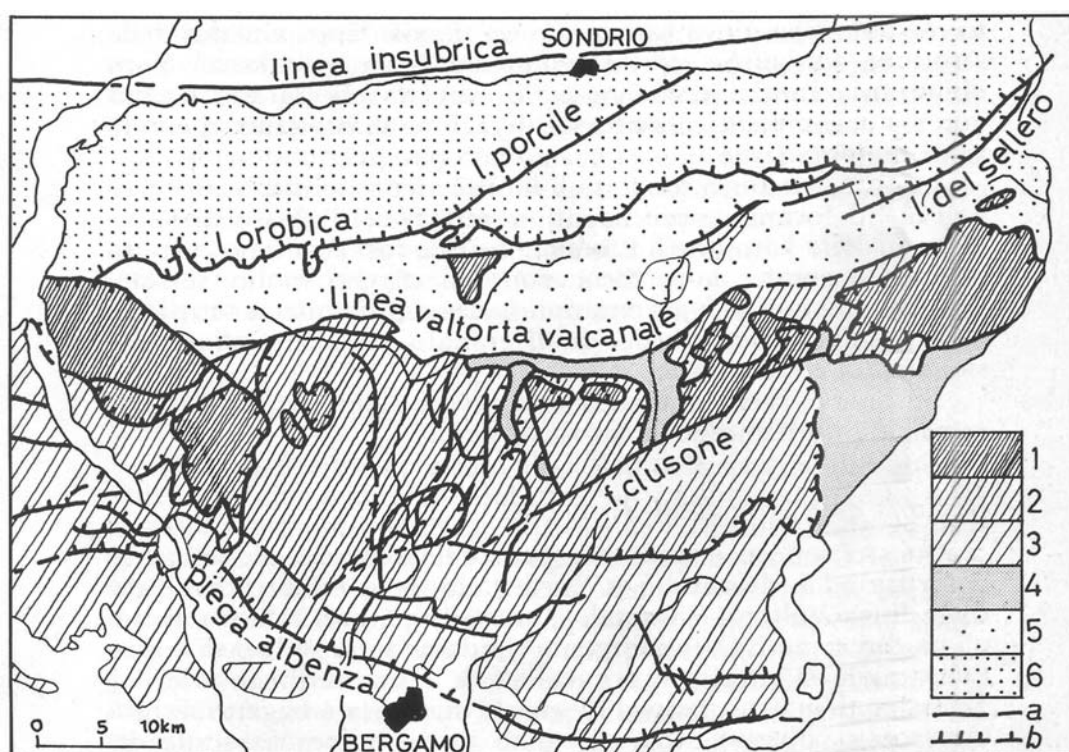


Figura 6 - Carta strutturale delle Alpi e Prealpi Bergamasche. 1 Zona delle unità alloctone superiori e delle unità Grigna e Pegherolo, 2 Zona del Parautoctono e delle unità alloctone inferiori, 3 Zona a pieghe-faglie delle Prealpi, 4 Zona dell'Autoctono e delle scaglie Valtorta-Valcanale, 5 Zona delle Anticlinali Orobiche, 6 Zona del basamento Orobico a faglie, sovrascorrimenti, e pieghe faglie (Semplificato e modificato da Jadoul e Gaetani, 1979)

Più in dettaglio le Alpi e Prealpi Orobiche sono suddivise in cinque settori, estesi in senso est-ovest, con differenti caratteristiche strutturali, di seguito elencate:

- il Basamento orobico: situato lungo il fianco idrografico destro della Valtellina. È caratterizzato da deformazioni del basamento cristallino con un sovrascorrimento sudvergente sopra la serie sedimentaria permo-triassica.

- l'Anticlinale Orobica: ubicata nel settore settentrionale della provincia di Bergamo. Presenta un sistema di pieghe e sovrascorrimenti che interessa la copertura sedimentaria permo-triassica.
- la Scaglia Valtorta-Valcanale: si trova in una stretta fascia a sud della linea Valtorta-Valcanale. I litotipi triassici che la costituiscono sono sovrascorsi, raddrizzati e tettonizzati.
- il Parautoctono e le unità alloctone: è ubicato nel settore centrale delle Prealpi Orobiche e ne costituisce l'unità strutturale fondamentale: è caratterizzata da uno stile strutturale a faglie e sovrascorrimenti che localmente provocano una duplicatura o triplicatura della sequenza carbonatica triassica.
- il settore a pieghe-faglie (Flessura Pedemontana): ubicato nel settore meridionale delle Prealpi Orobiche fino al margine della pianura. È caratterizzato da uno stile a pieghe e a pieghe-faglie, con disposizione dei piani assiali prevalente est-ovest. In questa parte delle Prealpi Orobiche la Flessura Pedemontana è ben rappresentata dall'anticlinale dell'Albenza e da diverse pieghe minori associate, dritte o rovesciate, ed è costituita da una cintura di pieghe en echelon SSW vergenti e faglie con immersione regionale N/110-120. Verso ovest, l'unità è interrotta lateralmente dalla faglia Roncola-Catremerio, situata pochi chilometri a sud di Costa Valle Imagna.

I rilievi della città di Bergamo appartengono, dal punto di vista strutturale, alla zona a pieghe e a faglie delle Prealpi.

3.1.2 Descrizione paleogeografica

L'attuale assetto geologico delle Alpi e delle Prealpi è il risultato di un processo orogenetico articolato che ha visto dapprima la formazione delle rocce (per sedimentazione, per raffreddamento di corpi magmatici e/o per metamorfismo), ed in un secondo tempo il loro dislocamento tettonico.

L'età delle formazioni rocciose è quella della loro messa in posto. Tramite la loro composizione litologica e la similitudine con ambienti attuali è stato possibile riconoscere l'ambiente deposizionale nel quale si sono depositi i sedimenti e la conformazione paleogeografica dei continenti.

Sono distinte tre fasi per le diversità dei caratteri paleogeografici che le contraddistinguono, ma dominate da un ambiente marino nel quale avviene la sedimentazione dei depositi che oggi formano l'"ossatura" dei rilievi montuosi.

1. Durante il Giurassico la sedimentazione avviene in un ambiente anorogenico con tendenza alla subsidenza e conseguente formazione di successioni di piattaforma peritidale, di mare poco profondo e batiale. La regione è interessata da un progressivo e costante approfondimento e dall'instaurarsi di condizioni di tipo pelagico. La transizione dal Giurassico superiore al Cretaceo è caratterizzata dal passaggio da litologie prevalentemente carbonatiche a rocce di tipo flyschoidi, che diverranno predominanti in gran parte del Cretaceo.

A partire dal Cretaceo medio-inferiore (Albiano, circa 95 milioni di anni), con l'inizio della deposizione del Sass de la Luna (affiorante nel territorio di Bergamo), la serie stratigrafica comincia a presentare natura flyschoidi, dovuta all'instaurarsi della fase orogenetica (fase eoalpina), allo smantellamento della catena in emersione ed alla deposizione di sedimenti al fondo del bacino mediante correnti di torbida. Nella successione stratigrafica affiora a Bergamo il Flysch di Pontida, che conferma il perdurare delle condizioni iniziate nel cretaceo inferiore.

Nel Cretaceo medio-superiore, un ambiente marino costiero e peritidale, porta alla formazione di una successione sedimentaria prevalentemente carbonatica in un intervallo temporale compreso tra l'Albiano superiore e il Turoniano medio-superiore.

2. Nel Pleistocene inferiore e fino al Pleistocene superiore, circa 18.000 anni fa, si mantengono condizioni paleogeografiche continentali, durante le quali l'evoluzione del territorio ed i processi morfogenetici sono dovuti alle avanzate ed ai ritiri delle "lingue" glaciali.
3. Attualmente il territorio è soggetto a processi morfologici naturali dovuti all'azione delle acque correnti ed all'azione della gravità, che possono determinare variazioni delle forme e quindi del paesaggio. Non va dimenticata l'azione dell'uomo che molto ha fatto, più della natura, nell'ultimo secolo.

3.1.3 Stratigrafia

Le unità litostratigrafiche che costituiscono il substrato roccioso appartengono al periodo Cretaceo medio-superiore. Sono unità di facies torbiditica generate dall'azione di correnti sottomarine ad elevata velocità e ad alta densità, in grado di rimuovere ingenti quantità di sedimenti di acque basse e litoranee e di ridepositarli in zone più profonde.

L'affioramento del substrato è generalmente concentrata nel settore nord occidentale oppure non riconoscibile a causa dell'estesa copertura detritica quaternaria.

La coltre detritica è costituita da materiale incoerente distinto sulla base dell'età relativa nonché dei meccanismi di deposizione ed è formata prevalentemente da terreni di origine fluvioglaciale.

Unità litologiche

Le unità descritte sono quelle individuate nella Carta Geologica della Provincia di Bergamo (scala 1:50.000) ed affioranti nel territorio del Comune di Bergamo.

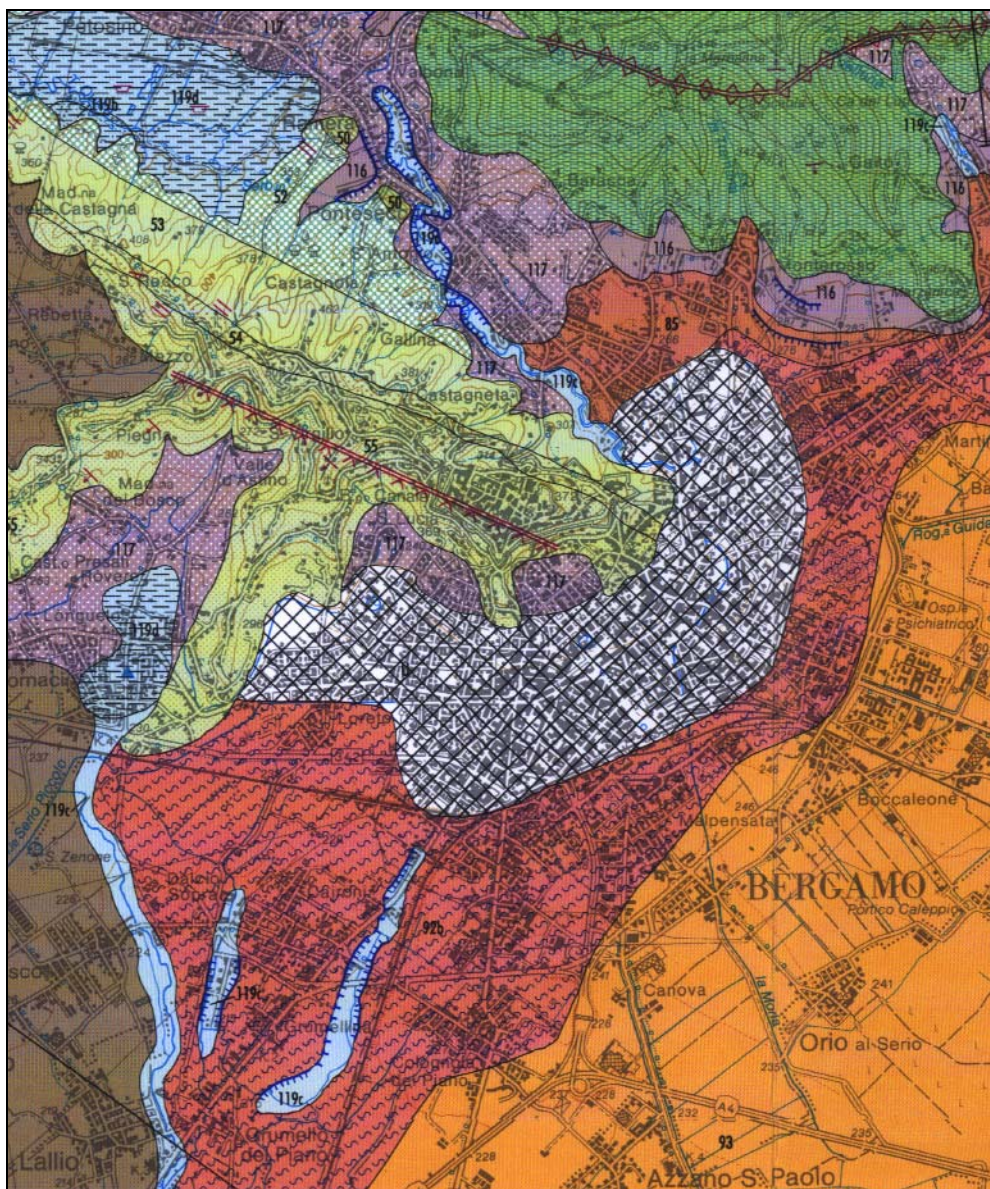


Figura 7 – Estratto della Carta geologica della Provincia di Bergamo (AAVV, 2001)

Substrato cretacico

- Flysch di Bergamo - (Campaniano; U.C. 55): quest'unità costituisce gran parte della collina bergamasca e le due propaggini di San Vigilio e San Sebastiano. Si tratta di alternanze di peliti ed arenarie, di colore da grigio chiaro a giallastro, in strati da sottili a spessi, di origine torbidity. Il limite inferiore, con il Conglomerato di Sirone, è netto a Bergamo mentre è graduale nella zona del Monte Canto; pur se non completamente osservabile è chiaramente intuibile percorrendo il lato nord-est delle mura di Città Alta (N-E): la tipica alternanza di strati arenacei e livelli pelitici della base della Formazione è in contatto ed in apparente continuità, con uno strato conglomeratico di circa un metro di spessore. Nella provincia di Bergamo lo spessore dell'unità non può essere valutato direttamente ma, nell'area Brianzola è stimato in circa 800 metri.



Foto 1: Affioramento del Flysch di Bergamo lungo la via San Lorenzo.



Foto 2: Affioramento del Flysch di Bergamo in Città Alta.

Il Flysch di Bergamo presenta al suo interno una serie articolata di associazioni di facies.

Le facies che affiorano nella città di Bergamo sono:

- A) Alternanze di peliti ed arenarie fini e medie, in strati da sottili a spessi, con superfici di stratificazione piano-parallele. Gli strati arenacei sviluppano tipicamente delle sequenze di Bouma complete (Ta-e, ben visibili ad esempio in Loc. Roncano) o troncate alla base; frequentemente si rilevano impronte di fondo e bioturbazioni. Si riconoscono sequenze verticali di tipo *thickening upward*. Quest'associazione è la più rappresentata sia a Bergamo che a Monte Canto.

B) Orizzonti di spessore decametrico formati da arenarie medie e grossolane, massive o in strati molto spessi, con intercalati sottili livelli pelitici; le superfici di stratificazione sono irregolari ed in genere non parallele; frequenti sono le amalgamazioni. Questi orizzonti si rinvencono sia a Bergamo che a monte Canto.

A livello fossilifero si osservano piccoli gusci di bivalvi e di gasteropodi, alcune alghe, frammenti di echinodermi (columnalia e spine) radiolari e foraminiferi.

Alla base degli strati più arenacei i fossili sono concentrati in tasche dove sono generalmente mal conservati. Nelle porzioni superiori degli eventi torbiditici riconosciuti si osservano tracce di bioturbazione, localmente diffuse.

I Flysch di Bergamo possono essere interpretati come depositi marini profondi appartenenti ad un vasto sistema torbiditico. Si riconoscono associazioni di facies tipiche di piana bacinale e di lobo deposizionale e probabili processi di bypass dei flussi torbiditici. Tale ambiente deposizionale può essersi sviluppato nell'avanfossa prospiciente la catena alpina nel Cretacico superiore, ed essere alimentato dall'erosione di tale catena. Le paleocorrenti evidenziano apporti provenienti da nord e da nord-est.

- Conglomerato di Sirone - (Santoniano; U.C. 54): affiora nella porzione centrale del colle bergamasco; mostra un alto rilievo morfologico dovuto alla maggiore competenza che tende a manifestarsi con pareti subverticali. Quest'unità è costituita da un'alternanza di corpi conglomeratici da medi a spessi (fino a qualche metro), massici, con strati di arenarie torbiditiche da sottili a medie. Lo spessore, nell'area bergamasca, è di circa 50-60 metri e raggiunge gli oltre 150 metri in Brianza. Nell'area bergamasca centrale il limite inferiore è netto con l'Arenaria di Sarnico e nel territorio comunale è osservabile parzialmente in un intaglio fluviale nei pressi dell'imbocco della Via dei Vasi (da via Ramera).

La successione del Conglomerato di Sirone è caratterizzata da un'associazione di litofacies conglomeratiche, in corpi generalmente disorganizzati, con semplici e non sempre osservabili sequenze fining upward, nella parte inferiore della formazione. Salendo stratigraficamente si associano, con una frequenza sempre maggiore, delle alternanze arenaceo-pelitiche fini di origine torbiditica sino al tetto della formazione.



Foto 3: Affioramento del Conglomerato di Sirone al baluardo di San Lorenzo nei pressi della località la Montagnina.



Foto 4: Particolare del conglomerato.

I ciottoli sono poligenetici ed arrotondati, consistono principalmente di quarzo, frammenti di rocce cristalline, carbonatiche e selci; alcuni rari frammenti sono di natura carbonatica. I clasti mostrano una distribuzione generalmente bimodale. La cementazione carbonatica è da buona a scarsa. Le paleo correnti rilevate hanno un'orientazione principalmente E-W.

- Arenaria di Sarnico - (Coniaciono; U.C. 53): affiora lungo il versante settentrionale del colle di Bergamo. Si tratta di un'alternanza di peliti ed arenarie di colore grigio, in strati da sottili a spessi, di origine torbidity. Lo spessore dell'unità è piuttosto costante in tutta l'area di affioramento ed è stimato in circa 400 metri. Il contatto con il sottostante Flysch di Pontida è sempre graduale e coincide con la progressiva comparsa degli strati più spessi e grossolani dell'Arenaria di Sarnico all'interno di quelli più fini dell'unità precedente. Lo spessore, nell'area bergamasca, è di circa 50-60 metri e raggiunge gi oltre 150 metri in Brianza. Nell'area bergamasca centrale il limite inferiore è netto.

L'Arenaria di Sarnico è suddivisa in tre differenti associazioni di facies che risultano ugualmente distribuite nella provincia di Bergamo:

- A) Alternanza di peliti grigie ed arenarie fini e medie, senza evidenza di strutture interne, in strati da medi a spessi; base netta e contatto superiore arenaria/pelite netto; strati tabulari e superfici di stratificazione piano-parallele; rapporto arenaria/pelite = 1.
- B) Alternanza di peliti ed arenarie fini, in strati sottili, a volte medi, massivi o con strutture di Bouma, con lamine parallele, oblique o convolute; frequenti strutture da sfuggita d'acqua.

C) Orizzonti di arenarie medie e fini, amalgamate, in strati e banchi spessi fino a 7/8 metri; gradazione assente o poco sviluppata, con isolati granuli alla base dei singoli episodi amalgamati; base e tetto dei banchi netti, con superfici di stratificazione parallele o leggermente convergenti alla scala dell'affioramento; frequenti strutture da sfuggita d'acqua.



Foto 5: affioramento delle Arenarie di Sarnico lungo la strada che porta da Valmarina alla Città Alta.

Nell'ambito del sistema torbidoitico che si impose nel Bacino Lombardo nel Cretacico superiore e costantemente alimentato dai quadranti orientali, le associazioni di facies dell'Arenaria di Sarnico consentono di ricostruire un ambiente deposizionale formato da depositi di lobo (facies C) intercalati con i rispettivi depositi fini marginali (facies B) e a depositi di piana di bacino (facies A).

- Flysch di Pontida - (Turoniano medio – superiore; U.C.: 52): affiora alla base del versante nord della collina bergamasca.

Il Flysch di Pontida è una successione torbidoitica costituita da alternanze marnoso arenacee a stratificazione variabile da sottile a spessa, cui si alternano strati e banchi calcareo-marnosi potenti fino ad alcuni metri, talora con base conglomeratica. Lo spessore della formazione raggiunge i 600 metri nell'area tipo di Pontida; il limite inferiore, nei settori in cui la successione si presenta più completa, mostra una graduale transizione alle sottostanti Peliti Rosse.



Foto 6: Affioramento del Flysch di Pontida.



Foto 7: strati torbiditici del Flysch di Pontida.

La successione del Flysch di Pontida presenta un'associazione di facies relativamente monotona, costituita per la maggior parte da strati torbiditici incompleti alla base ed a geometria piano-parallela. Il rapporto arenaria/pelite cresce nella parte sommitale dell'unità, in prossimità del passaggio graduale con l'Arenaria di Sarnico. La distribuzione dei corpi calcareo-marnosi è irregolare ed è più frequente verso l'alto. Le paleocorrenti delle torbiditi mostrano una dispersione da est verso ovest.

Le areniti tipiche del Flysch di Pontida sono litareniti relativamente povere in feldspati e ricche in quarzo policristallino e frammenti litici.

- Peliti Rosse - (Cretaceo Superiore; U.C. 50): affiorano limitatamente nei pressi delle località Ramera e La Lussana ed originano morfologie dolci e regolari.

Le Peliti Rosse comprendono una successione di argilliti rosse e grigie con subordinati livelli arenacei a stratificazione sottile ed orizzonti calcilutitici normalmente silicizzati. Lo spessore varia tra 30 e circa 80 metri spostandosi dal Torrente Sommaschio verso Sorisole. Il limite inferiore è graduale e rapido con le Peliti Nere (non affioranti nel territorio comunale di Bergamo).

La successione è formata principalmente dalle seguenti due litozone:

- A) litozona inferiore argillitica, di colore rosso, con sporadiche intercalazioni areniti che lenticolari entro peliti a stratificazione sottile;
- B) litozona superiore che comprende una sequenza *coarsening e thickening upwards* di arenarie torbiditiche a stratificazione sottile alternate a peliti rosse e calcilutiti silicizzate in strati sottili e medi.

- Sass de la Luna - (Cretaceo inferiore - Unità Cartografica 46): affiora nell'area della Maresana, in particolare sulle creste ed i crinali, lungo alcune aste torrentizie e gli

intagli stradali; tali rocce costituiscono il versante meridionale del Colle Alto. Dal punto di vista morfologico tale unità non presenta un alto rilievo morfologico per via delle sue caratteristiche litologiche, né tende a formare pareti subverticali; si rinvencono infatti raramente delle scarpate di limitate dimensioni. In genere il Sass de la Luna affiora nelle ampie superfici di denudamento sommitali, mostrando tracce di fenomeni carsici e strie glaciali.



Foto 8: Affioramento del Sass de la Luna in località Monte Rosso.



Foto 9: Particolare dell'affioramento.

Litologicamente il Sass de la Luna è costituito da una successione di calcari marnosi risedimentati e marne emipelagiche a stratificazione variabile, da sottile a molto spessa, di colore grigio o bruno, con intercalazioni marnoso-argillose grigio-azzurre. Questo corpo sedimentario si presenta come un prisma cuneiforme esteso a tutto il Bacino Lombardo, dal Varesotto sino al Lago di Garda, con depocentro allungato in direzione est-ovest ed uno spessore che nella Provincia di Bergamo varia tra i 30 ed i 350 metri circa: gli spessori massimi si riscontrano nella zona di Bergamo, con un generale e rapido assottigliamento verso nord ed un assottigliamento meno repentino verso sud (nei pozzi AGIP tale formazione è stata riconosciuta sino alla località di Malossa). L'apporto dei sedimenti avveniva probabilmente da meridione.

Il Limite inferiore è transizionale e viene collocato in corrispondenza della scomparsa degli orizzonti marnoso-argillosi della sottostante Marna di Bruntino; il limite superiore è invece netto e concordante con le soprastanti "marne rosse" (Cenomaniano. Inf.) ed erosivo e discordante con i potenti slumps (Cenomaniano sup.) dei cosiddetti "banchi caotici" (informale).

Nelle aree dove l'unità è particolarmente potente, Bersezio (1992) ha riconosciuto due litozone, una inferiore ed una superiore:

- A) La litozona inferiore è caratterizzata dalla maggiore abbondanza e spessore delle intercalazioni marnoso-argillose tra gli strati marnoso-calcarei. Gli strati sono piano-paralleli, normalmente gradati alla base e laminati a tetto, costituendo sequenze torbiditiche esclusivamente pelagiche.
- B) La litozona superiore è caratterizzata dalla progressiva scomparsa delle intercalazioni marnoso-argillose e dalla frequenza crescente dei banchi torbiditici, il cui spessore supera in alcuni casi i 10 metri.

Nelle aree dove lo spessore dell'unità è minore, la suddivisione tra le due litozone viene meno e la successione è caratterizzata da alternanze calcareo-marnose di spessore medio. Complessivamente mostra una sequenza *thickening upward* nelle zone di maggior accumulo di sedimenti contrapposte a sequenze meno complesse nelle aree sottoalimentate.

Nel territorio del comune di Bergamo la Formazione è generalmente coinvolta in una serie di pieghe che giustificano la presenza di una diffusa fratturazione (con fratture successivamente riempite da calcite spatica) che maschera localmente le caratteristiche e le strutture sedimentologiche primarie. Le buone condizioni di affioramento permettono comunque l'osservazione a grande scala della successione (verticale) delle due litozone descritte in letteratura (BERSEZIO, 1992) ma non i limiti inferiore e superiore.

In particolare, la litozona superiore (calcareo-marnoso prevalente) si presenta con facies torbiditiche pelagiche con strati tabulari da 10 a 35-40 cm organizzate in sequenze acicliche, in cui si alternano livelli calcarei (calcilutiti-calcareniti) di colore grigio-biancastro a livelli più marnosi grigi, grigio-nocciola.

In quella inferiore (prevalentemente marnosa, con facies emipelagiche dominanti) sono stati osservati almeno due livelli caratteristici, ricchi in materia organica.

Dal punto di vista paleontologico, soprattutto all'interno delle porzioni calcaree (di entrambe le litozone), si osserva la presenza di Formaniferi, Radiolari e di Ichniti (tipo *Fugichnia*) sempre di modeste dimensioni (da 0,5 a 7-8 cm), evidenziate in genere da una diversa colorazione legata alle variazioni granulometriche e in contenuto di materia organica che le caratterizzano.

Depositi quaternari

La classificazione dei depositi superficiali si basa sui moderni criteri di studio del Quaternario, i quali operano la suddivisione secondo unità allostratigrafiche, individuate prevalentemente in base alla localizzazione geografica e ai rapporti con la superficie topografica all'atto della loro deposizione.

- Unità Postglaciale - (119 a, b, c - Fig. 4): è costituita dai sedimenti deposti in equilibrio con il ciclo sedimentario attuale.

Questa unità racchiude al suo interno una discreta variabilità di facies; tuttavia le caratteristiche tessiturali e morfologiche che le contraddistinguono sono facilmente distinguibili per la relativa giovane età dei depositi che non ha ancora permesso la totale obliterazione delle forme.

La tessitura dei depositi è in prevalenza medio-grossa. Troviamo ghiaie, ciottoli e blocchi in matrice sabbiosa talvolta assente e locali lenti sabbiose inglobanti rari ciottoli. Le ghiaie sono prevalentemente a supporto clastico e a ciottoli ben arrotondati e rispecchiano le litologie marnoso-calcaree affioranti nel bacino a monte. Nel complesso il deposito si presenta ben selezionato passando da tessiture più grossolane a monte a tessiture sabbiose a valle.

I depositi sono organizzati in corpi lenticolari e stratoidi con strutture sedimentarie dovute alla corrente, quali ciottoli embricati, laminazioni oblique e strutture gradate.

A) Depositi di versante: costituiscono sia l'orizzonte di alterazione immediatamente soprastante il substrato roccioso, generatosi per disgregazione meccanica ed alterazione chimica della roccia ad opera degli agenti atmosferici e delle acque di ruscellamento (depositi eluviali), sia i materiali successivamente mobilitati dalla forza di gravità verso il piede del pendio (depositi colluviali e depositi di conoide).

I depositi eluviali mantellano i versanti acclivi con substrato roccioso subaffiorante, formando una coltre spessa al massimo un metro di ciottoli e blocchi spigolosi, talvolta appiattiti e in scaglie, in matrice limoso-sabbiosa, sia a supporto clastico che di matrice.

I depositi colluviali formano generalmente le superfici di raccordo tra i versanti ed il fondovalle. La tessitura è simile a quella dei depositi eluviali, dei quali costituiscono spesso la naturale evoluzione.

Non sempre la distinzione tra depositi eluviali e colluviali è di facile lettura così che spesso sono raggruppati in un'unica classe di terreni.

B) Depositi lacustri: lo sbarramento di corsi d'acqua o di valli da parte di depositi di origine glaciale ha generato le condizioni adeguate per la formazione bacini lacustri che sono stati colmati nel periodo postglaciale. A Bergamo sono stati individuati due bacini sedimentari di questo tipo: il Bacino di Petosino ed il Bacino di Longuelo.

Il Bacino di Petosino è situato a nord di Bergamo, al confine con l'omonimo comune. I sedimenti sono costituiti da alternanze di argille limose e ghiaie a clasti locali con spessori da decimetrici a metrici. Descrivono un processo sedimentario in cui si alternavano periodi con sedimentazione tipica delle acque correnti a periodi di decantazione in acque ferme. Il bacino raggiunge una profondità di quasi 22 metri. Vi sono stati rinvenuti resti di mammuth e manufatti dell'età del Bronzo.

Il Bacino di Longuelo è delimitato a monte e lateralmente da depositi colluviali dell'Unità di Palazzago e dal substrato, mentre a valle si raccorda con i depositi dell'Unità di Brembate. Litologicamente si rinengono argille, argille limose e subordinate sabbie che ricoprono ghiaie a petrografia brembana. A 2,5 metri di profondità è stato rinvenuto un orizzonte torboso, ricco di tronchi e resti vegetali ottimamente conservato.

- Complesso di Palazzago - (Pleistocene medio – superiore; U.C. 117): affiora nel territorio di Bergamo ai piedi dei rilievi rocciosi, dalla disgregazione dei quali si sono formati i sedimenti che lo costituiscono. Ampie falde si trovano sia a nord che a sud del colle di Città Alta nelle depressioni tra le creste con andamento circa nord-sud; un'ampia falda si trova ai piedi del monte Canto in prossimità della località Valtesse.

Il Complesso di Palazzago, come dice il nome, è formato da depositi di varia natura: di versante, di frana, alluvionali, lacustri, di conoidi e colluviali. Solitamente si presenta in falde di detrito che raccordano la pianura ai versanti in maniera blanda e a volte incise dai corsi d'acqua attuali.

I depositi di versante sono diamicton massivi e stratificati a ciottoli e blocchi da spigolosi a subspigolosi, matrice sabbiosa o limoso argillosa, a supporto di matrice o clastico localmente di tipo "open work", locale cementazione. I depositi di frana sono diamicton a blocchi fino a metrici. I depositi di conoide e colluviali sono diamicton a clasti da subarrotondati a subspigolosi con matrice sabbiosa o limoso argillosa; limi e argille con orizzonti a clasti residuali. I depositi alluvionali sono ghiaie a supporto clastico o di matrice, a ciottoli da spigolosi a subarrotondati, matrice argillosa limosa, sabbie, in corpi lenticolari. I depositi lacustri sono tipicamente delle argille limose, grigie e massive. I clasti delle varie facies sono carbonatici e terrigeni appartenenti alle

formazioni locali, la matrice deriva dal rimaneggiamento di suoli preesistenti. I clasti presentano alterazione estremamente variabile. La pedogenesi è variabile, il colore compreso tra 7.5YR e 2.5Y. Le morfologie sono in erosione. I depositi di frana sono poco evidenti se non si individuano le nicchie di distacco, generalmente di forma semicircolare, e le caratteristiche contropendenze degli accumuli. Le facies alluvionali formano piane di estensione molto limitata localizzate in vallecole secondarie e reincise da corsi d'acqua olocenici. Dal punto di vista stratigrafico il Complesso di Palazzago copre in discordanza tutte le unità più antiche del Pleistocene superiore.

- Complesso Alteritico - (Neogene? – Pleistocene inferiore; U.C. 116): nel territorio di Bergamo affiora solo nell'incisione valliva di Valmarina ed ai piedi della collina della Maresana nei pressi di Quintino basso e Stroppa.

Si tratta di depositi colluviali formati da argille limose con rari clasti residuali, in appoggio ai paleosuoli sul substrato. La pedogenesi è fortemente sviluppata ed i suoli hanno colori da 2.5YR a 7.5YR. Generalmente la morfologia di questi depositi è terrazzata.

Litologicamente sono formati prevalentemente da limi argillosi e argille-limose massive, con clasti residuali molto rari. Derivano soprattutto dalla movimentazione di paleosuoli sviluppati sul substrato roccioso terrigeno o carbonatico a seconda della composizione della roccia su cui poggiano.

- Unità di Comun Nuovo - (Pleistocene superiore?; U.C. 93): affiora lungo il confine sud-est del territorio comunale ed appartiene all'ambito deposizionale del Bacino del Serio.

Si tratta di depositi fluvioglaciali formati da ghiaie poligeniche a supporto clastico, da subarrotondate ad arrotondate e discoidali; matrice sabbiosa calcarea. La cementazione è scarsa e localizzata. Localmente sono presenti limi di esondazione.

I suoli sviluppati su questa unità rientrano genericamente nell'ordine degli Alfisuoli, con colori da 5YR4/4 a 4/6 e localmente 2.5YR4/6, al limite del grande gruppo dei Rhodici vista la rubefazione dell'orizzonte argillico.

Il limite superiore dell'unità è caratterizzato da morfologie terrazzate ben conservate nelle porzioni più settentrionali e morfologie terrazzate poco espresse o assenti a sud. Gli Alfisuoli sono mediamente evoluti con profondità massima osservata del fronte di decarbonatazione di circa 1 metro. Localmente (quartiere Bajo di Bergamo) si ha una copertura di limi argillosi che troncano la sequenza pedologica originaria. Il limite inferiore è con l'unità di Torre Boldone; il limite superiore è con l'Unità di Cologno.

- Unità di Torre Boldone - (Pleistocene medio; U.C. 92b): fa parte dei depositi fluvioglaciali del Complesso di Ponte della Selva ed è costituita da ghiaie poligeniche a supporto di matrice e localmente da limi argillosi di origine eolica. La superficie superiore è caratterizzata da Alfisuoli, orizzonti a fragipan presenti solo localmente. Lo spessore complessivo dei suoli è superiore ai 3 metri con colori che vanno da 7.5YR a 10YR. Affiora lungo una fascia che comprende la maggior parte dell'area urbanizzata di Bergamo con direzione NE-SO, parallela all'area di affioramento dell'Unità di Comun Nuovo.

I depositi fluvioglaciali sono ghiaie a supporto di matrice pedogenizzate; la matrice è limoso argillosa; le ghiaie sono da grossolane a molto grossolane, moderatamente selezionate e da arrotondate a discoidali. Non è definibile la stratificazione. I ciottoli sono per la maggior parte elementi siliceo-quarzosi terrigeni e non: metamorfiti in generale (prevalentemente alterate), Verrucano, Collio (parzialmente alterato), quarziti, selci. Mancano totalmente gli elementi calcarei: si rinvencono solamente masserelle inconsistenti di calcari e calcari marnosi argillificati e arenarie ormai totalmente decarbonatate.

I depositi eolici costituiscono una copertura argilloso-limosa pedogenizzata continua, avente spessore variabile da 1 a 2 m, posta al di sopra delle ghiaie descritte in precedenza. In aree a ridosso del substrato nella copertura eolica si rinvencono livelli clastici da medi a grossolani, di natura locale (alterati) e siliceo quarzosa, sia spigolosi che subarrotondati. L'unità è caratterizzata da morfologie poco conservate, orli di terrazzo discontinui e di lieve entità, ricoprimento spesso senza interruzioni morfologiche ad opera delle unità del Pleistocene superiore, dalle quali si distingue oltre che per la presenza di loess anche per una morfologia meno monotona. L'unità rappresenta probabilmente l'espressione fluvioglaciale di uno o più eventi glaciali. Il limite superiore delle varie unità è caratterizzato da morfologie terrazzate poco conservate e copertura loessica sempre presente. Il limite inferiore dell'unità non è noto. Copre l'Unità di Valtesse senza brusche variazioni morfologiche; localmente copre in discontinuità il substrato cretaceo pedogenizzato ed i Conglomerati di Seriate. E' coperto in continuità morfologica dall'Unità di Comun Nuovo e dall'Unità di Cologno.

- Unità di Valtesse - (Pleistocene inf.?; U.C. 85): affiora a Bergamo solo nell'area di Valtesse, ai piedi del Colle della Maresana e lungo l'alveo del Torrente Tremana. L'unità comprende una facies di depositi alluvionali ed una facies di depositi colluviali.

I depositi alluvionali sono formati da ghiaie a supporto di matrice argillosa, pedogenizzate. Le ghiaie sono moderatamente selezionate, da medio-grossolane a grossolane; da arrotondate a subarrotondate. La stratificazione non è definibile. I ciottoli sono per la maggior parte residuali e di natura sia terrigena che cristallina. Gli elementi carbonatici risultano pressoché assenti, si rinvencono piccole masse argillificate e rari ciottoli totalmente decarbonatati che tuttavia conservano una consistenza propria.

I depositi colluviali sono formati da limi argillosi massivi, pedogenizzati e colluviati; la matrice è ampiamente dominante sullo scheletro clastico che è raro e residuale. I ciottoli centimetrici, quarziti e selci in prevalenza, sono rarissimi. Si rinvencono clasti totalmente alterati derivanti dalle serie locali (Sass de la Luna ed Arenaria di Sarnico) e silicoclasti da spigolosi a subspigolosi. Subordinatamente si rinvencono diamicton massivi a supporto di matrice pedogenizzata, da limoso-argillosa ad argillosa, con scheletro residuale medio, arrotondato.

I profili pedologici sono fortemente sviluppati ed il livello di decarbonatazione osservato supera i 7 metri; orizzonti argillici con spessori metrici, forte rubefazione, abbondanti patine e noduli di Fe-Mn; presenza di orizzonti a fragipan e plintite. I colori variano da 2.5YR a 10YR per le coperture limoso-argillose.

Il suo limite inferiore non è noto. Nel territorio di Bergamo l'unità è ricoperta dalle sequenze locali di conoide/colluvio del Complesso di Palazzago e da alluvioni postglaciali.

- Unità di Brembate - (Pleistocene medio; U.C. 78): affiora nel settore nord-ovest di Bergamo, in prossimità del confine con Valbrembo. Si tratta di depositi fluvioglaciali ed alluvionali costituiti da ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice limoso-argillosa; i ciottoli, di dimensioni medie attorno a 10 cm, sono arrotondati e di forma discoidale ed ellissoidale. Si ha una stratificazione suborizzontale appena accennata. La superficie superiore delle ghiaie è erosionale e ricoperta da limi argillosi massivi di spessore compreso tra i 50 ed i 250 cm.

I caratteri pedologici delle ghiaie sono omogenei in tutte le sezioni osservate: argilla iuvale presente in quantità elevate fino ad almeno 5,5 metri, con matrice limoso-argillosa, moderatamente rubefatta (colore 7.5YR, sino a 5YR); l'alterazione è generalmente molto debole o assente.

I limi sommitali hanno una maggiore differenziazione pedologica e mostrano la presenza di orizzonti sia cambrici che argillici, raramente con caratteri di fragipan.

Sulla riva sinistra del Fiume Brembo l'Unità di Brembate è delimitata, nella sua parte occidentale, da un orlo di terrazzo che si annulla gradualmente all'altezza di Treviolo mentre i depositi si spingono per molti chilometri più a sud senza alcuna evidenza morfologica. Nella parte settentrionale sono distinguibili dei lievi terrazzamenti ai più elevati dei quali corrispondono orizzonti pedologici più evoluti.

Quest'unità rappresenta una fase di aggradazione della pianura dovuta alla formazione di una piana fluvioglaciale legata ad un'espansione glaciale plurifasica.

Allo sbocco della Valle Brembana l'Unità di Brembate incide parte del Complesso di Almenno e ricopre in discordanza il Conglomerato di Madonna del Castello ed il Ceppo del Brembo. A sua volta viene incisa dall'Unità di Treviglio e in sponda destra del Brembo dall'Unità di Carvico. Verso est passa eteropicamente all'Unità di Torre Boldone e più a sud è coperta dall'Unità di comun Nuovo e dall'Unità Postglaciale.

3.2 Evoluzione geomorfologica del territorio padano

3.2.1 Evoluzione morfodinamica della Pianura Padana

L'ampio bacino della Pianura Padana, intendendo con questo termine il territorio delimitato dall'affiorare del substrato prequaternario delle Alpi, delle Prealpi e degli Appennini, presenta caratteristiche climatiche, geologiche, paesaggistiche e antropiche assai peculiari e varie, nonostante la sua apparente omogeneità. Questa variabilità testimonia la complessità degli eventi naturali che si sono succeduti nel tempo, in particolare durante le ultime fasi della storia geologica della Terra, che va sotto il nome di Quaternario e delle complesse interrelazioni con il fattore antropico.

La Pianura Padana è un ampio bacino sedimentario colmato da ingenti spessori di sedimenti sciolti di età quaternaria ed origine prevalentemente alluvionale.

L'approfondimento del bacino avvenne in epoca pre-quaternaria, già dal Miocene medio, ed il sollevamento della catena appenninica portò alla formazione di un vasto golfo marino che iniziò a colmarsi di sedimenti.

L'evoluzione plio-quaternaria della pianura si può dividere in tre fasi:

1. sedimentazione di depositi continentali, deltizi e di piana costiera (Pliocene sup. - Pleistocene inf.; prima di 700.000 anni fa);
2. sedimentazione di depositi governati dall'alternarsi delle fasi glaciali ed interglaciali pleistocenici (da circa 700.000 a 10.000 anni fa);

3. cicli di sedimentazione ed erosione di età olocenica (post-glaciale), cui si accompagna l'impatto antropico (da circa 10.000 anni fa ad oggi).

Dal punto di vista morfologico e morfo-stratigrafico si possono distinguere alcuni grandi sistemi fisiografici principali.

Procedendo da nord si incontra, presso il margine alpino ed allo sbocco delle principali vallate prealpine, il sistema di depositi glaciali che costituiscono gli apparati morenici del limite alpino (es. lago di Como e Lecco, Iseo, Garda, ...). Questo sistema è composto da una grande varietà di sedimenti di origine glaciale, proglaciale (fluvioglaciale, glaciolacustre, ...) ed eolica, depositi durante le fasi di maggiore recrudescenza climatica del Pleistocene, quando i ghiacciai alpini si spingevano sino al margine della pianura trasportando e depositando materiali erosi nelle Alpi. Vi si trovano morfologie relitte e inattive, che testimoniano condizioni morfodinamiche, climatiche ed ambientali non in equilibrio con il sistema attuale. Depositi e forme sono databili al Pleistocene; le morfologie meglio conservate sono quelle relative all'ultima espansione glaciale – comunemente definito in letteratura come Würm – che raggiunse il suo massimo all'incirca 18.000 anni fa.

Su questi depositi si sono sviluppati, dal momento del ritiro dei ghiacciai fino ad oggi, suoli derivanti dall'azione dei processi di alterazione pedogenetica; si tratta nella maggior parte dei casi di suoli profondi e discretamente alterati dall'evoluzione continuativa almeno degli ultimi 15.000 anni circa.

La porzione centrale della Pianura Padana è occupata dal sistema dei depositi alluvionali, che costituisce la pianura alluvionale vera e propria.

Nel settore di pianura a nord del Po si riconosce, a fronte della eterogeneità di cui sopra, una certa omogeneità nella sequenza evolutiva. In corrispondenza del margine prealpino si individua un sistema di conoidi che va a raccordarsi con i complessi morenici delle glaciazioni più recenti, e che, procedendo verso l'area centro-padana, forma un ampio terrazzo rilevato rispetto agli alvei dei principali corsi d'acqua di provenienza alpina, sebbene con alcune significative eccezioni (il fiume Serio).

Questo terrazzo è tradizionalmente indicato dalla letteratura scientifica quale "*Livello Fondamentale della Pianura*", la cui superficie, lievemente ondulata da una serie di dossi, è interrotta dalle incisioni dei principali tributari sinistri del Po che vanno a costituire un sistema di valli, il cui limite è sottolineato da scarpate erosive. In queste stesse valli è sovente possibile distinguere più terrazzi morfologici; vi affiorano depositi fluviali olocenici del cosiddetto "*Alluvium attuale*" ed "*Alluvium medio*": si tratta di sedimenti sciolti, con tessitura da ghiaiosa a limosa, al cui tetto si trovano suoli poco evoluti.

Nell'area di questo studio, il livello fondamentale si compone di depositi ghiaiosi e sabbiosi appartenenti al "*Fluvioglaciale e fluviale würmiano*" al cui tetto si rilevano suoli profondi e ben evoluti. La posizione morfologica e le caratteristiche dei sedimenti consentono di datare questa unità al Pleistocene superiore.

Procedendo verso sud, si giunge al limite meridionale dei terrazzi pleistocenici, e si entra nel tratto attivo della pianura (es. lungo il corso del Po o nelle Valli Grandi Veronesi), in aree ad elevata subsidenza e con continuo apporto di sedimenti.

L'assetto fisiografico e stratigrafico della pianura alluvionale riflette i caratteri dell'evoluzione morfologica durante il Quaternario. Il modello evolutivo più recente ritiene, in linea generale, che il livello fondamentale – così come la conoide dell'Adige in cui si manifesta una situazione analoga – rappresenti l'ultima grande fase di riempimento del bacino padano, i cui più recenti episodi di accrescimento si sarebbero attuati alla fine del Tardiglaciale. Successivamente, nell'Olocene iniziale un'intensa fase erosiva portò i corsi d'acqua di provenienza alpina ad incidere linearmente i depositi del livello fondamentale, approfondendosi rispetto ad esso e dando origine alle valli. In tal modo la superficie del livello fondamentale, isolata dai fenomeni fluviali che avevano luogo nelle valli, è venuta a trovarsi in una situazione di sostanziale stabilità geomorfologica, soggetta ai soli processi pedogenetici e, a meno di alcune eccezioni, senza significativi fenomeni di sedimentazione. Relativamente alle valli alluvionali uno studio effettuato sull'area dell'Adda, ha evidenziato come quest'unità fosse già stabile, cioè non interessata da intensi fenomeni di erosione o aggradazione, a partire dal medio Olocene. La letteratura recente sta comunque rivedendo il vecchio stereotipo dell'Olocene quale periodo di stabilità ambientale e geomorfologica, evidenziando come pure nelle sue fasi più recenti, si siano verificati vari eventi deposizionali ed erosionali anche di portata notevole.

Un particolare sub-sistema della pianura alluvionale è dato dall'insieme dei rilievi isolati rilevabili in alcuni settori, ad esempio nelle vicinanze di Romanengo, in provincia di Cremona.

Nota sui criteri di rilevamento

Negli ultimi anni i criteri di rilevamento dei depositi quaternari sono stati completamente revisionati sia dal punto di vista metodologico che teorico. Ciò ha reso obsoleti i concetti e le terminologie precedentemente utilizzati, portando alla completa ridefinizione delle unità geologiche quaternarie. I corpi sedimentari sono suddivisi in Unità Allostratigrafiche così

come definite nel 1983 dalla *North American Commission on Stratigraphic Nomenclature* e successivamente modificate nel 1990 dal *Gruppo di Lavoro per il Quaternario della Commissione Italiana di Stratigrafia* (Bini et alii).

Le Unità Allostratigrafiche descrivono un corpo di rocce sedimentarie identificandolo in base alle discontinuità, compresa la superficie topografica, che lo delimitano e che devono essere “tracciabili”. Alla suddivisione delle unità Allostratigrafiche contribuiscono, oltre che la definizione delle discontinuità, vari aspetti quali l'interpretazione genetica, la ricostruzione della storia geologica, la morfologia ed i caratteri dei suoli. Le unità allostratigrafiche non potendo essere estese al di fuori del bacino idrografico di appartenenza, hanno contribuito ad una maggiore articolazione dei sedimenti.

In questa nuova ottica, termini come “*Würmiano*”, “*Alluvium*”, “*Diluvium*” hanno perso di significato.

Tuttavia, ad esclusione della Carta Geologica della Provincia di Bergamo, sono ancora scarsi i documenti cartografici basati sui nuovi concetti e criteri menzionati.

Al fine di fornire un inquadramento generale del bacino Padano si è scelto di basarsi sui tradizionali criteri delle unità geoclimatiche e morfostratigrafiche.

3.3 Carta litologica e della dinamica geomorfologica

Criteri adottati per la stesura della carta geomorfologica

Lo studio della geomorfologia del Comune di Bergamo è stato articolato nelle seguenti fasi:

- ricerca bibliografica e consultazione della cartografia esistente;
- analisi delle ortofotografie;
- rilevamento sul terreno delle emergenze morfologiche.

La legenda della carta è il risultato di integrazioni fra le differenti proposte della recente bibliografia tecnico-scientifica.

Substrato roccioso

Nelle tavole di inquadramento geomorfologico la zona collinare sono state distinte le aree con substrato roccioso affiorante o subaffiorante dalle aree con presenza di una copertura alteritico-colluviale.

Forme e processi legati alla gravità

Si tratta di fenomeni la cui pericolosità è legata all'azione della gravità. Sono state cartografate le aree franose, le aree caratterizzate da soliflusso diffuso e quelle interessate dalla possibilità di distacco e rotolamento di blocchi rocciosi.

Queste tipologie di processi sono localizzate nella parte collinare del territorio bergamasco e sono state cartografate con maggiore dettaglio nella tavola della dinamica geomorfologica (tavola 3).

Forme e processi legati alle acque correnti superficiali

Lo scorrimento delle acque superficiali è un elemento che ha forte influenza sulla morfologia del territorio.

Laddove il deflusso è concentrato e le acque hanno energia, la superficie topografica viene incisa e il materiale eroso, deposto a valle dove l'energia di trasporto diminuisce.

Nelle carte geomorfologiche sono cartografati i solchi di ruscellamento concentrato ed i terrazzi morfologici.

Ad eccezione dei torrenti Morla e Quisa, i corsi d'acqua superficiali hanno dimensioni modeste e regime torrentizio.

In vicinanza delle aree urbanizzate questi torrenti sono spesso regimati e le aree morfologicamente di loro pertinenza, utilizzate dall'agricoltura o dall'industria artigianale.

Lungo gli alvei del torrente Morla e del torrente Quisa sono state individuate alcune aree potenzialmente allagabili in caso di eventi meteorologici di particolare intensità. Tali aree sono state individuate con criteri morfologici, sulla base del rilievo e delle quote delle forme della superficie topografica.

Localmente sono state individuate aree dove è frequente l'accumulo di acque stagnanti a causa della scarsa capacità di drenaggio del primo sottosuolo. Tra di queste troviamo il bacino di Petosino, nei pressi del Torrente Quisa.

Nel settore della pianura sud-occidentale di Bergamo sono stati cartografati i terrazzi morfologici ed i paleoalvei formati nel periodo postglaciale a causa della divagazione dei corsi d'acqua superficiali. Tali forme sono state riconosciute, oltre che dai rilievi sul terreno, anche grazie all'analisi delle fotografie aeree ed al modello digitale del terreno (*Digital Terrain Model* – figura 8).

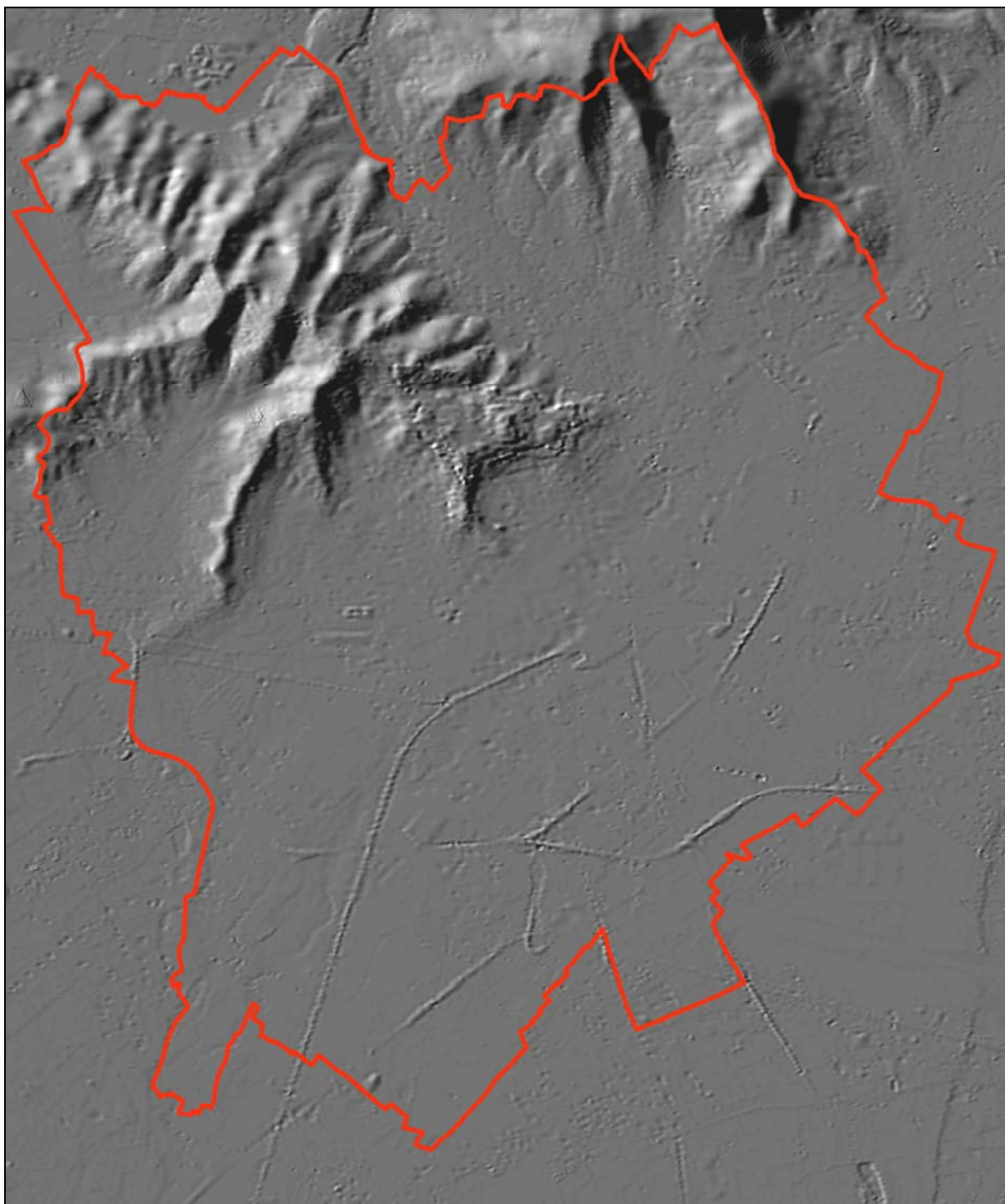


Figura 8 – Shaded map del territorio di Bergamo, ricavata dal Modello digitale del terreno.

Conoidi alluvionali

In corrispondenza dello sbocco in pianura dei torrenti la brusca perdita di energia dell'acqua determina sovente la formazione di consistenti accumuli di depositi alluvionali con una forma tipica a ventaglio.

Le dimensioni e le forme delle conoidi alluvionali dipendono dall'estensione del bacino imbrifero, dal regime idrologico del corso d'acqua, dalla litologia dei materiali affioranti, nonché dalle pendenze del solco vallivo e della topografia allo sbocco dell'incisione valliva.

Nel territorio di Bergamo sono state rilevate alcune conoidi di modeste dimensioni allo sbocco di bacini imbriferi anch'essi modesti.

Le conoidi del bacino di Petosino sono costituite da materiali fini (argille e limi con clasti millimetrici residuali) con un basso angolo di attrito interno che ne determina una morfologia a basso rilievo e piuttosto irregolare. Sono attraversate dal torrente in posizione decentrata rispetto all'asse della conoide e la parte distale è a volte troncata dal torrente Quisa.

Si tratta di conoidi attive solo nella fascia immediatamente circostante il torrente.

Le conoidi in località Madonna della Castagna hanno forme più articolate.

La conoide situata al confine con Valbrembo e Paladina è formata da una parte centrale in erosione coincidente con l'asta del torrente, da una parte quiescente e da una stabilizzata e parzialmente antropizzata.

La conoide meridionale è meno evidente nella sua parte distale; è riconoscibile un canale centrale attivo, ma regimato, ed un'ampia superficie stabilizzata ampiamente rimaneggiata, in parte coltivata ed in parte antropizzata.

Nelle conoidi situate nell'area di Valtesse è quasi sempre riconoscibile una parte centrale in erosione che coincide grossomodo con l'alveo attuale dei torrenti, una parte quiescente ed una stabilizzata.

Attualmente molti di questi corsi d'acqua sono regimati e tominati e le parti distali delle loro conoidi sono spesso antropizzate e quindi poco riconoscibili.

Sono state considerate "presunte" le conoidi la cui evidenza morfologica non è certa.

Evidenze di origine antropica

Le forme attribuibili all'intervento antropico sul territorio sono quelle dovute alle numerose e diversificate attività umane.

Buona parte del territorio di Bergamo (circa 25 km²) è occupato dagli insediamenti urbani e dal relativo intreccio di infrastrutture viarie. Il reticolo idrografico è stato quello che ha subito il maggior impatto dovuto allo sviluppo urbano, perdendo per buona parte del suo sviluppo il carattere di naturalità.

Nella zona collinare le forme più evidenti dovute all'attività antropica sono i terrazzamenti. Alcuni di essi si trovano in buono stato manutentivo e altri in condizioni di abbandono e degrado.

3.4 Carta del dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I. (Tav. 15)

È stata redatta la carta del dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I. quale proposta di aggiornamento all'Elaborato 2 del P.A.I..

Sono perimetrate le aree di conoide non recentemente attivate o completamente protette (Cn), le aree con pericolosità media o moderata di esondazione e possibilità di dissesto idrogeologico (Em).

A ciascun ambito si applicano le relative prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I., art. 9 e in particolare i comma 6bis e 9:

- **Comma 9:** Nelle aree Cn compete alle Regioni e agli Enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225. Gli interventi ammissibili devono in ogni caso essere soggetti ad uno studio di compatibilità con le condizioni del dissesto validato dall'Autorità competente.
- **Comma 6bis.** Nelle aree Em compete alle Regioni e agli Enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225. Gli interventi ammissibili devono in ogni caso essere soggetti ad uno studio di compatibilità con le condizioni del dissesto validato dall'Autorità competente.

3.5 Caratterizzazione pedologica del territorio

I dati relativi alle caratteristiche pedologiche del territorio di Bergamo sono stati dedotti dalla pubblicazione “I suoli dell’hinterland bergamasco”, edita dall’ERSAL sulla base del rilevamento di semi-dettaglio (scala 1:50.000) eseguito nell’ambito del “Progetto Carta Pedologica della Lombardia”.

3.5.1 Descrizione delle unità pedologiche

Nelle figure 9 e 10 è riportato un estratto della Carta Pedologica redatta dall’ERSAL in scala 1:50.000. In questo elaborato le diverse tipologie di suolo sono suddivise in unità cartografiche (contraddistinte da un numero arabo) che rappresentano aree caratterizzate da suoli simili dal punto di visto tassonomico e gestionale.

La classificazione tassonomica utilizzata ricalca il sistema della Soil Taxonomy Classification dell’U.S.D.A. del 1990 (United States Department of Agriculture).

Nella città di Bergamo sono state riconosciute e cartografate le seguenti unità pedologiche:

- **U.C. 7, SGV1:** consociazione di suoli moderatamente profondi, con scheletro assente o scarso, tessitura media in superficie e fine in profondità, reazione subacida in superficie e neutra in profondità, saturazione alta, talora moderatamente calcarei in profondità, drenaggio buono.
- **U.C. 8:** complesso delle sottounità *MG11* e *CNE1*. *MG11*: suoli moderatamente profondi, con scheletro assente o scarso, tessitura moderatamente fine, reazione acida, saturazione molto bassa, drenaggio buono. *CNE1*: suoli molto sottili, con scheletro comune o frequente, tessitura media, reazione subalcalina, saturazione alta, calcarei, drenaggio rapido.
- **U.C. 11, RCH1:** consociazione di suoli moderatamente profondi, con scheletro comune, tessitura media, reazione da subacida a neutra, saturazione alta, non calcarei, drenaggio buono.
- **U.C. 12, GVN1:** consociazione di suoli moderatamente profondi, con scheletro comune, tessitura media, reazione acida, saturazione molto bassa, non calcarei, drenaggio buono.
- **U.C. 13, GVN2:** fase di minore pendenza dei suoli *GVN1* (U.C. 12); blandi rilievi con pendenze inferiori al 35%.
- **U.C. 14, FNT1:** consociazione di suoli profondi, privi di scheletro, tessitura media, reazione subacida in superficie e da subacida a subalcalina in profondità.

- **U.C. 17, PET1:** consociazione di suoli moderatamente profondi, con scheletro variabile, tessitura moderatamente fine, reazione subacida, saturazione media, non calcarei, drenaggio lento o molto lento.
- **U.C. 18,** complesso delle sottounità *SRI1* e *RIN1*. *SRI1*: suoli molto profondi, privi di scheletro, tessitura moderatamente fine in superficie e fine in profondità, reazione subacida, saturazione bassa, non calcarei, drenaggio da buono a mediocre. *RIN1*: suoli da moderatamente profondi a profondi, privi di scheletro, tessitura media, in superficie e moderatamente fine in profondità, reazione subacida, saturazione bassa in superficie e media in profondità, non calcarei, drenaggio mediocre.
- **U.C. 20, SOR1:** consociazione di suoli profondi (talora moderatamente profondi), privi di scheletro, tessitura media, reazione subacida in superficie e neutra in profondità, saturazione alta, non calcarei, drenaggio mediocre.
- **U.C. 25, STZ1:** consociazione di suoli moderatamente profondi, con scheletro da comune a frequente in superficie ed abbondante in profondità, tessitura media, reazione da subacida a neutra, saturazione alta, non calcarei, drenaggio buono.
- **U.C. 26, MNS1:** suoli moderatamente profondi, con scheletro da comune a frequente in superficie ed abbondante in profondità, tessitura media in superficie e da media a moderatamente fine in profondità, reazione neutra, saturazione alta, non calcarei, drenaggio buono.
- **U.C. 27:** complesso delle sottounità *MNS1* e *TAG1*. *MNS1*: suoli moderatamente profondi, con scheletro da comune a frequente in superficie ed abbondante in profondità, tessitura media in superficie e da media a moderatamente fine in profondità, reazione neutra, saturazione alta, non calcarei, drenaggio buono. *TAG1*: suoli da moderatamente profondi a sottili, con scheletro da frequente ad abbondante, tessitura media, reazione neutra, saturazione alta, moderatamente calcarei, drenaggio da buono a rapido.
- **U.C. 29, LAL1:** consociazione di suoli da profondi a molto profondi, generalmente privi di scheletro, tessitura media in superficie e moderatamente fine in profondità, reazione subacida in superficie e da subacida a neutra in profondità, saturazione media, non calcarei, drenaggio da buono a mediocre.
- **U.C. 30, MAS2:** consociazione di suoli moderatamente profondi, privi di scheletro, reazione subacida in superficie e neutra in profondità, saturazione da media ad alta,

non calcarei, drenaggio da buono a mediocre. Si tratta di una fase di minore profondità dei suoli *MAS1*.

- **U.C. 31, SBR1:** consociazione di suoli profondi, privi di scheletro, tessitura media in superficie e moderatamente fine in profondità, reazione subacida, saturazione media, non calcarei, drenaggio da mediocre a lento.
- **U.C. 33, FNT2:** fase a giacitura piana dei suoli *FNT1* (14), suoli moderatamente calcarei.
- **U.C. 38:** complesso delle sottounità *ROD2* e *DOR2*. *ROD2*: suoli da moderatamente a molto profondi, scheletro scarso (anche abbondante in profondità), tessitura media, reazione subacida saturazione alta, non calcarei, drenaggio mediocre. *DOR2*: suoli da moderatamente a molto profondi, scheletro assente (anche abbondante in profondità), tessitura media, reazione acida in superficie e neutra in profondità, saturazione media, non calcarei, drenaggio mediocre
- **U.C. 54, V:** aree urbane ed industriali.

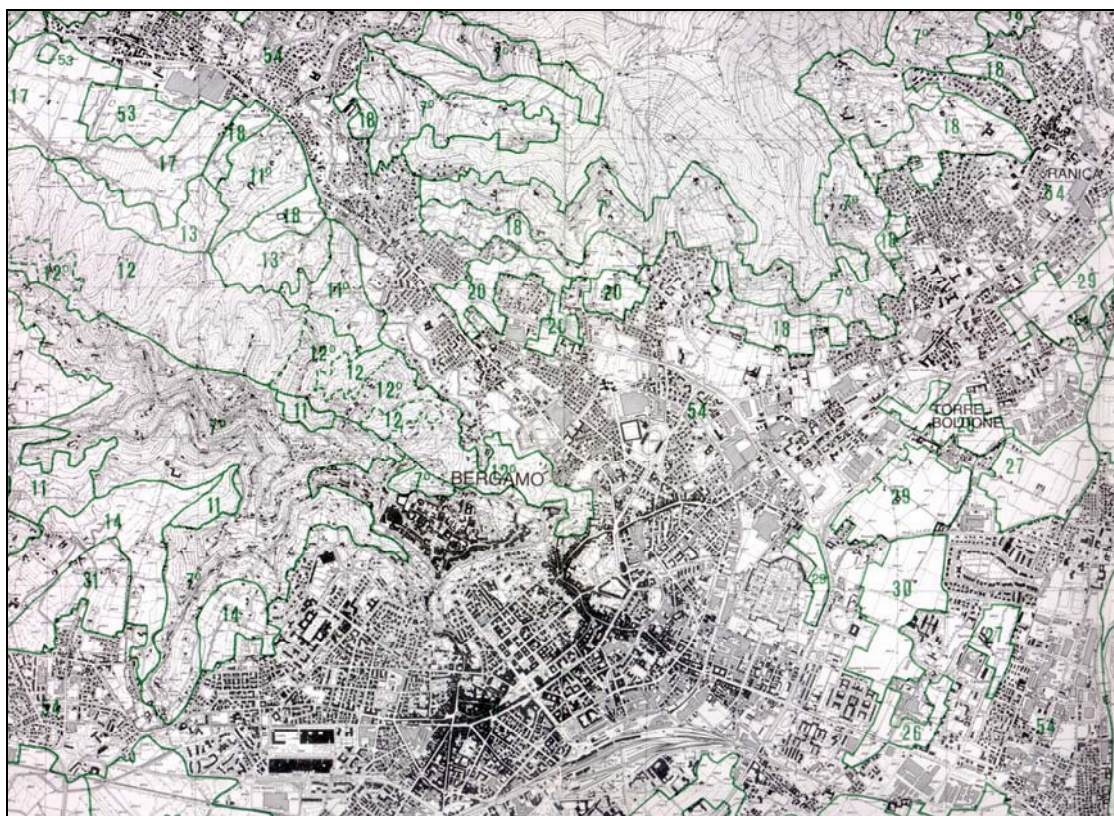


Figura 9 – Stralcio della Carta Pedologica dell'ERSAL (Scala 1:50.000); della città di Bergamo.

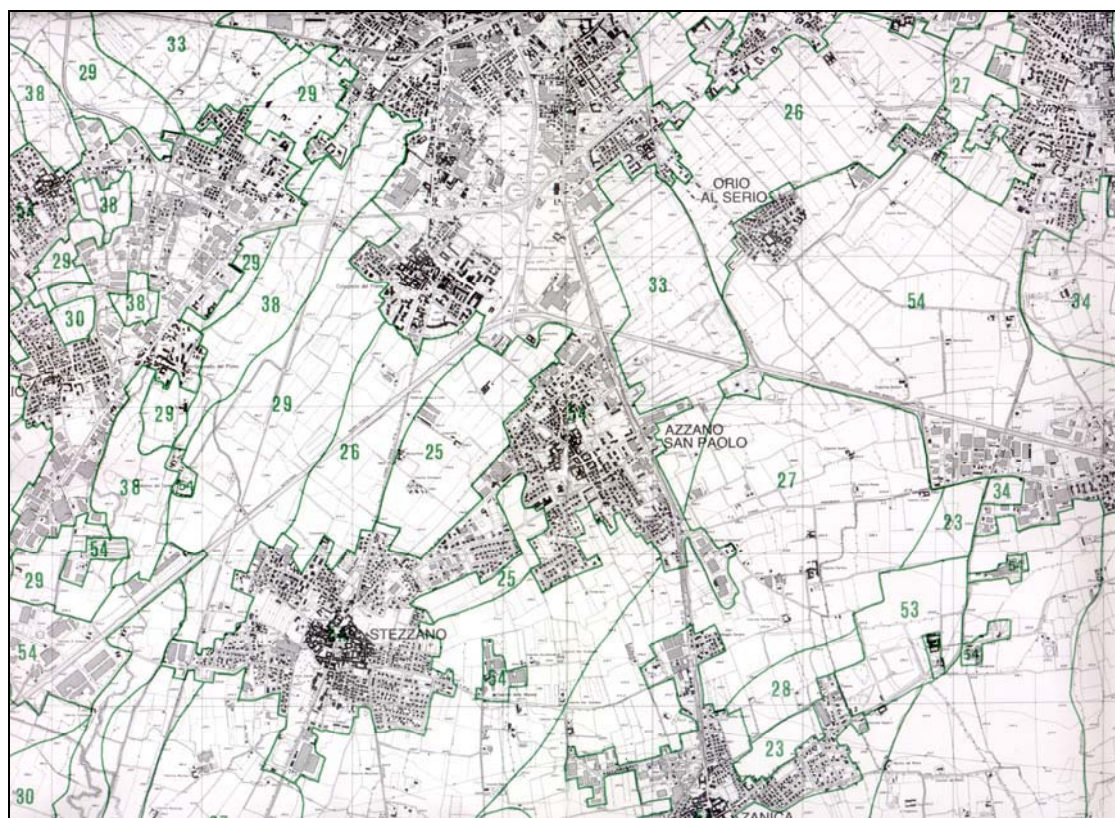


Figura 10 – Stralcio della Carta Pedologica dell'ERSAL (Scala 1:50.000); della città di Bergamo.

3.5.2 La capacità d'uso dei suoli

Dalla rielaborazione dei dati pedologici è possibile individuare le potenzialità agro-silvo-pastorali del territorio attraverso la suddivisione in aree che presentano limitazioni più o meno consistenti agli usi suddetti, in modo da ridurre il rischio di degradazione dei suoli.

Uno dei più importanti metodi di classificazione del territorio in aree a diverso grado di capacità d'uso dei suoli è stato elaborato dal "Soil Conservation Service" del Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti (USDA) e denominato "Land Capability Classification".

Tale sistema, appositamente adattato alla realtà della Regione Lombardia, è stato adottato dall'ERSAL nell'ambito del "Progetto Carta Pedologica". È organizzato gerarchicamente in tre livelli: classe, sottoclasse, ed unità. Le classi previste sono otto, designate ciascuna con un numero romano che indica il grado di capacità d'uso, ovvero l'entità delle limitazioni all'utilizzo agro-silvo-pastorale dei suoli. Le sottoclassi, indicate con una lettera minuscola che segue il numero romano, individuano il tipo di limitazione prevalente. I parametri di ingresso della classificazione sono elencati nella tabella 1. Non sono stati oggetto di classificazione i suoli in fase di trasformazione e le aree prive di suolo.

Tabella 1 – Classificazione utilizzata per la valutazione della capacità d'uso dei suoli.

Clas LCC	Profondità (cm)	Scheletro (%)	Tess. superfic.	Roccosità pietrosità	Fertilità	Salinità ECex100	Drenaggio interno	Rischio di inond.	limitazioni climatiche	Acclività (%)	Erosione (unità sup.)
I	profondi > 100 cm	< 15%		nessuna		nessuna	buono	assente	assenti	pianegg. < 2%	nessuna
II	suff. profondi - 80-100 cm	superf. 15-35% profondo 35-70%	A> 35% - L+A >65-70%	nessuna	4,5<Ph<5,5 5<CSC<10me 35<TSB<50% CaCO ₃ >40%	nessuna	mediocre - moder. rapido	lieve - 1 v./10 a < 2 gg	lievi	poco pendente - 2-10%	superf. localizzata
III	moderatam. profondi - 50-80 cm	35-70%	A> 50/60% L> 60/75% S> 85%	nessuna	molto scarsa pH < 4,5 CSC < 5 me TSB < 35%	2 - 4	lento	moderato - 1 v./5-10 a > 2, < 7 gg	moderate	pendente - 10-20%	sup. moder. (<20%) profonda localizzata
IV	sottili - 25-50 cm	superf. 35-70% profondo > 70%	"	pietrosità moderata 3-15%	"	4 - 8	molto lento - rapido	alto - > 1v./5 a > 7 gg	"	moderatam. scosceso - 20 - 35%	sup. media (20-50%) profonda moderata
V	"	> 70%	"	p. comune 3-15% poco rocc. 2-10%	"	> 8	molto lento - impedito	molto alto: golene aperte	"	pianegg. - < 2%	nessuna
VI	"	"	"	p. comune 3-15% roccioso 10-25%	"	"	molto lento - impedito	molto alto: golene aperte	forti	scosceso - 35 - 70%	sup. diffusa (50-80%) profonda media
VII	molto sottili - < 25 cm	"	"	p. elevata 15-50% molto rocc. 25-50%	"	"	molto lento - impedito	molto alto: golene aperte	molto forti	molto scosceso > 70%	sup. molto diffusa (>80%) profonda forte
VIII	"	"	"	p. eccessiva estr. rocc. > 50%	"	"	molto lento - impedito	molto alto: golene aperte	"	"	profonda molto forte (> 80%)

Nella figura 11 è riportato un estratto in scala 1:50.000 della Carta della Capacità d'uso dei Suoli redatta dall'ERSAL.

Le sottoclassi sono caratterizzate da un suffisso posto a seguito del numero di classe, permette l'identificazione del tipo di limitazione. I simboli delle sottoclassi sono quattro:

- **-s**, limitazioni pedologiche;
- **-w**, eccesso idrico;
- **-e**, rischio di erosione;
- **-c**, limitazioni climatiche.

Sono di seguito descritte le unità cartografiche e le caratteristiche che ne hanno determinato la classe di capacità d'uso del suolo:

- **U.C. 1**, classe //ws: suoli con spessore non ottimale (80-100 cm).
- **U.C. 3**, classe //ws: suoli con spessore non ottimale, elevata frazione limoso-argillosa nell'orizzonte arato e scheletro abbondante in profondità (35 - 70%).
- **U.C. 4**, classe //ws: suoli con drenaggio mediocre ed elevata frazione limoso-argillosa nell'orizzonte arato.

- **U.C. 8:** classe *IIws*: suoli con falda temporanea sopra un orizzonte poco permeabile (“fragipan”), spessore non ottimale ed elevata frazione limoso-argillosa nell’orizzonte arato.
- **U.C. 9,** classe *III_s*: suoli con spessore moderato, con scheletro abbondante sotto l’orizzonte arato.
- **U.C. 12,** classe *III_w*: suoli con drenaggio lento.
- **U.C. 15,** classe *III_we*: suoli pendenti (10 – 20%), con drenaggio lento.
- **U.C. 18,** classe *IV_w*: suoli con drenaggio lento o molto lento.
- **U.C. 21,** classe *VI_e*: suoli scoscesi (35 – 70%).
- **U.C. 22,** classe *VI_e*: suoli scoscesi, soggetti a moderato rischio erosivo.
- **U.C. 23,** classe *VII_e*: suoli molto scoscesi (> 70%), soggetti a forte rischio erosivo.
- **U.C. 24,** classe *II-III_s*: suoli con spessore non ottimale o moderato.
- **U.C. 25,** classe *II-III_{ws}*: suoli con spessore non ottimale o moderato, lieve rischio di inondazione e presenza di falda in profondità.
- **U.C. 26,** classe *II-III_{es}*: suoli pendenti, con scarsa fertilità chimico fisica, elevata frazione limoso-argillosa nell’orizzonte arato, localmente a drenaggio lento.
- **U.C. 28,** classe *VI-VII_e*: suoli scoscesi o molto scoscesi, soggetti a forte rischio erosivo.

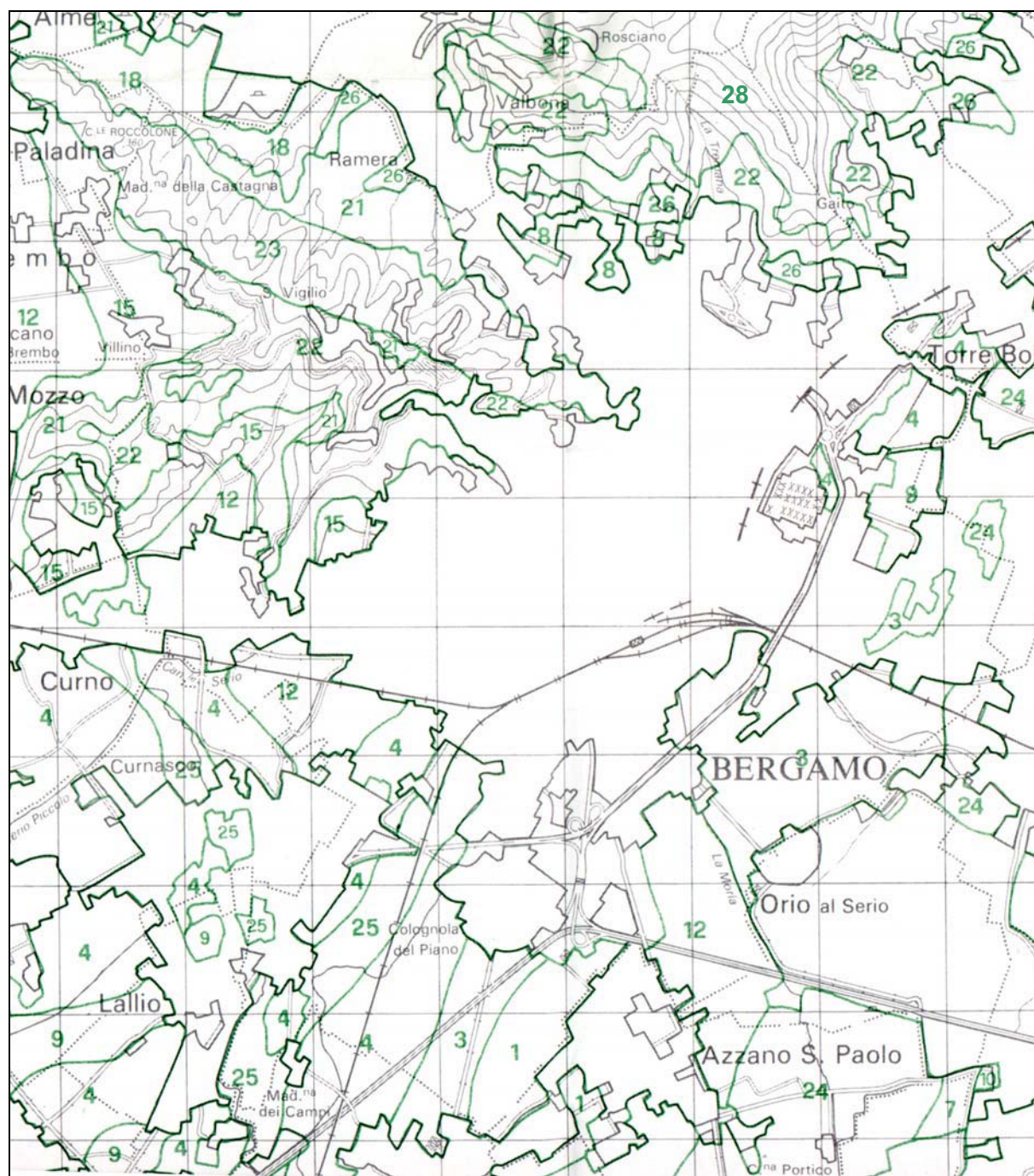


Figura 11 – Stralcio della Carta della Capacità d'uso dei Suoli redatta dall'ERSAL (Scala 1:50.000); porzione meridionale della città di Bergamo.

Capitolo 4**Carta idrogeologica e del sistema idrografico (Tav. 5)****4.1 Idrografia superficiale**

Il reticolo idrico ha subito il forte impatto antropico e così l'insieme di torrenti, rogge e canali ai quali spetta la funzione di smaltire le acque che defluiscono dalla zona collinare e le acque bianche urbane.

In questo contesto le norme di polizia idraulica assumono un'importante funzione di prevenzione del rischio idrogeologico, senza dimenticare il valore ambientale del reticolo idrico, laddove esista la possibilità di realizzare interventi di riqualificazione urbanistica mediante il recupero e la riattivazione di percorsi relitti modificati dallo sviluppo urbanistico.

4.1.1 Reticolo idrografico naturale

Il reticolo idrografico naturale è formato dai numerosi torrenti, a volte poco più di ruscelli, che scendono dai rilievi collinari, dal torrente Quisa e, per un breve tratto, dal Torrente Morla.

Il torrente Morla

Il corso d'acqua di maggiore estensione è il torrente Morla che attraversa da nord a sud l'intero territorio comunale.



Foto 10: tratto del torrente Morla poco a valle dell'ingresso nell'area urbanizzata.



Foto 11: tratto del torrente Morla in corrispondenza dell'attraversamento della stazione ferroviaria.

Il Morla nasce sulle pendici del Monte Solino, nel comune di Ponteranica, ed il suo bacino imbrifero, di circa 22 km², comprende i territori di Ponteranica, Sorisole, Bergamo ed Orio al Serio. Lungo il suo corso riceve il contributo del torrente Tremana, in prossimità di Viale Giulio Cesare a Bergamo, e del torrente Gardellone che drena un piccolo bacino a monte dell'abitato di Torre Boldone.

Nel tratto iniziale il torrente ha un andamento prevalentemente meandriforme e un buon grado di naturalità, che perde entrando nell'abitato dove assume il carattere di un canale scolmatore.

Il torrente Quisa

Il torrente Quisa individua grossomodo il confine di Bergamo con il comune di Sorisole, dove nasce, dai rilievi montuosi del Monte Canto Alto. Raccoglie le acque di numerosi sottobacini dell'area pedecollinare e allo sbocco nell'alta pianura assume un andamento irregolare, alternando tratti meandriformi a tratti più regolari, rettilinei. A valle del Colle di Sombreno il Quisa si dispone parallelamente al Fiume Brembo nel quale confluisce a sud di Ponte San Pietro.

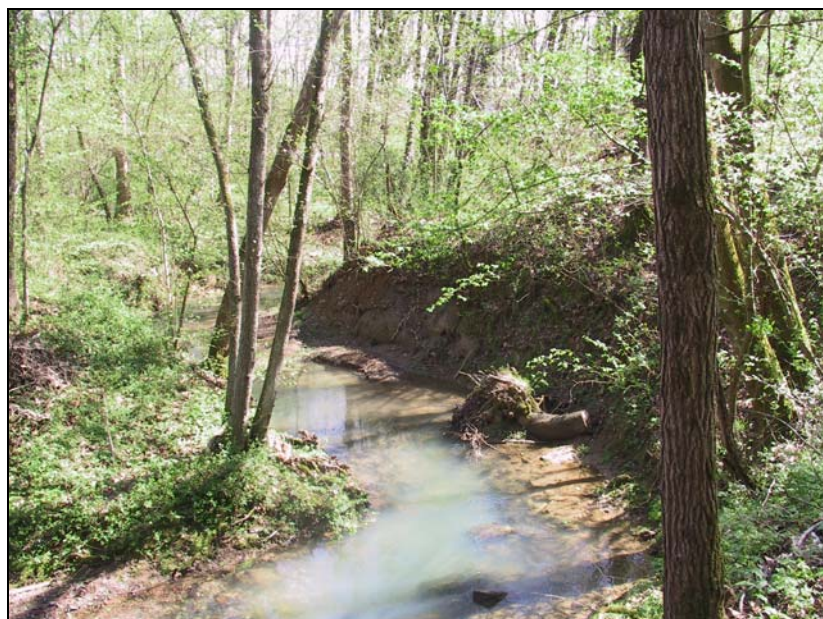


Foto 12: il torrente Quisa in prossimità del Bacino di Petosino, sul confine settentrionale del Comune di Bergamo

4.1.2 Reticolo idrografico artificiale

Il reticolo idrografico artificiale è gestito dal Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca.

Le rogge principali derivate dal Fiume Serio sono la roggia *Morlana*, la *Roggia Serio*, la *Roggia Guidana* e la *Roggia Ponte Perduto*.

Sono rogge antiche che hanno visto lo sviluppo della città; sviluppo che a volte ha ricalcato il percorso dei canali, mantenendone l'originalità o valorizzandola, ma che il più delle volte le ha nascoste e/o ha modificato l'originario tracciato rendendone, in alcuni casi, difficile l'individuazione.

La roggia Morlana e le sue derivate

L'origine di questa roggia non è sicura ma sembra risalire ad un'epoca anteriore al 1200 d.C..

La roggia Morlana è derivata dalla sponda destra dal fiume Serio nel Comune di Nembro, oltre un chilometro a valle del Ponte di Albino, ed attraversa i comuni di Nembro, Alzano, Ranica, Gorle e Bergamo con un percorso di circa 10 km. Da essa si ramificano numerosi canali di presa secondari. La larghezza dell'alveo è variabile tra i 10 ed i 4 metri.

Giunta a Bergamo la roggia Morlana si suddivide in tre rami: la roggia Curna, la Roggia Colleonesca e la Coda Morlana.

La roggia Curna si deriva presso il convento dei Cappuccini in località Borgo Palazzo ed attraversa il comune di Bergamo con direzione circa est-ovest, attraversando i quartieri di Boccaleone, Astino ed i comuni di Mozzo, Curno, Treviolo e Ponte San Pietro.

Gli altri due rami, la Coda Morlana e la Roggia Colleonesca, sono derivati nei pressi della località denominata il Casalino. La coda Morlana ha un percorso di circa 12 km ed attraversa il comune di Bergamo, la località Colognola ed i comuni di Stezzano e Levate, dove si suddivide in due rami meno importanti.

La roggia Colleonesca si sviluppa per circa 5 km nei territori di Bergamo, Grumello del Piano e Lallio dove si divide ulteriormente in due rogge di rango inferiore.

La roggia Guidana

Questo canale risale ad un'epoca anteriore al 1453 essendo citato in un documento posto in atti dal notaio Stefano d'Albino il 4 luglio di quello stesso anno.

La roggia Guidana è derivata dalla roggia Serio nel territorio comunale di Alzano. Costeggiando il Serio, e dopo aver ricevuto le acque di numerosi affluenti, raggiunge il comune di Bergamo ed attraversa i quartieri di Redona e Boccaleone per poi dirigersi verso sud, verso Colognola dove si divide in due rami che attraversano uno il comune di Stezzano e l'altro il comune di Azzano ed ancora Stezzano.

La roggia Guidana si sviluppa per circa 6,2 km sino alla sua biforcazione, il ramo di destra misura circa 5,6 km e quello di sinistra 5,6.

La roggia Ponte Perduto

L'origine della roggia Ponte Perduto si attesta attorno al decimo secolo dopo Cristo, anche se il più vecchio documento che ne parla risale solo al 1506.

Il canale viene derivato dalla roggia Morlana, nel territorio comunale di Gorle, prosegue verso Seriate dove si divide in tre rami. Di questi tre rami soltanto uno entra nella città di Bergamo, attraversando i quartieri di Boccaleone e Campagnola dove si articola in sei adacquamenti di minori dimensioni.

4.2 Caratteri idrogeologici

La carta idrogeologica raccoglie una serie di informazioni ricavate dall'analisi della cartografia esistente e dalla documentazione disponibile presso il Comune, la Provincia di Bergamo e l'ARPA.

L'indagine è stata articolata nei seguenti punti:

- ricerca bibliografica;
- analisi della cartografia esistente;
- utilizzo delle misure del livello di falda;
- elaborazione dei dati raccolti e analisi dei risultati.

I pozzi sono stati censiti e per ciascuno di essi è stata redatta una scheda contenente le informazioni ricavate dalla modulistica raccolta (allegato 1).

I logs stratigrafici dei singoli pozzi hanno permesso di ricavare informazioni circa la stratigrafia del sottosuolo. Mediante la correlazione delle colonne stratigrafiche è stato possibile ricostruire la geometria (tavola 6) e la tessitura dei corpi idrici sotterranei e dare una valutazione della vulnerabilità degli acquiferi superficiali.

4.2.1 La conducibilità idraulica del sottosuolo

La conoscenza dei meccanismi con cui avviene la circolazione idrica sotterranea è importante per una corretta pianificazione dello sfruttamento delle acque sotterranee.

La permeabilità dei primi livelli del suolo e del sottosuolo svolge un ruolo molto importante nel contribuire all'alimentazione degli acquiferi e nell'analisi della vulnerabilità della prima falda.

I valori di permeabilità rappresentati in carta non provengono da dati sperimentali, ma da una valutazione qualitativa della tessitura prevalente dei depositi (tabella 2), dalle condizioni di fratturazione degli ammassi rocciosi affioranti, nonché dalla capacità di drenaggio dei terreni contenuta nella carta pedologica (ERSAL, 1990).

È necessario distinguere i terreni sciolti, caratterizzati da permeabilità primaria legata alle caratteristiche tessiture del sedimento, dagli ammassi rocciosi, nei quali la circolazione idrica avviene lungo le discontinuità dell'ammasso roccioso e/o per carsismo e viene definita permeabilità secondaria.

Tabella 2: – Correlazione granulometria/conducibilità idraulica

Valori del coefficiente di conducibilità idraulica k correlati con la granulometria (R. Lancellotta, 1987)	
Tipo di terreno	k (cm/sec)
Ghiaia pulita	$10^{-2} \div 1$
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} \div 10^{-2}$
Sabbia molto fine	$10^{-6} \div 10^{-4}$
Limo	$10^{-8} \div 10^{-6}$
Argilla omogenea	$< 10^{-9}$
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-8} \div 10^{-4}$

Una stima della quantità d'acqua che può infiltrarsi in un ammasso roccioso può essere ottenuta, oltre che in maniera qualitativa anche mediante l'applicazione della formula di Snow (1968), basata sull'elaborazione dei dati ricavabili da un rilievo geomeccanico:

$$k = (g \cdot e^3) / 12 (b \cdot v)$$

dove:

k = coefficiente di permeabilità (m/s)

g = accelerazione di gravità (9,8 m/s)

e = apertura media delle discontinuità della famiglia prevalente

b = spaziatura media delle discontinuità della famiglia prevalente

v = coefficiente di viscosità cinematica dell'acqua ($1,01 \times 10^{-6}$ m²/s)

In alternativa, la formula di Louis tiene conto del ruolo fondamentale esercitato dal riempimento all'interno delle discontinuità, considerato il fattore guida, insieme a spaziatura e apertura, della circolazione idrica:

$$k = (e/b) \times (k_f + k_r)$$

dove:

k_f = coefficiente di permeabilità del materiale di riempimento

k_r = coefficiente di permeabilità del materiale roccia

Nonostante le approssimazioni e le limitazioni intrinseche alle due formule, tramite la loro applicazione è stato possibile stimare, per gli ammassi rocciosi che formano i colli bergamaschi, una permeabilità secondaria da medio-bassa a medio-alta, corrispondente alle classi II e III.

Nel territorio comunale di Bergamo sono state distinte le seguenti classi di permeabilità:

- CLASSE I ($k > 10^{-2}$ cm/s)
- CLASSE II ($10^{-4} < k < 10^{-2}$ cm/s)
- CLASSE III ($10^{-5} < k < 10^{-3}$ cm/s)
- CLASSE IV ($k < 10^{-5}$ cm/s)

Alla Classe I sono state assegnate quelle unità litologiche che per le loro caratteristiche tessiturali presentano una permeabilità primaria alta (depositi alluvionali attuali e recenti del Torrente Morla e depositi alluvionali postglaciali).

Alla Classe II sono state assegnate le unità litologiche che presentano una permeabilità medio-alta per le loro caratteristiche tessiturali e/o per le caratteristiche di fratturazione e dissoluzione (depositi appartenenti all'Unità di Comun Nuovo, all'Unità di Torre Boldone, all'Unità di Brembate ed alle formazioni rocciose del Sass de la Luna, dell'Arenaria di Sarnico e del Conglomerato di Sirone).

Alla Classe III sono state assegnate quelle unità litologiche che presentano una permeabilità medio-bassa per le loro caratteristiche tessiturali (depositi appartenenti al Complesso di Palazzago, all'Unità di Valtesse ed alle formazioni rocciose del Flysch di Bergamo, del Flysch di Pontida e delle Peliti Rosse).

Alla Classe IV sono state assegnate le unità litologiche poco permeabili (depositi lacustri postglaciali e depositi appartenenti al Complesso Alteritico).

4.2.2 La superficie piezometrica

Dal punto di vista idrogeologico il territorio di Bergamo è suddivisibile in tre ambiti con comportamento idrogeologico differente:

- la collina;
- la zona di passaggio dalla collina alla pianura;
- la pianura.

La collina

Nella zona collinare una parte dell'acqua che defluisce verso valle si infiltra nella copertura detritica e quindi nelle discontinuità dell'ammasso roccioso.

Alimenta una circolazione sotterranea subsuperficiale che ha come letto il substrato roccioso impermeabile e che può emergere in corrispondenza di soglie di permeabilità tra terreni con diversa conducibilità idraulica.

Molto più complessa è la circolazione che si realizza all'interno di un corpo anisotropo quale è l'ammasso roccioso, essendo il deflusso governato dai sistemi di discontinuità che lo pervadono.

Nel suo complesso il sistema collinare ha funzione di ricarica degli acquiferi dell'alta pianura e degli acquiferi profondi che trovano continuità nella bassa pianura bergamasca.

La zona di transizione dalla collina alla pianura

Comprende la zona pedecollinare e l'alta pianura sulla quale insiste gran parte dell'area urbanizzata della città bassa.

La struttura degli acquiferi non è ben definita a causa dell'elevata eterogeneità tessiturale del sottosuolo e della bassa modesta permeabilità dei terreni, soprattutto nel primo sottosuolo.

Il deflusso idrico subsuperficiale si manifesta attraverso correnti sotterranee di limitata sezione e regime variabile (*Fumagalli, Ribaudo e Mosconi*), spesso interconnesse con il reticolo idrico superficiale.

Il carattere anisotropo del deflusso idrico si manifesta con particolare intensità in alcune zone della città (la Martinella) dando luogo a episodi di allagamento e alla formazione di cavità nel primo sottosuolo. In condizioni di forte saturazione i limi e le argille che formano il sottosuolo possono infatti assumere consistenza fluido plastica, perdendo qualsiasi proprietà meccanica.

Pianura

Nella zona meridionale del territorio cittadino, pressappoco in corrispondenza del passaggio tra le unità stratigrafiche dell'Unità di Torre Boldone e di Comun Nuovo, la struttura idrogeologica acquista una configurazione più regolare e simile a quella della media pianura bergamasca.

L'insieme dei corpi idrici sotterranei definisce un sistema multistrato nel quale si riconosce un acquifero freatico ed un insieme di acquiferi semiartesiani caratterizzati da un grado crescente di confinamento.

La morfologia della falda superficiale acquista una forma più regolare accompagnata da un brusco aumento della soggiacenza dovuto al passaggio a terreni caratterizzati da una maggiore uniformità tessiturale e insieme da una maggiore trasmissività.

La superficie piezometrica rappresentata nella tavola 5 è stata ottenuta aggiornando le mappe piezometriche contenute nello studio del Piano Cave della Provincia di Bergamo, con le rilevazioni del livello piezometrico realizzate nei pozzi e sondaggi censiti nel territorio di Bergamo.

L'interpretazione dei risultati ha comportato alcune "correzioni" al modello ottenuto in corrispondenza delle aree di fondovalle dove, in assenza di un numero sufficiente di punti di rilevazione, l'andamento delle curve isopiezometriche è stato ricostruito tenendo conto della morfologia del paesaggio e della geometria del reticolo idrografico.

Il flusso idrico sotterraneo ha nel complesso un andamento nord-sud con un gradiente idraulico che passa dall'1,8%, nella zona di Valtesse ed in prossimità del confine con Torre Boldone, allo 0,8% nella parte più meridionale della città. Il dislivello piezometrico è di circa 100 metri, passando dai 265 metri s.l.m. di Valtesse ai 165 metri s.l.m. del confine con Stezzano.

Il gradiente maggiore nell'area di Valtesse è dovuto alla bassa trasmissività dell'acquifero e quindi alla minor potenza dei depositi permeabili e/o alla loro minor conducibilità idraulica.

La soggiacenza nelle aree di pianura e di fondovalle è variabile tra oltre 50 metri (a sud) e 10 metri circa (Valtesse).

L'oscillazione della soggiacenza, misurata dai tecnici dell'A.R.P.A. di Bergamo nel pozzo dell'Istituto di Arti Grafiche, è stagionale e fa registrare i massimi nei periodi primaverili ed i minimi nei periodi autunnali in concomitanza con i picchi di precipitazione (figura 12).

La massima escursione piezometrica registrata nel periodo compreso tra gennaio 2005 e ottobre 2006 è pari a circa 5 metri.

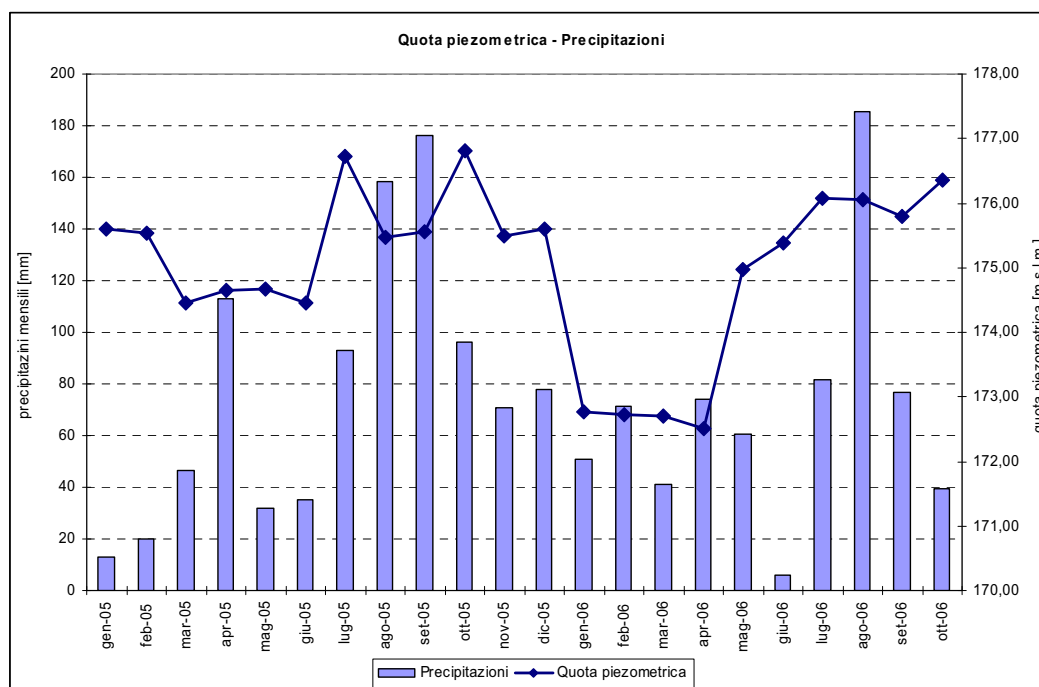


Figura 12 – Confronto tra l'oscillazione della quota piezometrica, nel pozzo dell'Istituto Arti Grafiche, con le precipitazioni medie mensili, misurate alla stazione meteorologica sita in Via Garibaldi.

4.2.3 Geometria degli acquiferi

La successione stratigrafica dei depositi presenti nel sottosuolo della Provincia di Bergamo individua due unità idrogeologiche corrispondenti a due sistemi acquiferi principali: un sistema superficiale, con falda libera/semiconfinata, ed uno inferiore con falda confinata.

- L'unità superiore è formata da ghiaie e sabbie passanti con la profondità a conglomerati ed arenarie, con intercalazioni di limi ed argille; lo spessore medio è di 80-100 metri ed il limite inferiore è posizionato convenzionalmente in corrispondenza delle prime intercalazioni metriche di argille che abbiano continuità orizzontale;
- l'unità inferiore è costituita da più livelli permeabili ghiaiosi ma soprattutto conglomeratici, porosi e fessurati, separati da setti argillosi; con la profondità si registra un progressivo aumento della componente argillosa: i livelli conglomeratici sono sede di falde confinate captate, a scopo idropotabile, nei comuni a sud di Bergamo dalla BAS Servizi Idrici Integrati.

Questa struttura è riconoscibile nei suoi lineamenti generali anche nel territorio della città di Bergamo (allegato 1). L'unità idrogeologica superiore è formata da uno strato superficiale, di spessore compreso tra i 20 e i 30 metri, costituito da ghiaie e sabbie intercalate da livelli

argillosi anche metrici; segue, fino al letto dell'unità, intorno agli 80, 100 metri dal piano campagna, una successione di conglomerati e arenarie localmente fessurate, intercalate da livelli ghiaiosi compatti e/o livelli argilloso limosi.

Nei pozzi che superano i 100 metri di profondità è riconoscibile un livello plurimetrico di argille che svolge la funzione di acquiclude (strato impermeabile o a bassissima permeabilità) sostenendo la falda superficiale e formando il tetto impermeabile del sistema confinato sottostante.

La maggior parte dei pozzi censiti sono ad uso industriale e/o irriguo. Per tali usi non sono richieste caratteristiche qualitative particolari e pertanto le terebrazioni captano l'acquifero superficiale, quello maggiormente esposto al pericolo di inquinamento.

Il pozzo realizzato nel complesso industriale Reggiani (allegato 1, P15) è stato spinto sino al substrato roccioso, intercettando i calcari appartenenti alla successione cretacea alla profondità di 153 metri.

L'insieme delle informazioni raccolte sono state tradotte nelle sezioni idrogeologiche del sottosuolo di Bergamo (tavola 6).

4.3 Vulnerabilità dell'acquifero superficiale

Per vulnerabilità degli acquiferi si intende la suscettibilità dell'acquifero ad assorbire elementi inquinanti provenienti dalla superficie per infiltrazione. La valutazione della vulnerabilità richiede la conoscenza dettagliata di diversi elementi: le geometrie ed i parametri idraulici delle unità costituenti il sottosuolo; i meccanismi di alimentazione delle falde; i processi di interscambio tra l'inquinante, il non saturo, l'acquifero e le falde. Trattandosi di elementi non sempre di facile acquisizione e la cui importanza può essere variamente stimata, alcuni Autori hanno proposto metodologie di calcolo basate su pochi parametri significativi.

4.3.1 D.R.A.S.T.I.C.

La carta della vulnerabilità di Bergamo è stata ottenuta dall'analisi di 7 elementi:

1. la soggiacenza (Depth to water),
2. l'alimentazione ((Net) Recharge),
3. la tessitura del saturo (Aquifer Media),
4. la tessitura del suolo (Soil Media),
5. l'acclività (Topography (Slope)),

6. la tessitura del non saturo (Impact of the Vadose Zone),
7. la conducibilità idraulica (Conductivity (Hydraulic) of the Aquifer),

L'acronimo **D.R.A.S.T.I.C.** deriva infatti dalle iniziali dei sette parametri; tra questi sono distinti i parametri dinamici: la soggiacenza e l'alimentazione in quanto mutevoli nel tempo, ed i parametri statici: la tessitura del saturo, del suolo, del non saturo e la conducibilità idraulica in quanto descrivono proprietà fisiche del terreno, non mutevoli, ed infine l'acclività che descrive le forme del territorio come sono state modellate dagli eventi naturali e/o dall'azione dell'uomo. Per approfondimenti sull'argomento si rimanda tuttavia all'articolo di Aller et alii del 1985, in questa breve nota viene infatti illustrata la metodologia seguita ed i risultati conseguiti nella sua applicazione al territorio di Bergamo.

Le operazioni di calcolo tra matrici di dati (ciascun parametro può infatti assumere valore differente spostandosi nello spazio) richieste dal metodo D.R.A.S.T.I.C., sono state svolte con il software IDRISI, discretizzando l'area studiata in una griglia di 5 metri di lato (tabella 3). Successivamente ad ogni cella della griglia ricadente sulla parte pianeggiante del territorio comunale, per la quale è presumibile la presenza di una falda superficiale, sono stati assegnati: un valore ricavato dai grafici e algoritmi proposti da Aller ed un peso, quest'ultimo variabile in funzione dell'importanza del singolo parametro nella definizione della vulnerabilità intrinseca del territorio (cfr. Aller et alii, 1985).

Le mappe dell'acclività e della soggiacenza sono state ricavate utilizzando gli specifici moduli di interpolazione (kriging) e di analisi dei dati geografici e geomorfologici di IDRISI. Sono stati così costruiti: il modello digitale del terreno DTM (Digital Terrain Model) o DEM (Digital Elevation Model), la carta delle pendenze e la carta dell'aspetto del territorio comunale (SHADED RELIEF MAP). La procedura seguita ha richiesto la trasformazione delle quote assolute del territorio disponibili nella base informatizzata (formato Shapefile e Autocad), in un formato utilizzabile da IDRISI. Successivamente la gestione delle informazioni è avvenuta totalmente utilizzando il software ArcGIS (Esri), fino all'estrazione delle mappe per la stampa finale.

Tabella 3 – Parametri della griglia utilizzati per discretizzare il territorio di Bergamo

file title	:	
data type	:	real
file type	:	binary
columns	:	1513
rows	:	1843
ref. system	:	plane
ref. units	:	m
unit dist.	:	1.0000000
min. X	:	1548150
max. X	:	1555710
min. Y	:	5055470
max. Y	:	5064680
pos'n error	:	unknown
resolution	:	unknown
min. value	:	0.0000000
max. value	:	
value units	:	
value error	:	unknown
flag value	:	none
flag def'n	:	none
legend cats	:	0

Parametri statici

L'importanza dei caratteri tessiturali del saturo, del suolo e del non saturo è legata alla velocità con la quale un inquinante accidentalmente posto a contatto con la superficie del terreno, si infiltra nel terreno, raggiunge l'acquifero e si diffonde in esso. La tessitura del suolo è stata discretizzata secondo le unità cartografiche distinte dall'ERSAL nella carta pedologica (I SUOLI DELL'HINTERLAND BERGAMASCO, 1992) opportunamente raggruppate in "macrounità" con caratteristiche tessiturali superficiali omogenee. A ciascuna macrounità è stato associato un valore, compreso tra 4 (franco limoso) e 5 (franco) (tabella 4).

Tabella 4 – Valore assegnato per tipologia di suolo

Unita Cartografica	tessitura superficiale	valore secondo Aller et alii
8 – 11 – 12 – 13 – 14 – 17 20 25 – 29 – 30 – 31 – 33 38	franco	5
26 – 27	franco-limoso	4
7 – 18	franco-limoso, argilloso	4
54 (urbanizzato)	assente	10

La tessitura del non saturo e del saturo (acquifero), è stata ricavata dai logs stratigrafici dei pozzi e dei sondaggi censiti. Non potendo effettuare una discretizzazione significativa sulla base di dati puntuali è stato assegnato un valore univoco all'intera griglia: 6 per il non saturo e 8 per il saturo.

Il gradiente topografico (l'acclività) è stato ricavato con IDRISI. Tale parametro è importante in quanto influisce sulla maggiore o minore possibilità di infiltrazione delle acque meteoriche e dato che varia in ciascun punto della griglia il relativo valore è stato ottenuto con una procedura di calcolo automatica applicando l'espressione $y = -0,4x + 10$ (cfr. Aller et alii, 1985) alla mappa raster dell'acclività (tavola 4).

La conducibilità idraulica è un parametro quantitativo complementare al carattere tessiturale dell'acquifero. Permeabilità e trasmissività dell'acquifero sono stati ottenuti in modo empirico applicando la formula di Thiem-Dupuit ($T = 1,22 \cdot Q_{sp}$ con T = trasmissività e Q_{sp} = portata specifica) ad alcuni pozzi attingenti al primo acquifero. Anche in questo caso è stato attribuito un valore univoco all'intera griglia: 8.

Parametri dinamici

La soggiacenza esprime la profondità della tavola d'acqua dal piano campagna. È la distanza che un inquinante deve percorrere nel non saturo quando la fonte di inquinamento è superficiale. Tale parametro è stato ottenuto in modo automatico in IDRISI sottraendo al modello digitale del terreno, rappresentante la quota assoluta della superficie topografica, la carta delle isopiezometriche, rappresentante la quota sul livello del mare della superficie freatica. Anche in questo caso il valore di ciascuna cella della griglia è stato ottenuto in modo automatico applicando la relazione di calcolo soggiacenza - valore ($y = -0,3x + 10$) proposta da Aller et alii.

L'alimentazione dell'acquifero freatico avviene essenzialmente per infiltrazione delle piogge (infiltrazione efficace) e per dispersione dalle rogge. L'applicazione dell'espressione di Turc per il calcolo dell'evapotraspirazione reale ha permesso di quantificare le precipitazioni efficaci. L'infiltrazione efficace è stata stimata considerando una frazione percentuale (ca. 30%) di queste ultime. Il valore attribuito in modo univoco all'intera griglia è 5 (infiltrazione efficace ca. 130 mm).

Pesi

Il metodo DRASTIC prevede l'assegnazione di un peso, variabile da 1 a 5, a ciascun parametro in base all'importanza che può avere nella valutazione della vulnerabilità. Sono ipotizzati due casi:

- assenza di prodotti chimici in agricoltura – condizioni normali;
- uso di diserbanti e pesticidi – condizioni agricole.

Il valore della vulnerabilità è stato quindi ottenuto sommando, in una griglia finale, i valori di ciascun parametro moltiplicati per i relativi pesi.

Tabella 5 - Pesi normali

soggiacenza	5
alimentazione	4
tessitura del saturo	3
tessitura del suolo	2
acclività	1
tessitura del non saturo	5
conducibilità idraulica	3

Tabella 6 - Pesi agricoli

Soggiacenza	5
Alimentazione	4
tessitura del saturo	3
tessitura del suolo	5
Acclività	3
tessitura del non saturo	4
conducibilità idraulica	2

Classi di vulnerabilità

I valori percentuali delle classi di vulnerabilità sono:

Tabella 7 – Classi di vulnerabilità

1	vulnerabilità massima	91-100%
2	vulnerabilità estremamente alta	81-90%
3	vulnerabilità molto alta	71-80%
4	vulnerabilità alta	61-70%
5	vulnerabilità mediamente alta	51-60%
6	vulnerabilità mediamente bassa	41-50%
7	vulnerabilità bassa	31-40%
8	vulnerabilità molto bassa	21-30%
9	vulnerabilità estremamente bassa	11-20%
10	vulnerabilità minima	1-10%

4.3.2 Note conclusive

Delle dieci classi di vulnerabilità descritte, nel territorio di Bergamo sono rappresentate le classi 3, 4, 5 e 6 corrispondenti ad una vulnerabilità intrinseca variabile da mediamente bassa a molto alta.

Le classi di vulnerabilità alta e molto alta calcolate con i pesi agricoli occupano una percentuale maggiore di territorio pianeggiante rispetto a quelle calcolate con i pesi normali. Ciò è dovuto al peso maggiore attribuito alla tessitura del suolo.

Pur non trovandoci in condizioni estreme delle classi a maggiore vulnerabilità, la dizione "mediamente alta – alta" deve richiamare ad una certa attenzione nella gestione della risorsa idrica superficiale da parte delle utenze private e ad un'adeguata politica di controllo di soggetti privati produttori reali o potenziali di inquinamento.

Capitolo 5**Carta di prima caratterizzazione geologico-tecnica (Tav. 7)****5.1 Premessa**

Per la caratterizzazione qualitativa del terreno ai fini della propensione all'edificazione, sono stati raccolti e ordinati i risultati delle indagini geognostiche e delle prospezioni geofisiche depositate presso l'Ufficio Tecnico comunale (allegato 2).

Si è giunti in tal modo ad una prima caratterizzazione geologico-tecnica che può essere di supporto nell'orientamento delle scelte urbanistiche, ma che deve essere opportunamente approfondita in fase di progettazione esecutiva delle singole opere pubbliche e private.

La documentazione raccolta è stata resa anche su supporto informatico con la creazione di un database in ArcView facilmente consultabile e che potrà essere aggiornato mano a mano che nuovi dati saranno resi disponibili.

5.2 Zonazione geotecnica del terreno

Il territorio della città di Bergamo è formato da tre ambiti fisiografici principali. I colli, la fascia pedecollinare e la pianura.

Nella zona collinare il substrato roccioso è spesso affiorante o subaffiorante. La copertura eluviale presenta caratteristiche tessiturali omogenee in quanto proviene dall'alterazione fisico chimica di litologie simili.

Più articolata è la tessitura dei depositi che formano la zona di raccordo con la pianura in quanto la loro presenza è legata a processi morfologici diversi. Questa eterogeneità tessutturale, che si riflette anche in un diverso comportamento meccanico, la troviamo anche nella pianura prospiciente i colli. In questa zona è presente una circolazione idrica subsuperficiale che contribuisce allo scadimento locale delle caratteristiche meccaniche del primo sottosuolo.

Allontanandosi progressivamente dai colli i depositi acquistano maggiore uniformità tessutturale e così anche il comportamento meccanico del primo sottosuolo.

Sono state distinte cinque zone con caratteristiche meccaniche simili:

- la collina;
- i bacini lacustri di Longuelo e Petosino;
- pedecollinare nord;

- pedecollinare sud;
- la zona di passaggio dalla collina alla pianura;
- la pianura.

Per ogni zona si è cercato di fornire una quantificazione delle principali proprietà meccaniche della matrice coinvolta, terreno o roccia che sia.

Si ricorda tuttavia che in fase di progettazione esecutiva delle opere ci si dovrà riferire a quanto previsto nelle prescrizioni contenute nel capitolo della fattibilità geologica delle azioni di piano.

La collina

Comprende i colli sui quali si è sviluppato il nucleo antico della città.

Il substrato roccioso è spesso affiorante o subaffiorante e costituito da una successione torbiditica di età cretacea che comprende arenarie, conglomerati e marne, disgregate nella parte superficiale dall'azione chimico fisica degli agenti atmosferici.

La stratigrafia tipo può essere così schematizzata:

- eluvio – colluvio di origine alteritica; dove presente, lo spessore è da decimetrico a metrico;
- regolite, porzione alterata dell'ammasso roccioso di spessore variabile in relazione alla locale pervasività dell'alterazione, da assente a spessore metrico;
- roccia in posto.

Quando affiora, l'ammasso roccioso presenta generalmente buone proprietà meccaniche dovute soprattutto alla litologia competente del materiale roccia.

Localmente sono stati osservati interstrati argillitici e venute d'acqua che possono diminuire questa percezione di resistenza dell'ammasso.

La geometria degli strati rocciosi rispetto all'orientamento del pendio è variabile, a volte favorevole alla stabilità (strati a reggipoggio) ed a volte sfavorevole (strati a franapoggio).

Le proprietà meccaniche delle singole unità affioranti sono le seguenti:

- Le argilliti alternate a calcilutiti (Gm1) appartengono all'unità delle Peliti Rosse. Affiorano sui dossi che si protendono verso nord nei pressi delle località Ramera e Pontesecco. Hanno proprietà meccaniche nel complesso scadenti.

RQD 0 – 50%

- Il conglomerato (Gm2) appartiene all'unità del Conglomerato di Sirone. Ha buone proprietà meccaniche quando si presenta nella facies massiccia, sufficienti, quando si alterna con strati arenaceo pelitici.
RQD 30 – 90%
- Le peliti e le arenarie (Gm2) appartengono alle unità del Flysh di Bergamo e delle Arenarie di Sarnico. Hanno proprietà geomeccaniche da discrete a buone.
RQD 10 – 80%
- Le marne, i calcari e le alternanze marnoso-calcaree (Gm2) appartengono alle unità del Sass de la Luna e del Flysch di Pontida. Presentano buone proprietà geomeccaniche.
RQD 30 – 90%

I bacini lacustri di Longuelo e Petosino (Gt1)

Nel quartiere di Longuelo e nel Parco dei Colli al confine tra Bergamo e Petosino, affiorano depositi postglaciali di origine lacustre.

Sono terreni costituiti da argille e limi con subordinate sabbie e ghiaie (bacino di Petosino) o solo sabbie (bacino di Longuelo).

Le proprietà meccaniche sono scadenti e sono accompagnate da una scarsa capacità di drenaggio che può dar luogo a episodi di allagamento. La presenza di argille e di livelli torbosi amplifica l'entità e la durata dei cedimenti anche in costruzioni di modesto impatto.

Angolo di attrito: 16° – 28°
Coesione: 0,1 – 0,2 kg/cm²

Pedecollinare nord (Gt2)

Raccorda le colline di Valtesse al Bacino di Petosino. Il sottosuolo è formato da depositi di alterazione del substrato roccioso attribuiti al Complesso Alteritico o al Complesso di Palazzago.

I terreni del Complesso di Palazzago hanno tessitura argilloso limosa con subordinata sabbia, vi sono inclusi clasti del substrato più o meno alterati.

A causa della loro natura sono terreni caratterizzati da proprietà meccaniche molto eterogenee.

Angolo di attrito: 23° – 30°
Coesione: 0 – 0,2 kg/cm²

La zona di passaggio dalla collina alla pianura (Gt3)

Corrisponde all'alta pianura urbanizzata dalla città bassa. I depositi sono costituiti prevalentemente dalla facies fluvioglaciale del Complesso di Ponte della Selva.

L'Unità di Torre Boldone è formata da limo argilloso debolmente sabbioso con rari ciottoli e/o blocchi al quale si alternano ghiaie sabbiose con ciottoli e blocchi di derivazione seriana, argille limose debolmente sabbiose con inclusi poligenici alterati, calcari marnosi argillificati e arenarie decarbonate. Sono frequenti livelli ghiaioso sabbiosi, ghiaiosi, con o senza supporto di matrice, alternati a livelli limosi e argillosi di spessore a volte plurimetrico già nei primi metri di sottosuolo (La Trucca – Ospedale Nuovo e via dell'Agro).

L'eterogeneità tessiturale laterale e verticale dell'Unità favorisce lo sviluppo di una circolazione idrica subsuperficiale attraverso correnti sotterranee di limitata sezione e regime variabile, spesso interconnesse con il reticolo idrico superficiale.

Il carattere anisotropo del deflusso idrico si manifesta con particolare intensità in alcune zone della città (la Martinella) dando luogo a episodi di allagamento e alla formazione di cavità nel primo sottosuolo. In condizioni di forte saturazione i limi e le argille che formano il sottosuolo possono infatti assumere consistenza fluido plastica, perdendo qualsiasi proprietà meccanica.

Angolo di attrito: $23^{\circ} - 30^{\circ}$

Coesione: 0 kg/cm^2

Pedecollinare sud (Gt4)

Raccorda i colli Città Alta all'alta pianura bergamasca.

La copertura detritica è formata da depositi di versante derivati dall'alterazione fisico chimica del substrato roccioso e successivamente rimaneggiati per trasporto gravitativo. Litologicamente si tratta di accumuli argilloso limosi con ghiaie e sabbie subordinate e inclusi litoidi più o meno alterati.

A causa della loro natura sono terreni caratterizzati da proprietà meccaniche molto eterogenee.

Angolo di attrito: $23^{\circ} - 32^{\circ}$

Coesione: 0 kg/cm^2

La pianura (Gt5)

Nella parte meridionale del territorio cittadino l'assetto stratigrafico e quello idrogeologico assumono caratteristiche omogenee e simili a quelle della media pianura bergamasca.

La copertura detritica è formata dalle facies fluvioglaciali del Complesso delle Selva (Unità di Torre Boldone) e dall'Unità di Comun Nuovo. Lungo i corsi d'acqua maggiori affiorano i depositi alluvionali dell'Unità Postglaciale.

Il primo sottosuolo è formato da ghiaie poligeniche a supporto clastico, da subarrotondate ad arrotondate, sabbie, limi di esondazione, localmente cementate. Oltre i 50 metri di profondità i livelli cementati assumono spessori rilevati mentre livelli argillosi compaiono oltre gli 80, 100 metri.

Nonostante alcune disomogeneità stratigrafiche insite nella natura dei depositi fluvioglaciali, le proprietà meccaniche dei terreni del primo sottosuolo sono nel complesso discrete.

- ghiaie e sabbie alternate:

Angolo di attrito: $20^{\circ} - 35^{\circ}$

Coesione: 0 kg/cm^2

- strati conglomeratici (Ceppo):

Angolo di attrito: $35^{\circ} - 45^{\circ}$

Coesione: 2 kg/cm^2

RQD: $30 - 70$

Capitolo 6**Analisi della sismicità del territorio (Tavv. 9 – 10 – 11)****6.1 Premessa**

L'analisi si articola in tre livelli successivi di approfondimento che sono implementati in relazione alla zona sismica di appartenenza del comune, come definita dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, agli scenari di pericolosità sismica locale ed alla tipologia delle costruzioni in progetto (allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 e successive integrazioni).

Le zone sismiche sono quattro e sono così, definite:

Tabella 8 – Zone sismiche

Zona	Valori di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

dove a_g è il valore dell'accelerazione orizzontale massima espresso come frazione della gravità (g).

Il territorio comunale di Bergamo ricade nella zona di pericolosità sismica 3.

I livelli di approfondimento e le fasi di applicazione richieste dalla normativa sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 9 - Controlla il numero della tabella: livelli di approfondimento e fasi di applicazione della normativa sulla zonizzazione della pericolosità sismica locale

zona sismica	livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello pianificazione	2° livello pianificazione	3° livello fase progettuale
3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato ed urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5; - Nelle zone PSL Z3 per edifici con struttura flessibile.

Il primo livello di analisi prevede il riconoscimento di quelle parti del territorio dove è possibile un'amplificazione dell'effetto sismico sulla base delle caratteristiche litologiche,

geotecniche e morfologiche del territorio. Si ottiene confrontando le carte di inquadramento con gli scenari previsti dalle direttive tecniche (tabella 10).

Tabella 10 - Indicazione degli scenari di pericolosità, effetti e classi di pericolosità associate

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI	CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità	H3
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti		H2 - livello di approfondimento 3°
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana		
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni	H2 - livello di approfondimento 3°
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche	H2 - livello di approfondimento 2° (3°)
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate		
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche	H2 - livello di approfondimento 2°
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre		
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)		
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale		
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali	H2 - livello di approfondimento 3°

A ciascuna area così individuata è attribuita una classe di pericolosità sismica ed il successivo livello di approfondimento. Le campiture che definiscono lo scenario di pericolosità sismica sono rappresentate nell'omonima tavola 9.

Il secondo livello di approfondimento consente di verificare se i valori di spettro elastico previsti dal D.M. 14 gennaio 2008 sono adeguati alle tipologie di opere in progetto oppure se è necessario implementare il terzo livello di analisi per la definizione di nuovi spettri.

In determinati casi è obbligatorio applicare direttamente il terzo livello di approfondimento sismico in fase di progettazione.

Con gli aggiornamenti alle direttive tecniche contenute nella D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 tale approfondimento deve essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono infatti le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni).

- A** *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
- B** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- C** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- D** *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
- E** *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

6.2 Primo Livello: la Carta della Pericolosità Sismica Locale (Tav. 9)

Con la prima analisi il territorio di Bergamo è stato suddiviso in classi di Pericolosità Sismica Locale.

Sono state riconosciute cinque classi di Pericolosità Sismica Locale:

- la classe Z2, caratterizzata da terreni di fondazione particolarmente scadenti, è stata assegnata ai depositi lacustri di Longuelo e di Petosino;

- la classe Z3, che individua le aree di cresta e/o cocuzzolo, è stata assegnata alla zona dei colli;
- la classe Z4a, caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi, è quella più estesa in quanto comprende le Unità di Torre Boldone, di Comun Nuovo e Postglaciale (facies alluvionale);
- la classe Z4b, caratterizzata da depositi di falda di detrito, conoide alluvionale e deltizio-lacustre, è stata assegnata ai terreni della fascia pedecollinare dell'Unità di Palazzago;
- la classe Z4d, che comprende le zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale, è stata assegnata ai terreni del Complesso Alteritico della fascia pedecollinare del Colle della Maresana.

L'attribuzione delle varie classi di Pericolosità Sismica Locale ha portato alla redazione della tavola della Pericolosità Sismica Locale (tavola 9).

L'effetto previsto per gli scenari ricadenti nella classe Z3 è l'amplificazione topografica, mentre per gli scenari ricadenti in classe Z4 è l'amplificazione litologica.

6.3 Secondo Livello: valutazione del Fattore di Amplificazione (Tavv. 10 e 11)

La procedura di secondo livello consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni tramite il calcolo del *fattore di amplificazione* (F_a) e il confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia per gli effetti di amplificazione litologica e di amplificazione morfologica (Norme Tecniche per le Costruzioni, tabella 11).

Tabella 11 – Valori di soglia del Comune di Bergamo

	Creste e scarpate	suolo tipo A	suolo tipo B	suolo tipo C	suolo tipo D	suolo tipo E
periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	1,4 – 1,2		1,5	1,9	2,3	2,0
periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s	1,4 – 1,2		1,7	2,4	4,3	3,1

I valori soglia per gli effetti di amplificazione topografica (S_t) sono tratti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (tabella 12).

Tabella 12 – Valori della soglia *St* come indicati nel testo delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2008.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica		St
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La procedura per il calcolo del Fattore di Amplificazione è diversa a seconda che si debbano valutare effetti di tipo morfologico (scenari Z3) oppure litologico (scenari Z4).

Per le aree ricadenti in classe Z3 la procedura presume l'identificazione del tipo di rilievo morfologico mediante la misura di parametri quali l'altezza del rilievo, la larghezza della base e l'estensione della cresta. La stima del *Fa* avviene mediante l'utilizzo delle schede morfologiche preparate dalla Regione Lombardia (allegato 3).

La procedura di valutazione degli effetti litologici (scenari Z4) presume la conoscenza della litologia dei materiali presenti, della stratigrafia del sito e dell'andamento delle **velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (*Vs*)** nel primo sottosuolo. Mediante queste informazioni e l'utilizzo delle schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è possibile la stima dei valori del *Fa*.

6.3.1 Procedura

6.3.1.1 Effetti litologici

Il primo punto della procedura di secondo livello ha visto l'identificazione della litologia prevalente ed il confronto del profilo delle ***Vs*** con l'abaco contenuto nelle schede della Regione Lombardia.

Gli effetti litologici sono stati analizzati per i suoli di tipo B, C, D ed E così come definiti dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale.

Attualmente sono disponibili 6 schede per 6 differenti litologie prevalenti (Allegato 3).

Una volta individuata la scheda di riferimento, è stato verificato l'andamento delle ***Vs*** con la profondità utilizzando gli abachi riportati nelle schede di valutazione. Nel caso in cui l'andamento delle ***Vs*** con la profondità, non ricada nel campo di validità della scheda

litologica corrispondente, sia utilizzata la scheda che presenta l'andamento delle **Vs** più simile a quello rilevato in sito.

In alcuni casi, la valutazione del *Fa* è stata eseguita utilizzando schede differenti e optando per l'opzione più cautelativa.

All'interno della scheda di valutazione è stata utilizzata la curva con maggiore approssimazione per la stima del valore del *Fa* negli intervalli 0,1 - 0,5 s e 0,5 - 1,5 s.

Il periodo proprio del sito (*T*) è stato calcolato considerando la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità **Vs** è uguale o maggiore a 800 m/s, mediante la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

dove *h_i* e *V_s* sono lo spessore e la velocità dello strato *i*-esimo.

Laddove le prospezioni non abbiano investigato una profondità tale da raggiungere strati con *V_s* = 800 m/s tale limite è stato interpolato manualmente.

Il valore del *Fa* ottenuto, con un'approssimazione di ± 0,1 è stato quindi confrontato con i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia.

Per questa analisi sono state utilizzate 28 prospezioni geofisiche di cui 24 eseguite utilizzando la metodologia MASW e 4 utilizzando la metodologia della sismica a rifrazione. Delle 24 MASW utilizzate 20 sono state eseguite ad hoc per il presente studio.

La metodologia MASW

Teoria

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

volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

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

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

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

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (*CMP*). Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

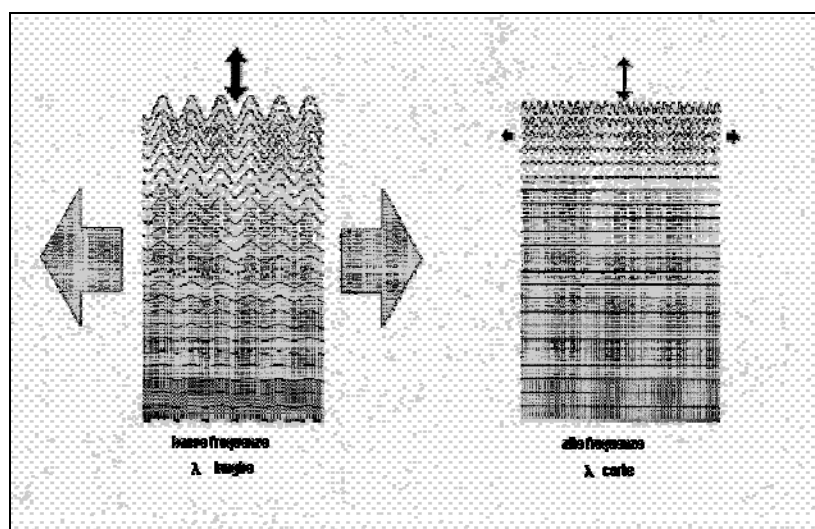


Figura 13 – Proprietà di dispersione delle onde superficiali

La figura 13 mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde sono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

Procedura in sito

Le indagini eseguite appositamente per la redazione del presente studio sono state eseguite con le seguenti specifiche. Ciascuna base sismica è stata ottenuta con la stesa di un cavo sismico lungo 48 metri compresi 24 geofoni e una spaziatura dei punti di ricezione pari a 2 metri. Sono stati impostati due punti di energizzazione (shots) indicativamente a 5 e 10 m di distanza dal primo geofono; in alcuni casi i punti di energizzazione sono stati leggermente diversi ma questo dato non influenza né l'acquisizione dei dati né la successiva interpretazione. Per ciascun punto di energizzazione sono stati eseguite varie acquisizioni in modo da mediare i disturbi ambientali sul sismogramma medio. Per ogni sito sono stati ricavati due profili stratigrafici delle V_s per ottenere un miglior riscontro interpretativo.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati a rifrazione consiste di un sismografo ECHO 24/2002 e di 24 geofoni a frequenza naturale di 4,5 Hz. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia) è stata ottenuta impiegando una mazza ed una piastra appoggiata al terreno.

Il rilievo altimetrico dei punti-geofono e dei punti di energizzazione non si è reso necessario in quanto le prove sono state volutamente eseguite in contesti pianeggianti.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Interpretazione delle misure

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e sono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, sono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (*back scattered*) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (*back scattered*) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte

del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

Le prospezioni sismiche sono state interpretate mediante il software SWAN (GeoStudi Astier SRL, 2007). L'utilizzo di questo software consente di preprocessare i dati grezzi acquisiti epurandoli da eventuali disturbi. Successivamente, partendo dal sismogramma medio di sito, sono calcolati gli spettri *FK* (Frequenza-Numero d'onda) ed *FV* (Frequenza-Velocità).

La distribuzione dei picchi evidenziati dagli spettri viene ulteriormente analizzata per ricavare la curva di dispersione sperimentale che viene confrontata con quella teorica. Trovata un'interpolazione tra le due curve il programma esegue l'inversione per ricostruire il profilo delle V_s con la profondità. Il profilo così ottenuto può essere ulteriormente modificato per aumentare il grado di interpolazione tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

Sismica a rifrazione

Teoria

I metodi convenzionali di sismica a rifrazione mirano a determinare la distribuzione nello spazio delle velocità delle onde sismiche nel sottosuolo (onde p – onde s). Queste velocità possono essere correlate a parametri geologici e petrofisici quali: tipo di roccia, porosità, erosione superficiale, saturazione d'acqua ed elasticità.

In linea generale una campagna sismica a rifrazione prevede l'energizzazione del terreno mediante l'onda d'urto prodotta dall'impatto sul terreno di una mazza di battuta o carica esplosiva; il compito del sismografo è quello di misurare il tempo impiegato dalla "perturbazione sismica" indotta nel terreno a percorrere la distanza tra sorgente e geofoni, opportunamente spaziatati lungo un profilo.

La velocità di propagazione dell'onda sismica dipende dalle caratteristiche elastiche del sottosuolo e dalla sua conformazione; la relazione tra velocità e distanza sorgente-geofono (dromocrona) permette, attraverso opportuni calcoli matematici, di risalire agli spessori degli strati che caratterizzano il sottosuolo investigato.

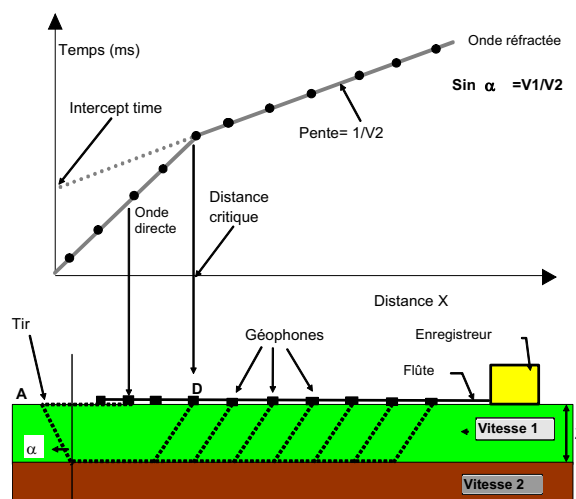


Figura 14 – Schema di un dispositivo di sismica a rifrazione.

Procedura in sito

La procedura in sito è la medesima di quella descritta per le prove MASW.

Tipicamente la metodologia utilizzata per l'acquisizione dei dati a rifrazione è consistita in stendimenti sismici con l'impiego di 12 geofoni a frequenza naturale di 14 Hz a componente verticale, collegati, tramite un cavo multipolare, al sismografo.

L'energizzazione del terreno di energia, è stata ottenuta impiegando un'apposita mazza battente, che viene fatta collidere col suolo generando così onde elastiche.

In generale sono state previste più ripetizioni dell'energizzazione per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

Nei casi in cui la topografia del terreno non risultasse pianeggiante è stato eseguito un rilievo topografico di massima per la correzione delle letture.

Interpretazione delle misure

L'elaborazione dei dati acquisiti in campagna avviene mediante software specifici che utilizzano metodi di calcolo diversi in funzione del tipo di indagine effettuata.

Questi software consentono di definire il numero e la posizione dei punti di ginocchio delle dromocrone e di effettuare dapprima la traslazione dei segmenti di dromocrona di ciascuno sparo appartenenti allo stesso rifrattore così da allinearli con un procedimento iterativo che permette di attribuire maggiore peso ai segmenti che hanno un maggior numero di geofoni in comune. Per la valutazione dell'andamento delle dromocrone nei tratti non coperti dalle registrazioni i programmi determinano la pendenza media nei tratti di dromocrona noti nelle due direzioni, utilizzando le pendenze medie precedentemente calcolate.

Si passa quindi all'applicazione del metodo GRM per l'identificazione della geometria dei rifrattori; il programma utilizza una procedura automatizzata che, partendo da un valore di XY di tentativo pari a zero (con cui ottiene la funzione tempo-profondità convenzionale) e della profondità presunta precedentemente calcolata al di sotto di ciascun geofono, sperimenta diversi valori di XY al fine di determinare la distanza XY ottimale, cioè la distanza per la quale i raggi diretti e inversi emergono in prossimità dello stesso punto sul rifrattore.

Dall'interpretazione del modello di velocità è possibile ricavare una stratigrafia sismica del sottosuolo. Utilizzando questa metodologia si perdono le inversioni di velocità nel sottosuolo, cioè si perdono gli strati che presentano velocità inferiori rispetto a quelli soprastanti. Considerando tuttavia che le velocità di propagazione delle onde sismiche tipicamente aumentano con la profondità si ottengono dei risultati accettabili.

6.3.1.2 Effetti morfologici

La procedura valuta il *fattore di amplificazione* negli scenari di cresta rocciosa, scarpata o cocuzzolo, caratterizzati da pendii con inclinazione di almeno 10° e i cui rilievi sono costituiti da materiale con $V_s \geq 800$ m/s.

Gli effetti morfologici riguardano i suoli di tipo A così come sono definiti dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003.

La procedura di secondo livello per gli effetti morfologici fornisce valori del F_a solo per l'intervallo 0,1 – 0,5 a causa di alcune limitazioni del metodo di calcolo utilizzato per la preparazione delle schede di valutazione.

Una volta individuate le creste e/o le scarpate, sono stati ricavati i parametri geometrici delle forme (figure 15 e 16), mediante i modelli stabiliti dalla Regione Lombardia e inseriti nell'allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008.

Le creste rocciose

Le creste rocciose possono essere suddivise in due categorie:

- creste appuntite: caratterizzate da un rilievo con una larghezza di cresta (I) molto inferiore alla larghezza della base (L);
- creste arrotondate: caratterizzate da un rilievo con una larghezza di cresta paragonabile a quella della base oppure pari ad almeno $1/3$ di essa; la zona di cresta deve essere pianeggiante o subpianeggiante con inclinazioni inferiori ai 10° .

I parametri che descrivono la morfologia della cresta e che consentono l'utilizzo della scheda di valutazione sono i seguenti:

- larghezza alla base del rilievo L ;
- larghezza in cresta del rilievo I ;
- dislivello altimetrico massimo H e minimo dei versanti h ;
- coefficiente di forma H/L .

All'interno della scheda di valutazione sono state scelte, per ogni rilievo analizzato, le curve più appropriate per il calcolo del fattore di amplificazione nell'intervallo $0,1 - 0,5$.

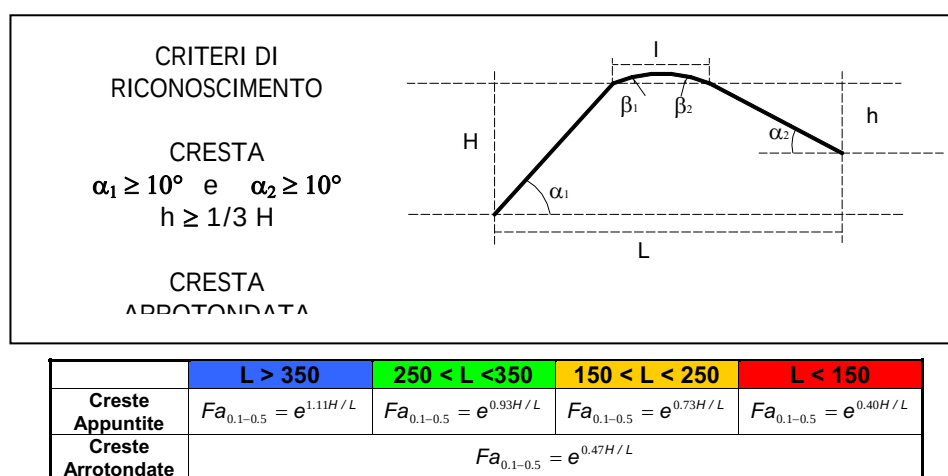


Figura 15 – estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di cresta e la valutazione del fattore di amplificazione (vedi l'allegato 3 per la versione completa).

Il valore del Fa calcolato è stato approssimato alla prima cifra decimale e assegnato all'area corrispondente alla larghezza di cresta (I). Lungo il versante il Fa è stato scalato linearmente sino ad assumere valore unitario alla base del pendio.

Il valore del Fa ottenuto è stato confrontato con i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia.

Nei casi in cui il valore del Fa calcolato è risultato inferiore al valore soglia, la classe di pericolosità H2, assegnata durante l'analisi sismica di primo livello, è stata ridotta ad H1.

Le scarpate rocciose

Lo scenario di scarpata rocciosa è caratterizzato da irregolarità con fronti di altezza (H) maggiore o uguale a 10 metri ed inclinazione (α) del fronte principale maggiore o uguale a 10° .

Le scarpate rocciose sono suddivise in tre tipologie (figura 16):

- scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
- scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso verso del fronte principale;
- scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nello verso opposto rispetto al fronte principale.

L'altezza H esprime la differenza di quota tra il piede ed il ciglio del fronte principale. La geometria del fronte superiore è espressa dal parametro h , al quale corrisponde la differenza di quota tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15-20 metri;
- l'inclinazione (β) del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione (α) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per $\beta \geq 1/5\alpha$ la morfologia è da considerare pendio);
- il dislivello altimetrico minimo (h) minore di un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq 1/3H$ la morfologia è da considerare cresta appuntita).

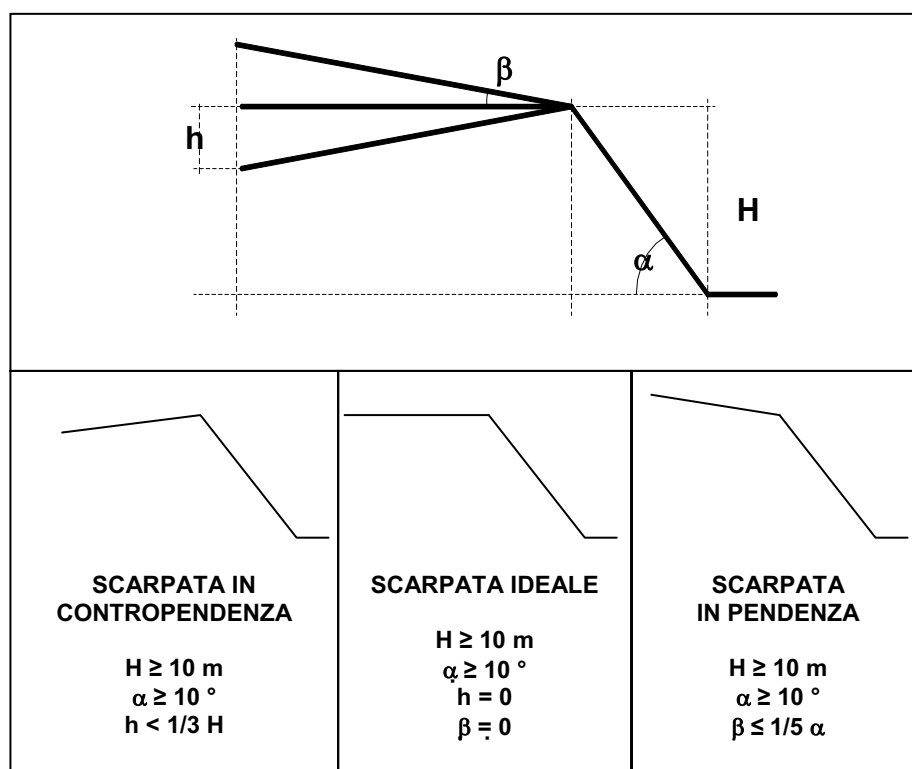


Figura 16 – estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di scarpata (vedi l'allegato 3 per la versione completa).

Il valore del F_a è stato assegnato con l'ausilio della tabella 13, i cui dati di ingresso descrivono la geometria della scarpata.

Tabella 13 – Schema per l'assegnazione del Fattore di Amplificazione ed il calcolo dell'area di influenza a monte del ciglio superiore della scarpata.

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di F_a	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1,1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1,2	$A_i = 3/4 H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1,1	$A_i = 2/3 H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1,2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1,3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1,2	
	$\alpha > 70^\circ$	1,1	

Il valore del F_a è stato assegnato al ciglio superiore della scarpata principale e scalato in maniera lineare fino al valore unitario all'interno della relativa area di influenza.

6.3.2 Le carte dei fattori di amplificazione (Tavv. 10 e 11)

Partendo dall'analisi dei fattori di amplificazione ricavati mediante le procedure descritte, sono state redatte due carte dei fattori di amplificazione: una carta per l'intervallo 0,1 – 0,5 ed una per l'intervallo 0,5 – 1,5.

Per gli effetti di amplificazione litologica (scenari Z4) è stata operata un'interpolazione dei valori ottenuti mediante il software Surfer 8 (Golden Software).

Le aree del bacino di Longuelo e di Rebetta (settore NE del territorio comunale), sono state escluse dall'interpolazione ed i valori del *Fa* calcolati puntualmente sono stati estesi all'intero ambito fisiografico che le caratterizza: i depositi lacustri postglaciali per il bacino di Longuelo ed i depositi dell'Unità di Brembate in località Rebetta.

Questo procedimento è stato esteso ad entrambi gli intervalli di oscillazione tipica (0,1 – 0,5 e 0,5 – 1,5).

Per gli effetti di amplificazione topografica (scenari Z3) sono state considerate diverse sezioni sia di creste che di scarpata. Per ogni sezione è stato calcolato il fattore di amplificazione al ciglio e il valore scalato lungo il pendio secondo le modalità descritte. I valori di ciascuna sezione sono stati successivamente interpolati.

Dalla sovrapposizione delle mappe relative agli scenari Z4 e Z3 è stata ottenuta una zonazione comprensiva di tutti gli scenari presenti. Alla base dei rilievi collinari, dove passa il limite tra i due scenari, i valori del fattore di amplificazione non sono in continuità a causa della diversità di ambito e quindi della diversa risposta ad un potenziale evento sismico.

Non essendo possibile valutare il fattore di amplificazione per l'intervallo di oscillazione 0,5 – 1,5 per gli scenari Z3, nella relativa tavola le aree collinari non sono state classificate.

6.3.3 Considerazioni finali

La variabilità litologica e geomorfologica del territorio di Bergamo ha fatto sì che i *Fattori di Amplificazione* calcolati coprano un ampio spettro di valori collocandosi a cavallo dei valori soglia.

6.3.3.1 Amplificazione topografica (Z3)

L'analisi delle sezioni topografiche delle principali aree di cresta e di scarpata ha fornito *Fa* compresi entro il range di variabilità del valore soglia (*St*). Il *Fa* massimo calcolato è pari a 1,3, considerando un margine di variabilità di $\pm 0,1$ del dato calcolato, come previsto dalla normativa, si ottiene un valore minimo di 1,2 uguale al valore di riferimento (*St* = 1,2).

Considerato che non è possibile analizzare puntualmente ogni singola asperità dei versanti in fase progettuale dovrà essere valutata la presenza di scenari di Pericolosità Sismica Locale che rientrino nella casistica della classe Z3.

Nel caso in cui, in un intorno significativo dell'area di progetto, fossero riscontrate geometrie compatibili con gli scenari Z3, si dovrà procedere alla verifica del fattore di amplificazione tipico del sito, in conformità con la normativa vigente. Se i *Fattori di amplificazione* ricavati fossero superiori a quelli di soglia riportati nelle tabelle 11 e 12, si dovrà procedere all'approfondimento sismico di terzo livello.

Sulla base degli aggiornamenti alle direttive tecniche indicati nella D.G.R. n 8/7374 del 28 maggio 2008, tale approfondimento dovrà essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

È invece necessario applicare sempre il terzo livello di approfondimento sismico nel caso di costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 5 piani.

6.3.3.2 Amplificazione litologica (Z4)

Nello scenario Z4 i valori di soglia stabiliti dalla Regione Lombardia per il periodo 0,5 – 1,5 risultano sufficientemente cautelativi su tutto il territorio comunale mentre quelli forniti per il periodo 0,1 – 0,5 sono localmente insufficienti.

L'analisi di secondo livello per fenomeni di amplificazione litologica è stata estesa anche ai bacini di Longuelo e di Petosino, pur appartenendo allo scenario di pericolosità sismica locale Z2, poiché i valori di V_{s30} calcolati li classificano come appartenenti ad un suolo di tipo B e C.

Il confronto, riassunto nella seguente tabella, è stato effettuato calcolando, oltre che il *fattore di amplificazione*, anche il valore delle V_{s30} in modo da stabilire la categoria di suolo su cui è stata eseguita l'indagine geofisica.

Le velocità delle onde S calcolate collocano il sottosuolo di Bergamo prevalentemente all'interno delle classi di suolo B e C; in alcuni casi il profilo delle Vs si colloca a cavallo tra le classi B ed E ed in un solo caso (sito PGT011) il valore V_{s30} è superiore ad 800 m/s e dunque il terreno in oggetto ricade all'interno della classe di suolo A. In prossimità della base dei pendii potrebbero riscontrarsi le condizioni di suolo di tipo E.

Le prospezioni eseguite sui terreni appartenenti all'Unità di Brembate ed ai depositi postglaciali del Bacino di Longuelo hanno fornito valori del Fattore di amplificazione

superiori ai limiti indicati e pertanto in queste zone andrà applicato il terzo livello di approfondimento sismico.

Tabella 14 – Tabella di raffronto tra i valori di F_a massimi calcolati per il territorio di Bergamo ed i valori soglia forniti dalla Regione Lombardia

		suolo tipo B periodo		suolo tipo C periodo		suolo tipo D periodo		suolo tipo E periodo	
	V_{s30} [m/s]	0,1-0,5	0,5-1,5	0,1-0,5	0,5-1,5	0,1-0,5	0,5-1,5	0,1-0,5	0,5-1,5
Soglia		1,5	1,7	1,9	2,4	2,3	4,3	2,0	3,1
01	618-587	1,5	1,1	1,5	1,1	1,5	1,1	1,5	1,1
02	571-544	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1
03	513-485	1,8	1,1	1,8	1,1	1,8	1,1	1,8	1,1
04	560-558	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0
05	573-608	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0
06	751-648	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0
07	516-431	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0
08	393-349	1,6	1,1	1,6	1,1	1,6	1,1	1,6	1,1
09	256-256	2,2	1,2	2,2	1,2	2,2	1,2	2,2	1,2
10	413-358	2,3	1,3	2,3	1,3	2,3	1,3	2,3	1,3
11	344-310	2,1	1,3	2,1	1,3	2,1	1,3	2,1	1,3
12	533-527	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1
13	371-399	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5
14	450-392	1,8	1,3	1,8	1,3	1,8	1,3	1,8	1,3
15	390-398	1,7	1,1	1,7	1,1	1,7	1,1	1,7	1,1
16	574-560	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0
18	277-305	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1
20	430-507	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1
PGT003	435-438	1,8	1,1	1,8	1,1	1,8	1,1	1,8	1,1
PGT002	539-528	1,4	1,0	1,4	1,0	1,4	1,0	1,4	1,0
PGT004	526-491	1,5	1,1	1,5	1,1	1,5	1,1	1,5	1,1
PGT019	294	1,5	1,1	1,5	1,1	1,5	1,1	1,5	1,1
PGT001	591	1,6	1,2	1,6	1,2	1,6	1,2	1,6	1,2
PGT011	808	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0
PGT021	597	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	1,1

Nel resto del territorio bergamasco, appartenente allo scenario di pericolosità sismica locale Z4, per il periodo di oscillazione compreso tra 0,1 e 0,5, le soglie regionali risultano nel complesso verificate ma localmente no. Questa variabilità è legata all'eterogeneità litologica e geotecnica dei depositi che costituiscono il sottosuolo bergamasco. Vista l'esistenza di queste aree localizzate e sparse disomogeneamente sul territorio comunale, per progetti di strutture con periodo di oscillazione compreso tra 0,1 e 0,5, sarà necessario, in fase

progettuale, calcolare il *fattore di amplificazione* tipico dell'area in esame e confrontarlo con i valori limite sopra riportati. Nel caso in cui il *fattore di amplificazione* calcolato puntualmente ecceda le soglie regionali, si dovrà procedere sviluppando con il terzo livello di approfondimento sismico. Sulla base degli aggiornamenti alle direttive tecniche proposti con D.G.R. n 8/7374 del 28 maggio 2008, tale approfondimento dovrà essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

6.4 Terzo Livello: valutazione quantitativa degli effetti di un sisma

L'applicazione del terzo livello di approfondimento prevede un approccio quantitativo alla valutazione della pericolosità sismica locale. Tale approccio potrà essere svolto ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

Il terzo livello di approfondimento dell'analisi sismica si applica obbligatoriamente in fase progettuale nei seguenti casi:

- nelle aree indagate con il secondo livello quando il *Fattore di amplificazione* calcolato è maggiore del valore soglia;
- nelle aree suscettibili a cedimenti e/o liquefazioni: PSL Z2;
- nelle aree di cresta o scarpata (PSL Z3) nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani;
- nelle aree di cresta o scarpata (PSL Z3) se in un intorno significativo dell'area di progetto si rilevino asperità morfologiche ricadenti nella casistica delle PSL Z3 ed il *Fattore di Amplificazione*, calcolato caso per caso, sia maggiore della soglia S_t ;

L'applicazione del terzo livello prevede un approccio quantitativo per la valutazione della pericolosità sismica locale e può essere affrontato ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.

6.4.1 Aree suscettibili a cedimenti e/o liquefazioni (PSL Z2)

Nel territorio di Bergamo sono state individuate due zone con PSL Z2: il bacino di Longuelo e il bacino di Petosino.

L'analisi di terzo livello prevede la valutazione quantitativa dei cedimenti mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e l'impiego di procedure di letteratura scelte a discrezione del professionista incaricato.

6.4.2 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3) e litologica (PSL Z4)

Nelle aree a Pericolosità Sismica Locale Z3 e Z4, nei casi precedentemente elencati, ed in fase progettuale dovrà essere implementato il terzo livello di approfondimento.

L'approccio quantitativo prevede l'utilizzo di metodologie strumentali o numeriche, a discrezione del professionista incaricato.

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 sono indicati a titolo esemplificativo il metodo di Nakamyre (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)).

Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale.

La scelta del metodo e le modalità di applicazione sono a discrezione del professionista incaricato che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare i vantaggi e gli svantaggi dei differenti approcci.

Capitolo 7**Carta dei vincoli (Tav. 12)**

Nella Carta dei Vincoli sono rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle normative in vigore di contenuto prettamente idrogeologico e/o ambientale – paesaggistico.

Nel territorio di Bergamo sono presenti:

- **Vincoli di polizia idraulica:** sul reticolo idrografico identificato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art.96, D.G.R. 7/7868 del 25 gennaio 2002 e della D.G.R. 7/13950 del 1 agosto 2003 ed in fase di approvazione. In questa fase, che definiamo transitoria, il reticolo idrico principale è vincolato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art. 96, mentre il reticolo idrico di pertinenza consortile ed il reticolo idrico minore dal regolamento descritto nelle Norme Tecniche di Attuazione allegate allo studio per il riconoscimento del reticolo idrico minore redatto dal Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca in collaborazione con lo Studio EST e confrontato con i rilievi eseguiti nell'ambito di questo studio.
- **Vincolo idrogeologico:** ha l'obiettivo di prevenire, nell'interesse pubblico, attività ed interventi che possono causare eventuali dissesti, erosioni e squilibri idrogeologici ed è stato istituito dal Regio Decreto n. 3267 del 1923 e successive modifiche ed integrazioni. Le colture e l'utilizzazione dei terreni boscati, nei quali lo sviluppo dell'azione antropica è dal vincolo consentita, sono sottoposte all'osservanza delle modalità stabilite dal regolamento delle prescrizioni di massima e di polizia forestale vigente nella Regione Lombardia. Qualsiasi tipo di intervento, compreso il cambio colturale, da realizzarsi su questi terreni è subordinato a specifica autorizzazione rilasciata dall'autorità forestale territorialmente competente ai sensi dell'art. 7 del R. D. n. 3267/23. Tale strumento di tutela concorre congiuntamente al vincolo ambientale di cui all'art. 146 del D.Lgs. n. 42/04, alla salvaguardia ambientale e alla pianificazione territoriale.
- **Parco dei Colli di Bergamo:** istituito con la L.R. n. 36 del 18 agosto 1977, è un territorio intercomunale all'interno del quale è necessario attenersi alle prescrizioni redatte dal consorzio gestore del parco.
- **S.I.C. Boschi di Astino e dell'Allegrezza:** Sito di Importanza Comunitaria riconosciuto ai sensi della Direttiva Comunitaria 94/43/CEE e recepita con D.p.r. 357/97 (Direttiva Habitat) e successive modifiche ed integrazioni.

- **D.Lgs 29 ottobre 1999, n. 490:** questo decreto tutela i beni culturali ed ambientali a norma dell'art. 1 della Legge 352 dell'8 ottobre 1999; come indicato nell'art. 146, comma 1, lettera c) sono state indicate le aree che fasciano i torrenti Quisa e Morla, per una distanza di 150 m. In queste fasce valgono le prescrizioni riportate nel Decreto Legislativo.

Capitolo 8**Carta di sintesi (Tav. 13)**

La Carta di Sintesi è costituita da una serie di poligoni ognuno dei quali definisce una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di rischio in atto o potenziale, o da vulnerabilità idrogeologica. La sovrapposizione di più ambiti genera poligoni misti con pericolosità determinata da più fattori.

8.1 Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti

- Cr:** aree soggette a crolli di massi; si tratta di pareti di limitate dimensioni che presentano, per la loro verticalità e la geometria del sistema di discontinuità che pervadono l'ammasso roccioso, la possibilità di distacco di blocchi;
- SI1:** aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti di coperture detritiche fini (argilla e limo) su pendii ad elevata acclività;
- SI2:** aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti di coperture detritiche a tessitura mista su pendii mediamente acclivi. Lo spessore della copertura detritica è minore rispetto a *s/1*;
- SI3:** aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti di coperture detritiche a tessitura mista su pendii a bassa acclività;
- Tor:** aree di pertinenza torrentizia le cui dinamiche sono governate dallo scorrimento di acque all'interno di solchi di ruscellamento concentrato. Le criticità sono causate dall'erosione accelerata delle sponde e possibilità di innesco di scivolamenti superficiali dei depositi sia coesivi che incoerenti. Sono comprese le fasce perimetrali le incisioni torrentizie lungo i versanti collinari.
- Appartengono a questa classe anche le aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza di conoidi pedemontane al raccordo versante pianura.

8.2 Caratteristiche geotecniche e geomeccaniche del sottosuolo

Depositi quaternari

- Gt1:** aree con tessitura prevalentemente argilloso limosa e subordinate sabbie e/o ghiaie, con scadenti caratteristiche geotecniche, drenaggio difficoltoso e limitata capacità portante. Appartengono a questo gruppo i bacini lacustri postglaciali di Longuelo e Petosino.
- Gt2:** aree pedecollinari costituite prevalentemente da argille e limi, subordinate ghiaie e sabbie con inclusi litoidi più o meno alterati. Appartiene a questo gruppo la zona pedecollinare di Valtesse.
- Gt3:** aree con consistenti disomogeneità tessiturali laterali e verticali, con capacità portante da scarsa a buona. Questa zona occupa una superficie pari a circa un terzo del territorio comunale compresa la fascia di transizione tra i depositi pedecollinari e quelli dell'alta pianura.
- Gt4:** aree con buone caratteristiche geotecniche e discreta capacità portante, costituite da depositi alluvionali e fluvioglaciali con forti eterogeneità tessiturali. Queste zone sono distribuite nella fascia pedecollinare.
- Gt5:** aree con buone caratteristiche geotecniche e capacità portante. Occupa la parte meridionale del territorio cittadino dove l'assetto stratigrafico ed idrogeologico assumono caratteristiche omogenee e simili a quelle della media pianura bergamasca.

Substrato roccioso

Le litologie affioranti nell'ambito della città di Bergamo presentano nel complesso valori di resistenza a compressione medio alti. Gli ammassi rocciosi sono generalmente compatti, situazioni di particolare stress strutturale sono stati rilevati in affioramenti prossimi a piegamenti e/o faglie.

- Gm1:** aree con caratteristiche geomeccaniche da sufficienti a discrete. Appartengono a questo gruppo gli affioramenti delle Peliti Rosse.
- Gm2:** aree con caratteristiche geomeccaniche da sufficienti a buone. In questo gruppo ricadono tutte le altre formazioni geologiche affioranti sui colli di Bergamo.

Depositi antropici

Rip: aree con consistenti accumuli di materiale riportato.

8.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

In1: aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici con rischio di allagabilità e ristagno delle acque controllata dalla deposizione di sedimenti limosi e dalla presenza di manufatti. Vi sono comprese le fasce limitrofe al corso del torrente Morla sino all'ingresso nel perimetro urbano e l'area del bacino di Petosino lungo il corso del torrente Quisa.

FI aree adiacenti ai corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa.

Capitolo 9**Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano (Tavv. 14)****9.1 Classi di fattibilità geologica**

I dati raccolti ed elaborati nei capitoli precedenti consentono, mediante l'analisi dei vari elementi che caratterizzano l'area in esame, di suddividere il territorio in settori a maggiore o minore vocazione urbanistica.

Questa classificazione fornisce indicazioni generali sugli studi e le indagini necessarie in caso di modifiche alle destinazioni d'uso e sulle opere di mitigazione degli eventuali rischi, al di là di ogni considerazione di carattere economico e/o amministrativo, ma esclusivamente in funzione degli elementi emersi nel corso dell'indagine.

La normativa regionale in materia di pianificazione territoriale adotta quattro classi di fattibilità.

Classe 1 (bianca) - Fattibilità senza particolari limitazioni

La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale..

Classe 2 (gialla) – Fattibilità con modeste limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Per gli ambiti assegnati a questa classe devono essere indicati gli eventuali approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.

Classe 3 (arancione) – Fattibilità con consistenti limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di

pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici od opere di difesa. Il professionista deve in alternativa:

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;
- se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito di territoriale di riferimento (puntuale, quali caduta massi, o relativo ad ambiti più estesi coinvolti dal medesimo fenomeno quali ad es. conoidi, interi corsi d'acqua ecc.) e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione. Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3 e 4 (limitatamente ai casi consentiti) devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa.

Copia delle indagini effettuate e della relazione geologica di supporto deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei Piani attuativi (l.r. 12/05, art. 14) o in sede di richiesta del permesso di costruire (l.r. 12/05, art. 38).

Si specifica che gli approfondimenti di cui sopra, non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale.

Classe 4 (rossa) – Fattibilità con gravi limitazioni

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico

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

Il professionista deve fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, quando non é strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di protezione civile ed inoltre deve essere valutata la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

9.2 La fattibilità geologica nel comune di Bergamo

La suddivisione del territorio nelle diverse classi di fattibilità è accompagnata dai relativi articoli con le prescrizioni a cui attenersi per regolarne l'edificabilità.

È opportuno che tale carta sia consultata insieme a quella dei vincoli per poter avere un quadro esaustivo delle possibilità di variazione di destinazione d'uso.

9.2.1 Classe 2

In questa classe ricadono le zone dove sono state riscontrate modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni.

In relazione alle condizioni di rischio riscontrate sono state individuate due sottoclassi.

- 2a

Occupava la parte più meridionale del territorio della città di Bergamo per una superficie pari a circa un quarto di quella totale.

L'utilizzo dei terreni ricadenti in questa sottoclasse necessita di un minimo accertamento delle proprietà meccaniche ed idrogeologiche. Tali accertamenti potranno essere realizzati mediante indagini geognostiche ad hoc oppure basarsi sulla conoscenza della situazione geologica e idrogeologica locale derivante dall'esperienza del tecnico incaricato.

È previsto infatti che nel caso di costruzioni di modesto rilievo in rapporto alla stabilità dell'insieme opera – terreno, che ricadono in zone già note, la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo possa essere ottenuta per mezzo della raccolta di dati e notizie sui quali possa essere basata la progettazione.

Le richieste di concessione dovranno inoltre contenere un'indicazione quantitativa e qualitativa degli scarichi liquidi prodotti dal fabbricato o dal complesso di cui si richiede la costruzione e un'indicazione progettuale dei sistemi di depurazione corrispondenti e/o dei sistemi adottati per l'eliminazione dei materiali residui e la salvaguardia idrogeologica e dei relativi criteri costruttivi.

- 2b

In questa sottoclasse sono state inserite quelle parti del territorio collinare di Bergamo caratterizzate da una modesta acclività e dalla presenza di roccia affiorante o subaffiorante. L'utilizzo delle aree ricadenti in questa classe necessita dell'accertamento delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso, nonché delle condizioni idrogeologiche del sito e di un suo intorno significativo. Tali accertamenti potranno essere realizzati mediante indagini geognostiche ad hoc oppure basarsi sulla conoscenza della situazione geologica ed idrogeologica locale derivante dall'esperienza del tecnico incaricato, come già previsto per la sottoclasse 2a.

9.2.2 Classe 3

In questa classe ricadono le zone dove sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni per l'entità e la natura dei rischi individuati sia localmente che nelle aree immediatamente limitrofe e per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

In relazione alle condizioni di rischio riscontrate sono state individuate quattro sottoclassi.

- 3a

Alla sottoclasse 3a appartengono, i terreni dell'alta pianura, sulla quale insiste la maggior parte dell'area urbanizzata della città bassa, e della fascia pedecollinare, formati da depositi caratterizzati da consistenti disomogeneità tessiturali laterali e verticali, da scarsa capacità di drenaggio e da una circolazione idrica subsuperficiale, nonché gli accumuli di materiale riportato.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di approfondimenti geognostici necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale.

Agli ambiti che ricadono all'interno delle perimetrazioni Cn nella carta del dissesto P.A.I., si applicano altresì le prescrizioni previste al comma 9 dell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. (parag. 3.4).

- 3b

La sottoclasse 3b comprende quei versanti e/o parti di pendio mediamente acclivi formati da coperture detritiche miste.

L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione di approfondimenti geognostici necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo nonché della situazione idrogeologica locale e di un intorno significativo al fine di procedere all'analisi di stabilità del complesso pendio opera.

Agli ambiti che ricadono all'interno delle perimetrazioni Cn nella carta del dissesto P.A.I., si applicano altresì le prescrizioni previste al comma 9 dell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. (parag. 3.4).

- 3c

La sottoclasse 3c comprende quei versanti e/o parti di pendio acclivi con modesta o assente copertura detritica. Le problematiche principali alle quali bisognerà fare fronte nell'impiego di queste aree sono connesse all'apertura di fronti di scavo in parte in roccia.

L'utilizzo di queste aree è pertanto subordinato alla realizzazione di approfondimenti geognostici necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici compresi quelli dell'ammasso roccioso, nonché delle condizioni idrogeologiche del sito e di un suo intorno significativo, al fine di procedere all'analisi di stabilità del complesso pendio – opera.

Agli ambiti che ricadono all'interno delle perimetrazioni Cn nella carta del dissesto P.A.I., si applicano altresì le prescrizioni previste al comma 9 dell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. (parag. 3.4).

- 3d

La sottoclasse 3d occupa le alluvioni recenti dei Torrenti Morla e Quisa nonché il bacino di Petosino. Si tratta di aree caratterizzate da un sottosuolo limoso argilloso con scarsa

capacità di drenaggio dove possono manifestarsi episodi di allagamento dovuti all'esondazione dei torrenti e/o all'accumulo delle acque drenate dai rilievi circostanti (bacino di Petosino).

L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione di approfondimenti geognostici necessari alla caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale compresa l'analisi del rischio di allagamento al fine di poter predisporre opportuni accorgimenti mitigatori in fase progettuale.

Agli ambiti che ricadono all'interno delle delle perimetrazioni Em nella carta del dissesto P.A.I., si applicano altresì le prescrizioni previste al comma 6bis dell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. (parag. 3.4).

9.2.3 Classe 4

In classe 4 dovrà essere esclusa qualsiasi edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti saranno consentite esclusivamente interventi così come definito all'art. 31 lettere a), b) e c) della 457/78. Sono state individuate quattro sottoclassi principali.

Agli ambiti che ricadono all'interno delle delle perimetrazioni Cn nella carta del dissesto P.A.I., si applicano altresì le prescrizioni previste al comma 9 dell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. (parag. 3.4).

- 4a

La sottoclasse 4a comprende le aree di pertinenza torrentizia con accentuato pericolo idrogeologico dovuto all'azione erosiva delle acque incanalate sul piede dei versanti e al conseguente pericolo di franamento delle sponde.

- 4b

Nella sottoclasse 4b sono inserite le aree potenzialmente soggette a crollo, transito e accumulo di massi.

Interventi tesi al consolidamento dei versanti e/o alla mitigazione del pericolo esistente potranno consentire una modifica del grado di rischio esistente.

- 4c

Nella sottoclasse 4c sono inserite le aree adiacenti ai corsi d'acqua principali che devono restare sgombre da manufatti per consentire l'accessibilità dei mezzi per gli interventi di manutenzione e la realizzazione di eventuali opere di difesa.

Agli ambiti che ricadono all'interno della delle perimetrazioni Em nella carta del dissesto P.A.I., si applicano altresì le prescrizioni previste al comma 6bis dell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. (parag. 3.4).

9.3 Normativa sismica

Nel territorio di Bergamo sono state individuate le classi di Pericolosità Sismica Locale Z2, Z3 e Z4. La classe Z4 è stata ulteriormente suddivisa in due ambiti in relazione alla tipologia del sottosuolo. Le quattro classi descritte sono rappresentate in carta mediante retini "trasparenti".

- **Z4 L3:** zona soggetta ad amplificazione litologica con obbligo di applicazione del 3° livello di approfondimento sismico;
- **Z4 L2-3:** zona soggetta ad amplificazione litologica con obbligo di verifica del valore soglia ed, eventualmente, di applicare il 3° livello di approfondimento sismico;
- **Z3:** zona di cresta e scarpata morfologica;
- **Z2:** zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti con obbligo di applicazione del 3° livello di approfondimento sismico.

Per ciascuna classe sono elencati gli approfondimenti necessari in caso di modifiche alle destinazioni d'uso e le opere di mitigazione dagli eventuali rischi.

9.3.1 Classe Z2

Nello scenario Z2 è necessario applicare il terzo livello di approfondimento sismico per la valutazione quantitativa dei cedimenti mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e l'impiego di procedure note in letteratura a discrezione del professionista incaricato.

9.3.2 Classi Z3 e Z4

Negli scenari Z3 e Z4 dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento sismico nei seguenti casi:

- aree di cresta o scarpata (PSL Z3) nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani;

- aree di cresta o scarpata (PSL Z3) se in un intorno significativo dell'area di progetto si rilevino asperità morfologiche ricadenti nella casistica delle aree a PSL Z3 ed il *Fattore di Amplificazione*, opportunamente calcolato, risulti maggiore della soglia *St* (tabelle 11 e 12);
- aree soggette ad amplificazione litologica (PSL Z4 L3) ed appartenenti ai terreni dell'Unità di Brembate ed ai depositi postglaciali del Bacino di Longuelo;
- aree soggette ad amplificazione litologica (PSL Z4 L2-3) nel caso in cui il *Fattore di Amplificazione*, opportunamente calcolato, risulti maggiore del valore soglia regionale (tabella 11).

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.



Dott. Geol. Massimo Elitropi

Dott. Geol. Renato Caldarelli

