

COMUNE DI CAPRIATE SAN GERVASIO

PROVINCIA DI BERGAMO

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

DOCUMENTO DI PIANO E PIANO DELLE REGOLE

**Componente geologica, idrogeologica e sismica
RELAZIONE ILLUSTRATIVA**

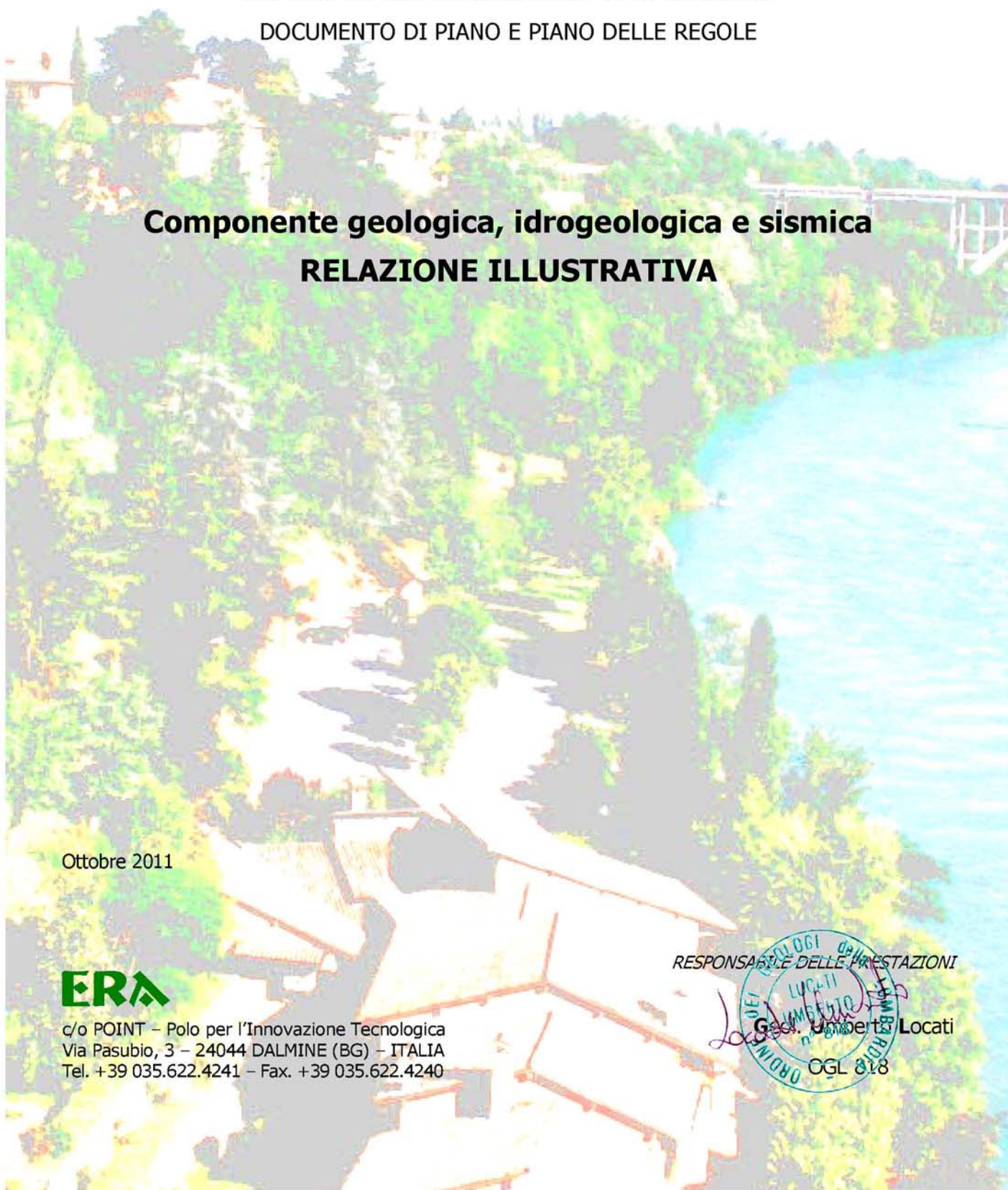
Ottobre 2011

ERA

c/o POINT - Polo per l'Innovazione Tecnologica
Via Pasubio, 3 - 24044 DALMINE (BG) - ITALIA
Tel. +39 035.622.4241 - Fax. +39 035.622.4240

RESPONSABILE DELLE PRESTAZIONI

Geol. Umberto Locati
CGL 818



INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO – TERRITORIALE.....	5
3.	LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI.....	7
3.1	Lineamenti geomorfologici ed elementi geopedologici	7
3.1.1	Forme dovute all'azione fluviale.....	9
3.1.2	Forme dovute all'azione della gravità	12
3.1.3	Forme dovute all'azione antropica.....	13
3.1.4	Sistema di terrazzi – Unità fisiografiche	17
4.	LINEAMENTI GEOLITOLOGICI	21
4.1	Metodologie di studio	25
4.2	Bacino del Brembo prewürmiano.....	27
4.2.1	Ceppo del Brembo.....	27
4.2.1.1	Cave Di Ceppo	30
4.3	Bacino dell'Adda	32
4.3.1	Depositi fluvioglaciali pre – würmiani "Unità di Medolago".....	32
4.3.2	Depositi fluvioglaciali würmiani "Unità di Cantù".....	35
4.4	Unità posglaciale: depositi legati a paleo – torrenti (sabbie, limi ed argille) divaganti sul pianalto	36
4.5	Unità posglaciale: Depositi fluviali di pertinenza del fiume brembo	38
4.6	Unità posglaciale: Depositi fluviali di pertinenza del fiume Adda	39
4.7	Unità posglaciale: Depositi colluviali	39
4.8	Unità posglaciale: Depositi di conoide fluvio – colluviale	40
4.9	Unità posglaciale: Depositi di degradazione delle scarpate.....	40
4.10	Unità posglaciale: Depositi alluvionali attuali terrazzati	41
4.11	Unità posglaciale: Depositi alluvionali attuali.....	41
4.12	Materiali di riporto	42
5.	LINEAMENTI IDROGEOLOGICI.....	43
5.1	Caratterizzazione climatica.....	43
5.1.1	Precipitazioni medie	44
5.1.2	Precipitazioni di breve durata e di forte intensità	46
5.1.3	Temperature	52
5.1.4	Bilancio idrico	54
5.1.5	Regime anemologico	56
5.2	Idrografia superficiale	59
5.3	Idrogeologia.....	76
5.3.1	Unità idrogeologiche.....	76
5.3.2	Permeabilità e vulnerabilità degli acquiferi	78
5.3.3	Caratteristiche della falda.....	80
5.3.4	Qualità delle acque.....	82
5.3.5	Facies idrochimiche	88
6.	PERICOLOSITÀ E RISCHIO SISMICO	90
6.1	Inquadramento tettonico.....	90
6.1.1	Assetto tettonico della pianura padana	91
6.2	Inquadramento sismologico.....	93
6.2.1	Cenni di sismicità storica e strumentale	93
6.2.2	Quadro normativo nazionale	95
6.3	Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito: aspetti metodologici	97
6.3.1	Aspetti generali.....	97
6.3.1.1	Effetti di amplificazione sismica locale	98
6.3.1.2	Effetti di instabilità.....	100
6.3.2	Analisi e valutazione degli effetti sismici secondo la normativa regionale	100
6.3.2.1	Primo livello	100
6.3.2.2	Secondo livello	102
6.3.2.2.1	Amplificazione litologica.....	102
6.3.2.2.2	Amplificazione topografica	106
6.3.2.3	Terzo livello	110

6.3.2.3.1	Effetti di instabilità	111
6.3.2.3.2	Effetti di cedimenti e/o liquefazioni	112
6.3.2.3.3	Effetti di amplificazione morfologica e litologica	112
6.4	Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito	114
6.4.1	Primo livello.....	114
6.4.1.1	Cartografia della Pericolosità Sismica Locale.....	115
6.4.2	Secondo livello.....	115
6.4.2.1	Prova MASW01	116
6.4.2.2	Prova MASW02	118
6.4.2.3	Mappa di sintesi	119
7.	SINTESI DEI VINCOLI A CARATTERE PRETTAMENTE GEOLOGICO	120
8.	CARTOGRAFIA DI SINTESI	122
9.	CARTA DI FATTIBILITÀ	126
10.	CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA PAI	131
11.	BIBLIOGRAFIA.....	132

Allegati

Allegato A: Norme Geologiche Di Piano

Tavole allegate

Tavola ID	Oggetto	Scala
01	Lineamenti geomorfologici	1:5.000
02	Lineamenti geologici	1:5.000
03	Lineamenti idrogeologici	1:5.000
04	Caratterizzazione geologico – tecnica	1:5.000
05	Elementi di pericolosità sismica locale	1:5.000
06	Sintesi dei vincoli normativi a carattere prettamente geologico	1:5.000
07	Sintesi degli elementi tecnici	1:5.000
08a	Fattibilità geologica delle azioni di piano (Sezione A)	1:2.000
08b	Fattibilità geologica delle azioni di piano (Sezione B)	1:2.000
08c	Fattibilità geologica delle azioni di piano (Sezione C)	1:2.000
08d	Fattibilità geologica delle azioni di piano (Sezione D)	1:2.000
09	Fattibilità geologica delle azioni di piano	1:10.000



Gestione dei diritti (Rights Management)

CC – BY – NC – SA

REVISIONE	DATA	OGGETTO
00	Ottobre 2011	Emissione
01		
02		
03		

Estratto da metadata standard ISO15836/Dublin Core (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>)

La responsabilità per l'utilizzo dei dati contenuti nel presente documento per qualsiasi altra finalità ricade esclusivamente sull'utilizzatore dei dati stessi.

1. PREMESSA

Il presente documento, parte integrante del PGT di Capriate San Gervasio, rappresenta l'aggiornamento dello studio geologico allegato al previgente strumento di pianificazione locale (PRG).

L'aggiornamento dell'esistente studio geologico è reso obbligatorio dalla LR 12/2005 e di relativi criteri attuativi di cui alla DGR VIII/7374/2008 "*Aggiornamento dei <Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'articolo 57 della LR 11 marzo 2005 n. 12>*", che ha recepito le disposizioni in materia di microzonazione sismica contenute nel DM 14 gennaio 2008 "*Norme Tecniche per le Costruzioni*".

In particolare la DGR VIII/7374/2008 ha recepito le disposizioni nazionali in campo sismico previste dal DM 14 gennaio 2008, già introdotte dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e fatte proprie dalla Regione Lombardia con la DGR VII/14964/2003.

Oltre ad altri aspetti, l'obiettivo fondamentale della DGR VIII/7374/2008 (che sostituisce in parte la DGR VIII/1566/2005) è l'individuazione e la delimitazione di zone del territorio comunale (microzonazione sismica) alle quali vengono attribuiti parametri e prescrizioni finalizzati alla riduzione del rischio sismico da utilizzare nella pianificazione urbanistica, nella progettazione di manufatti e nella messa in sicurezza di edifici esistenti.

Lo studio geologico esistente ed allegato al PRG, è stato redatto ai sensi della LR 41/1997 – DGR VI/37918/1998 – DGR VI/40996/99 dallo scrivente nel 2003, successivamente integrato sulla base di specifiche richieste contenute nella nota del 05 agosto 2003, n. Z1.2003.0033964, della Struttura Geologia per la Pianificazione – Unità Organizzativa Difesa del Suolo della Regione Lombardia. Pertanto, ai sensi della DGR VIII/7374/2008, il Comune è tenuto ad aggiornare solo parzialmente lo Studio Geologico per quanto riguarda gli aspetti di prevenzione del rischio sismico.

L'aggiornamento riguarda i seguenti elementi:

- ◆ Zonazione della Pericolosità Sismica Locale: sull'elaborato cartografico sono riportati gli areali delle diverse situazioni tipo, in grado di determinare gli effetti sismici locali che possono alterare, amplificandoli, gli effetti di un sisma di riferimento (approfondimento di I° LIVELLO). Sugli scenari di pericolosità sismica locale, riportati nella Tabella 1 – Allegato 5 – della DGR VIII/7374/2008, se individuati in ambito comunale, vengono effettuati successivamente gli approfondimenti di II° LIVELLO o III° LIVELLO, secondo le procedure stabilite dalla DGR stessa.
- ◆ Carta di Fattibilità geologica delle Azioni di Piano: si tratta di un aggiornamento della carta di fattibilità già approvata dalla Regione Lombardia, sulla quale sono riportati con appositi retini "trasparenti" le aree a pericolosità sismica lo-

cale soggette ad amplificazioni sismiche, distinguendo quelle con Fattore di Amplificazione (Fa) maggiore al valore soglia comunale da quelle con Fa minore al valore soglia comunale. La procedura di calcolo del Fa è fissata dall'allegato 5 alla DGR VIII/7374/2008. Tale sovrapposizione, come stabilito dalla norma, non comporta un cambio di classe di fattibilità, ma fornisce indicazioni su dove risulta obbligatorio utilizzare, in fase di progettazione, lo spettro di risposta elastico previsto dal DM 14 gennaio 2008, oppure dove sia necessario realizzare preventivamente gli studi di III° Livello (fermo restando la possibilità di utilizzare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore).

Modifiche della fattibilità sono state effettuate per adeguarla al nuovo assetto normativo e geomorfologico (es. sulla nuova carta di fattibilità, come stabilito dalla norma, non sono indicate le aree di rispetto dei pozzi / sorgenti ad uso potabile ed asserviti a sistemi acquedottistici pubblici).

La riedizione dello Studio Geologico / fattibilità non ha implicato l'aggiornamento del quadro del dissesto con legenda uniformata PAI in quanto il comune di Capriate San Gervasio non risulta tra i comuni di cui alla DGR VII/7365/2001 o alla DGR VIII/1566/2005 assoggettati all'iter di cui all'articolo 18 delle NdA. del PAI.

- ♦ Le Norme Geologiche di Piano: la normativa è stata riformulata sulla base delle recenti indicazioni normative e con riferimento al Piano delle Regole ad al Documento di Piano del PGT.

Considerando inoltre che lo Studio Geologico allegato al PRG è stato realizzato nel 2003, come previsto dalla DGR VIII/7374/2008, si è inoltre aggiornata/prodotta la seguente cartografia:

- ♦ Cartografia dei vincoli normativi a carattere prettamente geologico: tale cartografia è redatta per tutto il territorio comunale alla scala dello strumento urbanistico comunale. Sono rappresentate su questa carta le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore di contenuto prettamente geologico.
- ♦ Cartografia di sintesi: la carta di sintesi presente nello Studio Geologico allegato al PRG è stata realizzata riportando i diversi fenomeni, senza alcuna individuazione di poligoni con pericolosità / vulnerabilità omogenea. Considerando che, ai sensi della DGR VIII/7374/2008, la carta di sintesi deve rappresentare aree omogenee dal punto di vista della pericolosità / vulnerabilità riferita allo specifico fenomeno, questa è stata realizzata attraverso l'individuazione di areali che definiscono porzioni di territorio caratterizzati da omogenee pericolosità geologico – geotecnica e vulnerabilità idraulica ed idrogeologica. Si è quindi proceduto alla riedizione della cartografia di sintesi secondo i nuovi criteri.

Si è inoltre proceduto alla riedizione delle altre cartografie presenti nello Studio Geologico allegato al PRG e ritenute congruenti con le specifiche della DGR VIII/7374/2008, al fine di adeguarle alle nuove conoscenze scientifiche.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO – TERRITORIALE

Il territorio del Comune di Capriate San Gervasio si trova nella porzione meridionale dell'Isola Bergamasca, alla confluenza tra i fiumi Adda e Brembo. L'Isola Bergamasca occupa il settore centro occidentale della Provincia di Bergamo; è delimitata ad ovest dal Fiume Adda, ad est dal Fiume Brembo, a sud dalla confluenza dei due fiumi ed a nord dal limite amministrativo delle Comunità Montane Valle Imagna e Valle San Martino.

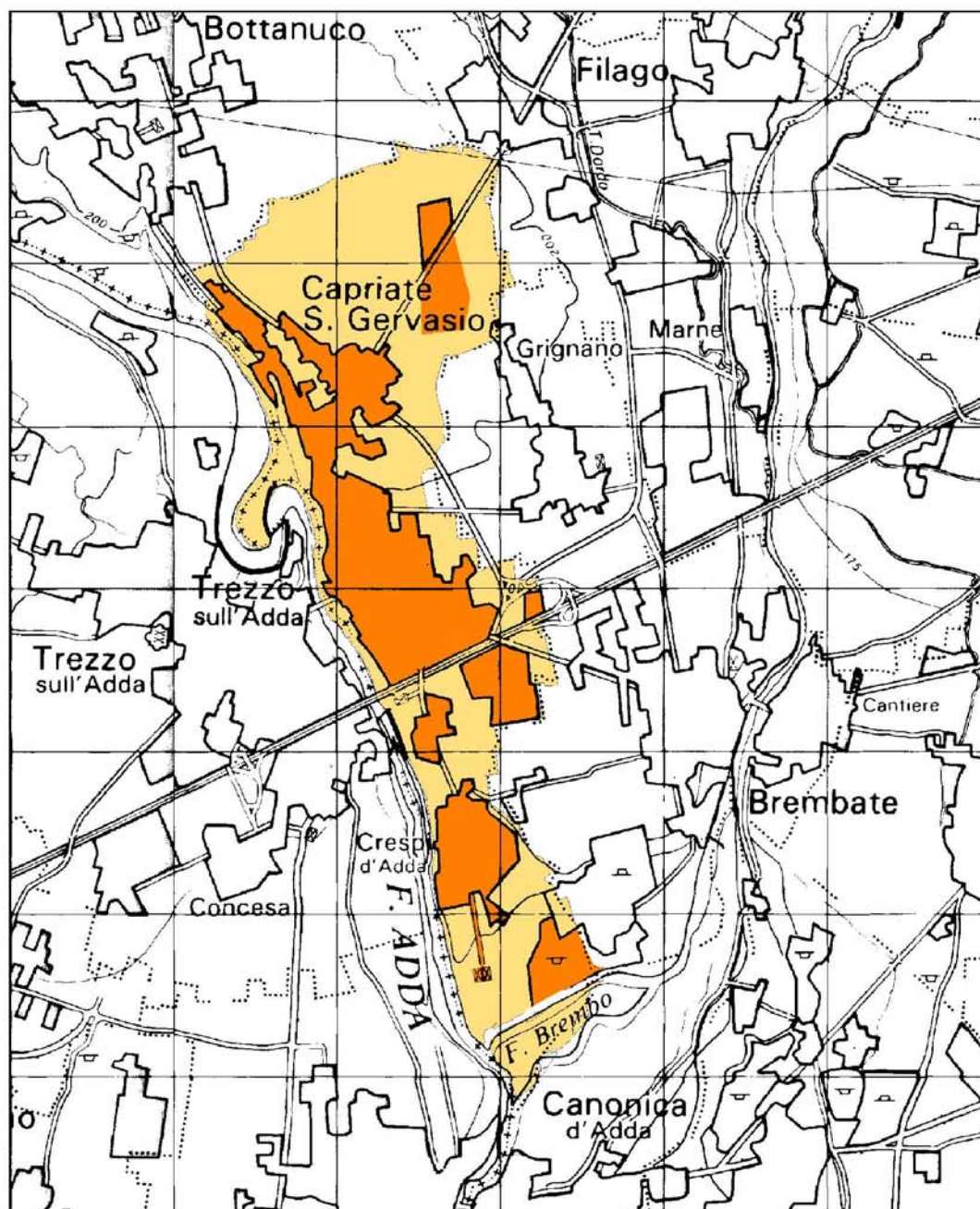


Figura 1: Territorio comunale di Capriate San Gervasio. In marrone sono riportate le principali aree la cui morfologia è stata totalmente od in parte modificata dall'intervento antropico (riproduzione non in scala).

L'area complessiva del territorio dell'Isola Bergamasca è di 12.267 ettari e si sviluppa su un dislivello di 576,2 m (quota massima data dal M. Canto 708 m slm e quota minima in corrispondenza della confluenza tra Adda e Brembo di 131,8 m slm).

Il territorio del Comune di Capriate San Gervasio si sviluppa tra una quota massima di 215,80 m slm, nei pressi della strada vicinale della Massatica e del Laghetto, e una quota minima di 131,80 m slm, alla confluenza dei fiumi Adda e Brembo. Il dislivello massimo è quindi di 84 metri. La superficie complessiva comunale si colloca all'ottavo posto all'interno del comprensorio dell'Isola Bergamasca ed è di 583 ettari (5,83 km²).

I confini amministrativi del territorio comunale sono a nord Bottanuco e Filago, ad est Brembate e Filago, mentre ad ovest ed a sud sono costituiti dal fiume Adda e dal fiume Brembo. Dal punto di vista insediativo Capriate San Gervasio si compone di tre nuclei principali: due più antichi (Capriate e San Gervasio) ed uno più recente, legato ad un insediamento industriale del diciannovesimo secolo (insediamento di Crespi d'Adda).

Il territorio oggetto di studio fa parte del settore più settentrionale ed elevato della Pianura Padana; l'aspetto morfologico e litologico è quello tipico di un bacino sedimentario ai margini di una catena montuosa nel quale, durante gli eventi fluvio-glaciali e fluviali, sono depositati materiali incoerenti provenienti dalla sua progressiva erosione. In tale ambiente litogenetico si formano quindi estesi corpi sedimentari di natura ghiaioso – sabbiosa aventi spessore notevole. La forma superficiale di questi corpi è di grandi conoidi a debole angolo d'inclinazione con apice allo sbocco delle valli principali, mentre si presentano in coalescenza nelle porzioni inferiori della pianura padana. Nelle zone interposte tra questi grandi conoidi si possono rinvenire depositi argillosi e limosi, tipici di un ambiente sedimentario a bassa energia.

Dal periodo post – glaciale questi conoidi sono inattivi ed in questo periodo predomina l'erosione fluviale con formazione di diversi ordini di terrazzi.

L'aspetto dell'area in esame è, pertanto, pianeggiante e caratterizzato dalla presenza di vasti terrazzi alluvionali d'età quaternaria formati dai fiumi Adda e Brembo, ed aventi andamento grossomodo nord – ovest sud – est per i terrazzi collegati all'azione del fiume Adda e nord – est sud – ovest per i terrazzi collegati all'azione del fiume Brembo.

3. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

Gli studi specifici di carattere geologico – geomorfologico nelle aree della Pianura Padana sono stati a lungo trascurati e, solamente, dalla metà degli anni '80 si sono realizzati progetti di ricerca finalizzati allo studio in dettaglio di tali aree. Da poco tempo, infatti, nuove metodologie si sono affinate e numerose indagini si sono quindi intraprese, in particolare con lo sviluppo della "Geologia del Quaternario", dei progetti relativi alla cartografia geomorfologica delle aree di pianura e della cartografia del progetto CARG.

Le prime indagini condotte in aree di pianura risalgono alla fine del '800 e condotte da ricercatori che ne cartografarono con precisione le unità morfologiche e litologiche, pur non comprendendone i meccanismi evolutivi che le hanno generate od, in seguito, rielaborate. Tra questi ricercatori si possono ricordare Stoppani (1874), Taramelli (1876) e Stella (1895). Il lavoro di quest'ultimo ricercatore assume grande importanza perché per primo tentò di correlare i diversi litotipi presenti in pianura, correlando i terrazzi con i cicli di glaciazione e deglaciazione. Ha inoltre tentato anche una correlazione tra i depositi presenti nelle aree di pianura con i depositi e gli anfiteatri morenici pedemontani.

Un incremento negli studi morfologici sulle aree di pianura si è verificato a partire dagli anni '60 e '70. In questo periodo s'inizia ad inquadrare correttamente il problema dell'evoluzione del bacino padano correlando i vari ordini di terrazzi dell'alta pianura lombarda, con gli eventi glaciali principali, secondo lo schema di Penck & Bruckner (1909). Di questo periodo possono essere citati diversi Autori che hanno prodotto pubblicazioni di un certo interesse: Gabert (1962), Venzo (1957, 1961, 1965), Petrucci & Tagliavini (1969) e Ugolini & Orombelli (1968).

Numerosi studi più recenti hanno interessato le zone di pianura. Tra gli Autori si possono ricordare: Cremaschi (1987) cui si deve una completa classificazione dei suoli di pianura e una ben articolata interpretazione dell'evoluzione ambientale; Marchetti (1992) che fornisce un'interpretazione geomorfologica dell'intera Pianura Padana Centrale.

3.1 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI ED ELEMENTI GEOPEDOLOGICI

Le carte geomorfologiche ad indirizzo applicativo sono prodotte essenzialmente al fine di valutare la pericolosità dei processi morfogenetici che possono determinare situazioni di rischio (Pellegrini et al., 1993).

Nella redazione della carta geomorfologica (Tavola 01) ci si è avvalsi della metodologia suggerita da Castiglioni et al. (1986), ampiamente collaudata nei rilievi d'aree di pianura. La legenda utilizzata si basa su indicazioni fornite dal gruppo di lavoro coordinato dal Prof. G. B. Castiglioni, dell'Università di Padova, nell'ambito del Progetto Finalizzato "Geomorfologia ed evoluzione recente della Pianura Padana".

Notevole importanza nell'indagine geomorfologica sul territorio comunale di Ca-

priate San Gervasio è data alla fotointerpretazione che permette di ottenere dati di base indispensabile per la fase successiva di verifiche sul campo.

L'indagine fotogrammetrica è stata condotta sulla base delle foto aeree in bianco e nero eseguite il 17 Marzo 1992 dall'Impresa Rossi srl di Brescia a scala 1:8.000 per conto del Consorzio di Bonifica della Bassa Pianura Bergamasca.

La fotointerpretazione ha permesso di evidenziare, in prima approssimazione, numerosi elementi caratteristici del territorio, come ad esempio variazioni dei toni di colore del suolo, le tessiture, i patterns e la densità di drenaggio, i tracciati fluviali (attuali ed abbandonati), la vegetazione oltre che i limiti delle singole unità fisiografiche.

Il successivo rilevamento sul terreno è utilizzato sia per tarare le indagini eseguite con l'ausilio delle foto aeree, che per approfondire la conoscenza dei rapporti tra gli elementi individuati.

Le forme individuate sono suddivise in funzione dell'agente geomorfologico che le ha generate, al diverso tipo di processo morfogenetico ed al suo attuale grado d'attività.

Si sono distinte forme legate all'azione fluviale, all'azione antropica ed a quella della gravità. Alle forme riconosciute è attribuito poi un grado d'attività individuando i fenomeni attivi, quiescenti ed inattivi secondo le caratteristiche di dinamica di evoluzione sotto riportata.

Le forme attive sono ancora in evoluzione, collegate quindi a processi morfogenetici ancora in atto all'epoca del rilevamento e quelle dovute a processi non in atto ma ricorrenti a ciclo breve.

Le forme quiescenti, pur non essendo in evoluzione al momento del rilievo, sono in grado di riattivarsi in seguito ad eventi meteorologici particolari od eccezionali. Spesso però queste forme possono riattivarsi anche con un modesto intervento antropico.

Infine vi sono le forme inattive, per le quali si ritiene sostanzialmente completata l'evoluzione. Sono in genere collegate a condizioni morfoclimatiche diverse da quelle attuali, perciò difficilmente riattivabili.

Nel territorio comunale di Capriate San Gervasio le forme riconosciute sono connesse prevalentemente all'azione delle acque superficiali (in particolare alle acque non incanalate) che con la loro azione d'erosione, di scorrimento e di deposito hanno modellato buona parte della superficie.

Oltre all'individuazione delle forme e degli agenti morfogenetici responsabili della loro creazione, si sono individuate anche diverse unità fisiografiche, ovvero il sistema di terrazzi fluviali d'importanza locale che caratterizzano il territorio comunale. Le unità fisiografiche sono delle aree omogenee per epoca di formazione e caratteristiche geomorfologiche.

Le forme morfologiche riconosciute all'interno del territorio comunale di Capriate San Gervasio sono le seguenti:

3.1.1 Forme dovute all'azione fluviale

Questa sezione comprende le forme dovute all'azione d'erosione e di deposito delle acque superficiali. Nell'area in esame i processi fluviali sono rilevanti. Sulla base della legenda della carta geomorfologica predisposta, si sono distinte le seguenti forme:

- ♦ orli di scarpata d'erosione fluviale (distinti in attivi, quiescenti ed inattivi);
- ♦ alvei fluviali (distinti in attivi, quiescenti ed inattivi);
- ♦ paleo – alvei;
- ♦ conoidi di deiezione (distinti in attivi, quiescenti ed inattivi).

Orli di scarpata d'erosione fluviale

L'erosione fluviale può manifestarsi sia com'erosione in profondità all'interno del letto sia come erosione laterale. Quest'ultima provoca lo scalzamento delle sponde, soprattutto durante eventi di piena di una certa importanza, ed elabora le scarpate fluviali facendole progressivamente arretrare.

Nell'area in esame gli orli di scarpata fluviale hanno un'altezza molto variabile da pochi decimetri ad alcune decine di metri. Si sono distinti in attivi, quiescenti ed inattivi.

Gli orli di scarpata d'erosione fluviale attivi bordano l'alveo attuale dei principali corsi d'acqua, Adda e Brembo, e mostrano un andamento prevalente N – S per il primo e ENE – OSO per il secondo.

Da evidenziare che lungo il corso dell'Adda, gli orli fluviali attivi sono presenti solo nel tratto posto a valle dello sbarramento ad uso idroelettrico presente sulla penisola di San Gervasio. La presenza dello sbarramento diminuisce la velocità dell'acqua nel tratto a monte, rappresentando quindi un elemento stabilizzatore nei confronti dell'erosione di sponda e di fondo.

Nel caso che sia rimosso lo sbarramento, o ne sia modificato il regime di gestione delle acque, è possibile che una parte delle sponde poste a monte, considerate ai fini del presente lavoro inattive, si riattivino.

Orli di scarpata d'erosione fluviale quiescenti, cioè riattivabili in caso d'eventi climatici particolari, sono ubicati lungo il piccolo torrente posto a valle dell'insediamento industriale della Fillattice spa.

In caso di riattivazione, l'erosione è, in genere, limitata per la presenza di vegetazione arbustiva ed arborea lungo le sponde. Localmente, dove la vegetazione arborea o detriti grossolani sono presenti all'interno dell'alveo e, rappresentano quindi degli ostacoli per lo scorrimento delle acque, l'erosione delle sponde diventa pronunciata e può provocare fenomeni d'instabilità delle sponde.

Orli di scarpata d'erosione fluviale inattivi sono presenti lungo le principali direttrici dell'Adda e del Brembo. Sono presenti su più livelli e rappresentano la testimonianza fossile dell'area di divagazione dei due fiumi sui preesistenti sedimenti.

Piccoli orli di terrazzo inattivi si rinvencono nella porzione settentrionale del territorio comunale, e rappresentano le forme fossili della divagazione di corsi d'acqua sul pianalto in epoche diverse, anche precedenti all'evento glaciale würmiano.

L'orlo fluviale inattivo posto poco a monte di Via Grignano, rappresenta il limite dell'azione erosiva würmiana sui preesistenti sedimenti. La forma si presenta poco conservata a causa dell'azione fluviale che ha in seguito inciso l'orlo, raccordando il pianalto con l'area posta più a sud, ubicata quota inferiore e d'età würmiana (si veda Tavola 01).

All'interno dell'abitato di Capriate è presente un'area di forma allungata parallela a Via Crespi delimitata, ad est ed ad ovest, da piccoli orli di terrazzo la cui continuità verso nord non è possibile determinare a causa della presenza dell'urbanizzato. Questi orli di terrazzo paiono correlabili all'azione di un piccolo torrente avente direzione circa nord – sud.

L'orlo di terrazzo fluviale inattivo, ubicato a nord – est rispetto a Crespi d'Adda, delinea la massima divagazione del fiume Adda sui preesistenti sedimenti d'età würmiana. Inferiormente a quest'orlo di terrazzo sono riconoscibili forme, anche complesse, legate all'azione fluviale successiva all'ultimo periodo glaciale.

Alvei fluviali

Rappresentano l'evidenza morfologica dell'azione di degrado legata ad acque incanalate.

Si presentano più o meno marcati in funzione del regime idraulico, alle litologie in cui scorrono, alla presenza di vegetazione sulle sponde, all'esposizione, alla quantità di trasporto solido, ecc.

Nell'area in esame si sono distinti alvei attivi, quiescenti ed inattivi.

Alvei attivi sono quelli dei fiumi Adda e Brembo.

L'Adda presenta sempre acqua in alveo e le portate sono artificialmente mantenute costanti. L'azione erosiva si sviluppa prevalentemente dallo sbarramento idroelettrico presente sulla penisola di San Gervasio verso valle ed alcuni tratti a sud del ponte dell'autostrada. A monte è prevalente invece l'azione di deposito.

Il Brembo ha un regime francamente torrentizio con forti variazioni delle portate durante l'anno. Nel tratto di Capriate San Gervasio prevale l'azione di deposito/trasporto rispetto all'erosione con formazione, nella sua immissione in Adda, di barre fluviali variamente stabilizzate e vegetate.

Alvei quiescenti sono localizzati nella zona del pianalto. Normalmente, a causa della piccola dimensione dei bacini afferenti, non contengono acqua e la riattivazione avviene, con portate elevate per brevissimi periodi, durante eventi meteorici intensi. Questi alvei sono soggetti prevalentemente ad erosione e trasporto di materiali fini provenienti dall'erosione laminare dei suoli del pianalto. Il deposito dei materiali fini avviene, nel caso dell'alveo quiescente ubicato a sud – ovest della Fillattice spa, nella zona posta a nord di via Grignano.

Unico alveo inattivo individuato è ubicato a nord dell'urbanizzato di via Da Vinci. Questo alveo risulta parzialmente ostruito da apporti di materiali grossolani per renderlo percorribile da mezzi agricoli. L'innalzamento del letto ha fatto sì che questo si trovi in alcuni tratti, a una quota superiore delle aree circostanti. In caso di forti precipitazioni l'acqua che si raccoglie in questo bacino, non avendo una via preferenziale di ruscellamento, scorre lungo la zona depressa in corrispondenza del paleo – alveo ubicato poco più ad ovest ed adibita attualmente ad uso agricolo.

Paleo – alvei

Si tratta di tracce più o meno evidenti di alvei fluviali fossili che evidenziano variazioni dell'andamento dell'idrografia nel tempo sulla superficie topografica.

Sono stati differenziati dagli alvei fluviali inattivi di cui al punto precedente, perché non più riconoscibile esattamente l'alveo entro cui divagava l'acqua.

Si distinguono su base morfologica, manifestandosi come forme depresse a vario grado di sinuosità e delimitate da orli di terrazzo più o meno conservati. In corrispondenza agli alvei abbandonati si trovano spesso sedimenti limosi o sabbiosi coperti da suoli meno evoluti rispetto alle aree limitrofe. Talora in questi paleo – alvei, essendo più depressi rispetto alle aree limitrofe, s'impostano alvei fluviali quiescenti di più ridotte dimensioni. Il regime fluviale associato a questi paleo – alvei parrebbe di tipo braided.

Nella porzione nord del Comune di Capriate San Gervasio è evidente con continuità, un paleo – alveo che dalla zona ubicata ad ovest della Cascina del Merlo termina in corrispondenza dell'orlo di terrazzo ubicato a nord di via Grignano. Si presenta parzialmente conservato a causa dell'azione fluviale che si è impostata successivamente, la quale si discosta leggermente rispetto al paleo – alveo interferendo così con questo solo in una zona ubicata immediatamente ad est rispetto a via L. Da Vinci. La formazione di questo paleo – alveo potrebbe, almeno in parte, risalire ad attività fluviale pre – würmiana o würmiana.

Altre evidenze di paleo – idrografia si rinvencono poco a nord di via Grignano. In questo caso l'azione fluviale ha eroso parzialmente l'orlo di terrazzo formando delle rientranze dove il terrazzo più meridionale si raccorda con il pianalto. Il raccordo è formato da sedimenti provenienti dall'erosione del pianalto e dalla degradazione dell'orlo di terrazzo, avvenuta attraverso una limitata e locale attività fluviale.

Nella parte terminale di questi materiali di degradazione della scarpata, le acque incanalate, non avendo una linea di massima pendenza da seguire, hanno prodotto diverse piccole depressioni allungate quasi totalmente cancellate dalle urbanizzazioni che si sviluppano lungo via Colombo – Gallilei e via Barbarigo.

Nell'abitato di Capriate è presente l'unico paleo – alveo ubicato su sedimenti d'età würmiana. Ha andamento approssimativamente nord – sud ed è delimitato da due orli di terrazzo poco pronunciati. Il paleo – alveo risulta evidente da via Pelli-co fino alla sua intersezione con l'Autostrada A4. La testata a nord sembra delimi-

tata da riporti di origine antropica, mentre la parte meridionale sembra confluire in Adda in una zona ubicata poco più a monte del ponte dell'Autostrada A4.

Conoidi di deiezione

L'aspetto generale dei conoidi di deiezione è di forme convesse, che si aprono a ventaglio (a porzione di cono) in zone dove vi è un brusco cambiamento di pendenza. Il brusco cambiamento di pendenza provoca un'immediata diminuzione della capacità di trasporto dell'acqua favorendo quindi la sedimentazione dei materiali. Tipicamente si ha quindi, in funzione della progressiva perdita d'energia dell'acqua, una diminuzione della granulometria dei depositi dalle porzioni più prossimali rispetto a quelle più distali del conoide.

Quando la conoide è attiva i nuovi detriti vengono distribuiti sulla superficie per mezzo di frequenti spostamenti di alveo, secondo i raggi di un ventaglio, interessando tutta la superficie.

Le conoidi di deiezione si distinguono da quelle alluvionali per la modalità di trasporto dei sedimenti: nelle conoidi di deiezione si ha un trasporto di materiali con modalità intermedie tra fluviale e gravitativa.

Nell'area in esame si sono distinte conoidi di deiezione attive, quiescenti ed inattive.

È considerata conoide di deiezione attiva quella presente poco a nord della penisola di San Gervasio, in riva al fiume Adda. In questa zona confluiscono le acque provenienti dal piccolo bacino idrografico posto a nord – ovest di via Tiraboschi e presumibilmente le acque provenienti dal bacino idrografico posto a monte di Via Orefici – Via Mameli.

A monte del conoide attivo, tra via Gandolfi e via Trento sul primo terrazzo del fiume Adda, è presente una conoide di deiezione in parte quiescente ed in parte inattiva. La parte quiescente è, in questo momento, in erosione a causa del ridotto apporto di sedimentario dovuto all'artificializzazione del corso d'acqua. In questa porzione sono anche presenti forme derivanti dall'azione antropica esplicatesi attraverso l'apporto di materiali.

L'erosione delle sponde può provocare, a lungo periodo, instabilità che possono interessare via Gandolfi – via Costa e le opere ed abitazioni realizzate in prossimità.

3.1.2 Forme dovute all'azione della gravità

Questa sezione comprende le forme dovute all'azione della gravità. Nell'area in esame, i processi gravitativi sono presenti localmente lungo la scarpata fluviale dell'Adda ed interessano la formazione del "Ceppo". Unici fenomeni gravitativi riconosciuti in Comune di Capriate San Gervasio è la caduta massi.

Caduta massi

In questo caso la massa di roccia, proveniente dalla formazione del "ceppo", si muove prevalentemente nell'aria. I movimenti della porzione di roccia in movi-

mento comprende la caduta libera, il movimento a salti e rimbalzi ed il rotolamento. A volte, per i distacchi più grossi, si hanno anche movimenti di tipo rotazionale. A tal proposito è da segnalare una citazione storica, del 25 agosto del 1908, dove è segnalato che nel comune di Capriate d'Adda è avvenuto un crollo della parete rocciosa con distruzione di un'abitazione e la conseguente morte d'alcuni inquilini.

La caduta massi, oltre ad essere presente lungo i fronti delle cave abbandonate di "Ceppo", è stata individuata anche in prossimità della penisola di San Gervasio sulle ripide pareti di ceppo affioranti.

Altri fenomeni collegati all'azione della gravità sono le colate di materiali fini che potrebbero verificarsi sul pianalto. Tale fenomeno potrebbe esplicarsi con movimenti interni alla massa in movimento in modo tale che la forma assunta del materiale ed il suo comportamento sia simile a quello di fluidi viscosi. Il limite tra massa in movimento ed il materiale in posto può essere una superficie netta, oppure una zona di scorrimenti distribuiti. La velocità di movimento varia da estremamente rapida a lenta.

La probabilità che si formino queste instabilità è però ridotto per via del sovraconsolidamento che presenta il ferretto. Bisogna però prestare attenzione ad attività antropiche che ne modifichino le caratteristiche geotecniche o ad accumuli di una certa dimensione specialmente se ubicati entro avvallamenti.

3.1.3 Forme dovute all'azione antropica

Questa sezione comprende le forme dovute all'azione di modellamento morfologico prodotto dall'azione umana. Talora tale azione non produce forme vere e proprie ma, soprattutto nelle aree pianeggianti o subpianeggianti, oblitera le preesistenti forme naturali.

Nella cartografia geomorfologica predisposta si sono distinte le seguenti forme:

- ♦ Area di cava
- ♦ Depositi di origine antropica
- ♦ Orlo di scarpata antropica
- ♦ Canali artificiali
- ♦ Vasca di laminazione
- ♦ Argini artificiali

Area di cava

Sono state cartografate in questa sezione le aree in cui nel passato si è svolta attività estrattiva. I materiali che vi si estraevano erano di due tipi ovvero il "Ceppo" e le ghiaie.

Le cave ubicate lungo la scarpata dell'Adda, in prossimità dell'abitato di Capriate, coltivavano la formazione litoide denominata "Ceppo", messa a nudo dall'azione del fiume. In questo momento sono tutte dismesse e si presentano più o meno

rinaturalizzate, con fronti generalmente stabili anche se, in alcuni casi, presentano fenomeni di distacco massi.

A sud di Crespi d'Adda è presente una porzione della cava di sabbia e ghiaia "Doneda". La porzione ricadente all'interno del territorio comunale non è più interessata da attività estrattiva ed, in base alla revisione del Piano Cave Provinciale della Provincia di Bergamo già approvata, è stata stralciata da area di interesse estrattivo. La dismissione dal Piano Cave dell'area ricadente all'interno del territorio comunale fa sì che la competenza amministrativa sui possibili utilizzi urbanistici dell'area è esclusivamente comunale.

La porzione dismessa della cava è ubicata in una depressione artificiale quasi a livello del Brembo. È morfologicamente molto varia, con presenza di un piccolo lago, diverse aree non propriamente recuperate con materiali di riporto e scavi più o meno datati. La continua rimobilitazione dei terreni non permette una stabilizzazione ed un ritorno all'equilibrio morfologico dell'area. In particolare la situazione dinamica presente non permette la formazione di suoli su cui può impostarsi un'associazione vegetale matura.



Fotografia 1: Vista di un fronte abbandonato di una cava di "Ceppo", ubicata nei pressi di Capriate.

Inoltre il riporto di materiali come limi od argille, non caratteristici dell'area su cui si è impostata la cava, provoca la nascita di suoli non autocotoni su cui si può solo insediare un'associazione vegetale forzosamente diversa rispetto all'associazione vegetale potenziale che si svilupperebbe se il suolo fosse impostato su un substrato composto da sabbie e ghiaie. Considerando quindi l'aspetto della granulometria e della composizione chimico – mineralogica, i materiali riportati per recuperare l'area, provocano una profonda alterazione della zona costituendo un corpo totalmente alloctono e difficilmente integrabile con le unità che affiorano nel Comune di Capriate San Gervasio.

Depositi di origine antropica

Questi depositi sono legati all'attività dell'uomo e comprendono materiali di discarica, materiali rimobilitati all'interno di una determinata area ed infine riporti realizzati utilizzati per livellare la superficie topografica preesistente.

Nel primo caso possono essere annoverati i materiali di scarto provenienti dalle cave di "Ceppo" ed in parte reimpiegati successivamente per la realizzazione della viabilità o di aree fabbricabili vicino all'Adda (area ubicata sotto il ponte di via V. Veneto). Oppure i materiali residuali, provenienti dalle attività di Crespi d'Adda, distribuiti disomogeneamente nell'area compresa tra il cotonificio e la zona a sud del cimitero. Si presentano molto eterogenei e morfologicamente hanno aspetto ondulato quando sono distribuiti sulle porzioni pianeggianti.

Tra i materiali di riporto rimobilitati all'interno di una determinata area possono essere annoverati quelli presenti nella stretta fascia, avente andamento nord – sud, ubicata nella porzione orientale della penisola di San Gervasio. Rappresentano il riempimento del canale artificiale, realizzato dagli spagnoli, per deviare l'Adda durante il tentativo di conquistare il castello di Trezzo sull'Adda.

I materiali utilizzati come rimodellamento della superficie topografica sono presenti, oltre che in minor misura in tutte le aree urbanizzate, presso il parco Minitalia (ora Fantasyworld) e lungo via Trento oltre che all'interno della zona dismessa dall'attività estrattiva della cava Doneda.

Orli di scarpata antropica

L'azione di modellamento della superficie topografica da parte dell'uomo si manifesta anche attraverso l'apertura di scavi, l'arretramento di preesistenti orli di terrazzo o la parziale peneplanazione della superficie topografica. Queste azioni portano alla formazione di orli di scarpata di origine antropica che presentano un'altezza molto variabile da pochi decimetri ad alcune decine di metri.

Questi orli di terrazzo sono presenti lungo la scarpata creata dall'erosione dell'Adda e sono collegati all'attività estrattiva, che si svolgeva nelle cave di "Ceppo".

Nella porzione sud dell'abitato di Capriate è presente un orlo, con andamento est – ovest, collegato allo scavo realizzato per il passaggio in trincea dell'autostrada A4 (orlo subverticale per via della presenza di paratie). Pure la realizzazione di via Fra Galdino ha portato alla realizzazione di un evidente orlo di terrazzo ottenuto tramite riporto di materiali.

Altra serie di orli di origine antropica si sviluppano in corrispondenza della cava Doneda. Sono molto articolati e formati sia con l'arretramento di preesistenti terrazzi di origine fluviale sia, come nel caso del lago, dall'abbassamento di una porzione di superficie topografica.

Canali artificiali e rete idrografica minore

Nell'area indagata non sono presenti elementi idrografici totalmente naturali. Il percorso dell'idrografia minore, ad esclusione delle opere per scopi idroelettrici,

riflette comunque in gran parte l'andamento della centurizzazione romana, con adattamenti legati alla situazione morfologica locale.

Il principale canale artificiale presente all'interno del territorio comunale è quello collegato alla derivazione a scopo idroelettrico di Crespi d'Adda. Esso si presenta nella sua porzione settentrionale racchiuso tra argini artificiali, mentre nella parte meridionale è incassato nel terrazzo alluvionale di Crespi d'Adda.

Nella porzione centrale del territorio dove è più alta l'urbanizzazione, l'idrografia minore è stata cancellata o intubata. Solo nella porzione settentrionale, sul pianalto, sono presenti una serie di piccoli fossi artificiali, con andamento preferenziale est – ovest, che si raccordano ai cavi, elementi idrografici di origine parzialmente naturale. Data la natura dei terreni presenti poco permeabili, lo scopo principale di questi fossi è lo smaltimento delle acque meteoriche. Solo come impiego secondario sono utilizzati come fossi irrigui. Ai fini di ridurre fenomeni di esondazione conseguenti ad eventi meteorici intensi, sono stati realizzati nella porzione settentrionale del territorio comunale (in prossimità di via Bergamo) dei canali scolmatori per il collettamento delle acque in una vasca di laminazione ed il relativo rifacimento/adeguamento della rete di canali scolmatori fino a via Grignano, per il convogliamento delle acque nel fiume Adda.

Vasca di laminazione

Ai fini di ridurre dei problemi di esondazione è stata realizzata conseguenti ad eventi meteorici intensi è stata realizzata una vasca di laminazione di considerevoli dimensioni, collocata lungo via Bergamo. Questa ha prodotto una modifica della morfologia locale che precedentemente era subpianeggiante e destinata a colture agrarie.

Argini artificiali

Gli argini artificiali presenti in comune di Capriate San Gervasio sono di diverso tipo (in muratura, ciclopici, a scogliera, ecc.) ed hanno diversa funzione (derivazione ad uso idroelettrico o controllo dell'erosione).

Gli argini realizzati per limitare l'erosione delle sponde sono principalmente ubicati nella porzione meridionale della penisola di San Gervasio e lungo il fiume Brembo. Altri, di minore importanza, sono ubicati in prossimità del ponte sull'Adda di via V. Veneto.

Argini artificiali realizzati al servizio delle derivazioni idroelettriche sono presenti a Crespi d'Adda.

Dall'analisi della documentazione storica (testi e mappe) disponibile presso il Comune di Capriate San Gervasio, sono stati individuati numerosi elementi morfologici in questo momento non più visibili.

Tra questi si segnala la totale modifica (alterazione dell'andamento in superficie o intubamento) o eliminazione del circuito minore dei fossi nella porzione meridionale e centrale del territorio comunale. La scomparsa dal pianalto di alcune aree dove erano frequenti ristagno temporaneo dell'acqua od addirittura di paludi

permanenti (zone ad ovest della Cascina del Merlo).



Fotografia 2: Argine artificiale in muratura, presente nella porzione meridionale della penisola di San Gervasio.

Le cause della scomparsa di questi elementi morfologici sono da imputarsi sia alla crescita dell'urbanizzato (viabilità ed edilizia), soprattutto negli anni '60 e '70, periodo nel quale l'attenzione nei confronti del territorio quale risorsa non rinnovabile era molto scarsa, sia alla modifica delle pratiche agricole che sempre più necessitano di appezzamenti sempre più ampi e continui, senza quindi le interruzioni rappresentate dai fossi, sia dalla modifica del sistema di irrigazione che si preferisce a pioggia rispetto a quello tradizionale a scorrimento.

Oltremodo nel passato, soprattutto attraverso pratiche agricole, si è avuto un progressivo modellamento della superficie della pianura eliminando o imponendo nuove pendenze per facilitare l'irrigazione. Questo fatto ha anche parte cancellato le evidenze morfologiche minori, come i dossi fluviali, o reso poco riconoscibili le forme presenti che in altre aree di pianura sono invece molto evidenti.

3.1.4 Sistema di terrazzi – Unità fisiografiche

L'unità fisiografica è una superficie caratterizzata da un'omogeneità delle forme del paesaggio. Essa risponde perciò a criteri propriamente geomorfologici ed è caratterizzata dalle seguenti proprietà:

- ◆ un'unità fisiografica è una superficie riconosciuta sulla base di discontinuità che la distinguono dalle adiacenti;
- ◆ i limiti delle unità fisiografiche sono costituiti da superfici sia d'erosione che di aggradazione. I corpi sedimentari delimitati da queste superfici possono presentare caratteristiche litologiche, tessiturali, fisiche, chimiche, paleontologiche proprie sia verticalmente sia orizzontalmente;

- ♦ le unità fisiografiche sono definite da un'area tipo;
- ♦ l'interpretazione genetica non è un criterio che può essere utilizzato per definire l'unità stessa, ma può facilitare all'individuazione dei limiti.

I criteri adottati per la distinzione delle diverse unità fisiografiche del territorio comunale di Capriate San Gervasio, sono:

- ♦ geomorfologico: come sottolineato precedentemente, l'assetto geomorfologico dell'area è legato alla presenza di importanti corsi d'acqua che hanno determinato e determinano l'evoluzione, nelle zone pianeggianti, delle forme ereditate al termine del periodo glaciale.
- ♦ del grado di alterazione dei depositi e del grado di sviluppo del processo pedogenetico;
- ♦ la presenza di löess: spesso è utilizzata per la distinzione dei terrazzi pre-würmiani, in questo caso impiegata solo per il pianalto;
- ♦ i rapporti stratigrafici: spesso risultano di scarso aiuto in quanto i depositi delle diverse unità fisiografiche non sono stratigraficamente sovrapposti ma in contatto laterale.

Si sono riconosciute le seguenti unità, partendo dalle forme più antiche:

Unità del terrazzo fluvioglaciale "Altopiano ferretizzato"

È costituita da depositi fluvioglaciali notevolmente alterati. Sono presenti depositi löessici. Questa unità si estende nella porzione settentrionale del territorio comunale di Capriate San Gervasio. Questi terreni non sono stati più interessati da successivi apporti fluvioglaciali e quindi non sono ricoperti dai più recenti depositi würmiani. I processi d'alterazione, di pedogenesi e di dilavamento, hanno quindi interessato senza interruzione tali superfici, sulle quali si sono identificate tracce di canali anastomizzati o braided e paleo – alvei.

Sul pianalto si riconoscono due reticoli idrografici principali: il primo è meno inciso e raramente boscato con fondovalle piatto ed è sovente raccordato con superfici a debole inclinazione al pianalto; il secondo, spesso boscato, caratterizzato da incisioni marcate a fondo piatto a V, è raccordato con superfici ripide al pianalto, soggette a locali fenomeni erosivi. Il secondo spesso si sovrappone al primo, conservando a volte la configurazione iniziale. Il fenomeno dell'erosione regressiva doveva essere stato molto diffuso in passato. I sedimenti trasportati non hanno dato origine a vistose conoidi di deiezione dove è presente un'asta fluviale di una certa importanza (Dordo e Buliga); dove è assente tale idrografia principale vi sono evidenze di depositi di conoide (San Gervasio e, fuori dal territorio comunale, a Filago).

Unità del terrazzo fluvioglaciale "Livello fondamentale della pianura"

È riferibile a tale unità tutta l'area su cui giace l'abitato di Capriate fino al limite meridionale rappresentato dal terrazzo posto a monte di Crespi. La morfologia superficiale è pianeggiante con blande depressioni prodotte nel passato da corsi

d'acqua come quella presente nel centro di Capriate. La superficie tabulare del livello fondamentale della pianura deriva dalla giustapposizione di più corpi fluviali e fluvioglaciali di diversa età. Sono presenti, anche se mal distinguibili e, per questo motivo non riportati in carta, dossi fluviali ed idrografia di tipo braided fossile. La direzione prevalente di sviluppo di queste forme è da Nord Nord – Est a Sud Sud –Ovest, dettata dall'elemento di drenaggio principale rappresentato dal fiume Adda.

È separata dall'unità precedente da un orlo di terrazzo mal conservato, mentre dall'unità più recente da un orlo di terrazzo ben conservato.

Di seguito sono descritti una serie di terrazzi, raggruppati per bacino idrografico, riconducibili ad attività fluviale tardo – würmiana o post – würmiana.

Unità dei terrazzi fluviali del fiume Adda

Nel territorio Comunale di Capriate San Gervasio sono stati riconosciuti quattro livelli di terrazzi di origine fluviale. Sono riconoscibili per la presenza di scarpate che li separano tra le unità più vecchie e quelle più recenti, con altezza molto variabile da meno di un metro a diversi metri.

Questa unità presenta tracce di paleo – idrografia, generalmente di tipo braided e poco marcata, sia per cause naturali che antropiche.

Il più alto (o più antico) è individuato in una stretta fascia, ad andamento discontinuo, parallela all'Adda. Si sviluppa da San Gervasio, dove è ricoperto da un profondo suolo, in parte costituito da materiali di provenienza illuviale dall'Altopiano ferretizzato, fino poco a sud del cimitero di Capriate.

Il secondo terrazzo del fiume Adda forma la penisola di San Gervasio ed una piccola porzione nordorientale del pianoro su cui sorge Crespi d'Adda.

Il terzo terrazzo è presente solo nella porzione meridionale del territorio comunale ed forma la parte dove si è sviluppato l'insediamento civile di Crespi.

Quarto ed ultimo terrazzo forma l'area su cui sorge l'insediamento industriale di Crespi.

Unità dei terrazzi fluviali del fiume Brembo

Nel territorio Comunale di Capriate San Gervasio sono stati riconosciuti due livelli di terrazzi di origine fluviale. Sono riconoscibili per la presenza di scarpate che li separano dalle unità più vecchie e quelle più recenti, con altezza molto variabile da meno di un metro a diversi metri. Entrambi i terrazzi individuati hanno inciso alluvioni post – würmiane del fiume Adda.

Si trovano entrambi nella porzione meridionale del territorio comunale in prossimità della "Cava Doneda". In parte sono stati ricoperti da materiali di origine antropica provenienti dalle attività che si svolgevano in Crespi, mentre una parte, quella più prossima al Brembo, è stata interessata da attività estrattiva.

Tali terrazzi sono ubicati a quote inferiori rispetto a quelli dell'Adda. Questo fatto, connesso con la non regimazione delle piene del fiume Brembo, fa sì che questi

possono essere interessati da esondazioni in caso di eventi di piena straordinaria, in particolare il secondo in quanto è stato ribassato dall'attività estrattiva.

Alvei ordinari dei fiumi Adda e Brembo

Per quanto riguarda gli alvei ordinari dei fiumi Adda e Brembo, sono di seguito descritti raggruppati in quanto formano, seppure con alcune differenze morfologiche, unità comparabili. Sono entrambi riconducibili ad attività fluviale tardo – würmiana o post – würmiana.

Si tratta di una fascia lungo i fiumi, che comprende, oltre al letto, anche le aree interessate dalle piene ordinarie del fiume. La larghezza varia tra un minimo di sessanta metri ad un massimo di oltre 400 metri nei pressi di Bosco di Mezzo.

L'aspetto è quello di una morfologia ondulata costituita da prevalenti ciottoli e blocchi embricati. Questa unità si situa da uno a più metri di quota sotto i terrazzi più antichi. Alcuni tratti degli alvei sono caratterizzati dalla presenza d'argini e manufatti artificiali e mostrano tracce di saltuarie operazioni di pulizia idraulica.

4. LINEAMENTI GEOLITOLOGICI

Il territorio comunale è collocato all'interno della pianura bergamasca la quale è delimitata ad ovest dal fiume Adda e ad est dal fiume Oglio, ed è compresa nei fogli della carta topografica d'Italia 46 "Treviglio" e 33 "Bergamo". Questo settore di pianura è caratterizzato da morfologia movimentata con alti gradienti topografici, tipici delle arre marginali della pianura padana. L'area è ubicata nei domini fluviali dei fiumi Adda, Brembo, Serio, Cherio e Oglio. Questi fiumi hanno contribuito in larga misura alla formazione della pianura bergamasca stessa, con l'aggradazione delle conoidi di deiezione. La superficie topografica è perciò caratterizzata da una serie di corpi che si aprono a ventaglio, degradanti da Nord a Sud, con pendenze comprese tra il 10 ed il 3 per mille nella porzione meridionale dell'area. La litologia di questa porzione di pianura è caratterizzata, a Nord, da alluvioni fluvioglaciali ghiaiose che divengono sabbioso – ghiaiose o sabbiose a Sud.

In quest'area possono essere evidenziate cinque diverse unità fisiografiche, d'importanza regionale, caratterizzate da forme distinte e peculiari. Procedendo da Nord a Sud si possono elencare:

- a) unità fisiografica delle **"formazioni pre – quaternarie"**. Questa unità può essere considerata al di fuori del sistema fisiografico della pianura e rappresenta il substrato sul quale appoggiano i depositi clastici che costruiscono la pianura bergamasca;
- b) l'unità fisiografica dei **"depositi morenici"**. Nella pianura bergamasca, i depositi morenici in senso stretto, compaiono nel settore nord orientale dove il fiume Oglio esce dal lago d'Iseo. In questo settore, depositi morenici frontali hanno provocato lo sbarramento ed il relativo innalzamento della soglia del lago stesso. La morena frontale è stata successivamente rimodellata da processi fluviali e fluvioglaciali, quando il fiume Oglio ha iniziato ad incidere. Testimonianza della paleo – azione fluviale vi sono alte scarpate d'erosione ed almeno due evidenze di diversioni del paleo – Oglio con paleo – alvei, in sinistra idrografica attuale, a quote più elevate dell'odierno corso d'acqua;
- c) l'unità fisiografica dei **"terrazzi pre – olocenici"**. Questa unità è caratterizzata da una superficie poco "fresca", resa meno aspra dalla prolungata esposizione agli agenti esogeni, con forme quindi addolcite e pendenza di circa il 10 per mille. L'età dei depositi, certamente più antichi degli attigui sedimenti del "livello fondamentale della pianura", è testimoniata dalla spessa coltre d'alterazione superficiale che può raggiungere anche diversi metri di spessore. Questi depositi, sedimentatisi prima della glaciazione würmiana, formano i resti di un antico livello della pianura, eroso precedentemente all'evento climatico würmiano. Si trovano quindi attualmente come superfici relitte in disequilibrio con il resto delle unità della pianura. Testimonianza di questo disequilibrio è rappresentata dall'abbondante presenza di vallecole con alto grado di incisione regressiva operante dal margine verso il centro dei terrazzi, a te-

stimonianza del mutato equilibrio geomorfologico, che ha portato ad un andamento dell'energia di rilievo sui terrazzi stessi ed all'abbassamento del livello di base della scarsa idrografia presente; in tale unità fisiografica rientrano le aree del "**pianalto**" presenti nei dintorni di San Gervasio.

- d) l'unità fisiografica del "**livello fondamentale della pianura**". Questa unità è caratterizzata dalla presenza di grandi conoidi pedalpini ancora perfettamente riconoscibili. Il tracciamento delle curve ipsometriche dell'area pedemontana, in una recente ricerca, ha permesso la ricostruzione con una buona approssimazione, dei singoli corpi d'aggradazione e le relative interdigitazioni. Le informazioni tratte dalla carta altimetrica hanno permesso anche il riconoscimento delle tracce dell'idrografia abbandonata ed i rapporti reciproci.

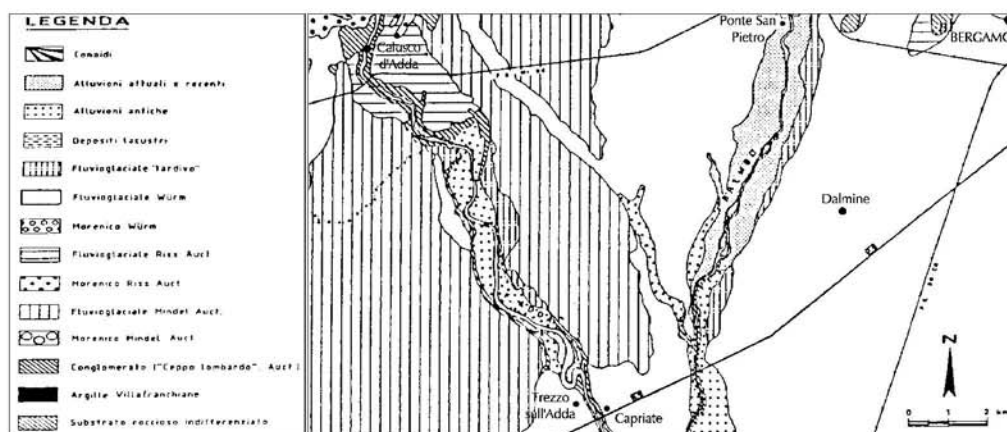


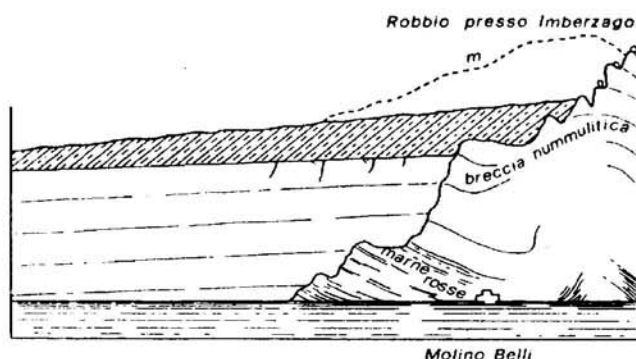
Figura 2: Carta geologica allegata allo Studio idrogeologico del foglio 1:50.000 "Vimercate" realizzato da E. Denti, V. Francani, L. Fumagalli, G. Pezzerà & P. Sala.

Le tracce d'idrografia abbandonata riscontrabile in questo settore di pianura è di due tipi distinti; troviamo, infatti, abbondanza di tracce di tipo braided (corsi d'acqua a canali multipli intrecciati, a basso indice di sinuosità), soprattutto nell'area più orientale, nei domini dei fiumi Serio e Oglio; un secondo tipo d'idrografia abbandonata, tipicamente meandriforme, è localizzato principalmente nella parte meridionale, con tracce poco evidenti e spesso leggermente incise sul "livello fondamentale della pianura". Queste ultime forme sottolineano la diminuzione della pendenza del 4 per mille.

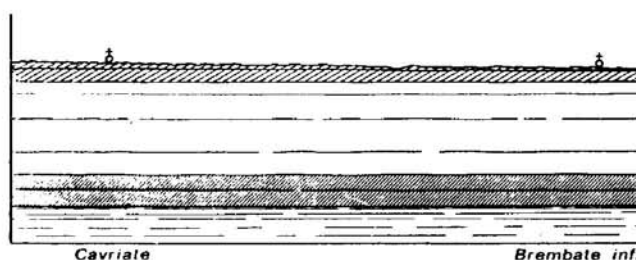
Statisticamente, infatti, possiamo osservare in tutta la pianura a Nord del fiume Po che, alla pendenza del 4 per mille circa, può essere condotto il limite tra idrografia braided e quella di tipo meandriforme, la maggior concentrazione delle risorgive e il limite inferiore dei conoidi, che al di sotto di tale valore, non sono più ricostruibili come corpi omogenei e definiti. Tale unità fisiografica è presente nell'area di Capriate.

- e) l'unità fisiografica delle "**valli attuali**". Questa unità è delimitata dalle scarpate continue che la separano chiaramente dall'unità del "livello fondamentale della pianura". Arealmente è limitata ad una stretta fascia lungo i corsi d'acqua principali e, solamente lungo il fiume Adda, si discosta da questo come nell'area di Crespi, assumendo una certa rilevanza areale.

Le forme caratteristiche sono le scarpate che degradano da Nord a Sud da



più di venti metri (fiumi Adda, Brembo, Oglio), a pochi metri al limite meridionale della pianura bergamasca.



- Talus di sfacelo morenico
- Alluvione del periodo preglaciale
- Alluvione del periodo glaciale

Figura 3: Prima ricostruzione della successione dei conglomerati e delle ghiaie tra Paderno a Trezzo (Taramelli, 1871)

dell'unità delle "valli attuali".

Su tutte cinque le unità fisiografiche descritte si trovano forme legate all'intenso insediamento antropico. Il modellamento umano risulta marcato in tutta l'area, sia per quanto attiene alla rete irrigua artificiale, sia per la notevole presenza di altre opere (cave, strade, insediamenti, ecc.) presenti.

L'evoluzione della pianura bergamasca, così come per tutta l'area pedealpina, è avvenuta per fasi od even-

Un particolare abbastanza importante da osservare è costituito dalla presenza su Questa unità fisiografica, d'idrografia e paleo-idrografia meandriforme alla stessa latitudine dell'antica idrografia del vicino "livello fondamentale della pianura", che è invece di tipo braided. Questa osservazione prova, anche visivamente, le diverse condizioni idrologiche che si sono sviluppate sul "livello fondamentale della pianura" rispetto a quelle attuali

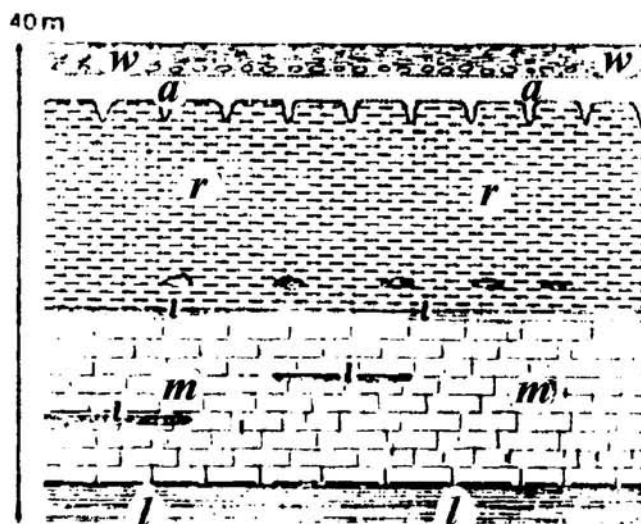
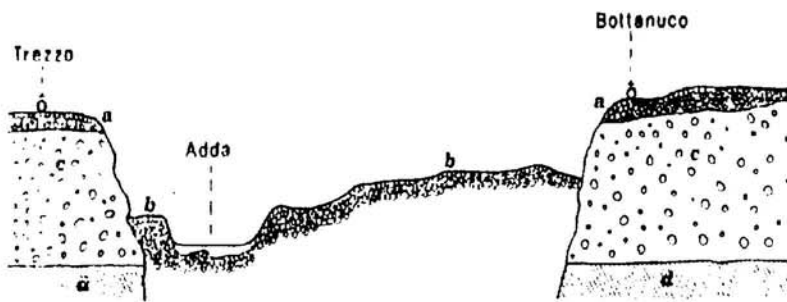


Figura 4: La successione stratigrafica a Trezzo – Capriate San Gervasio secondo Penk & Brückner (1909): (l) Lehm, (m) ceppo, (r) ghiaie fluvioglaciali del Riss, (a) strato di alterazione (w) ghiaie fluvioglaciali del Würm.

ti. Per questo motivo sono presenti forme che divengono progressivamente più antiche verso i rilievi. Quest'insieme di processi ha lasciato testimonianze dello



Sezione attraverso l'Adda tra Trezzo e Bottanuco

- a - Alluvione quaternaria
- b - Alluvione fluvio-glaciale
- c - Ceppo pliocenico
- d - Marne eoceniche

Figura 6: Successione stratigrafica lungo le sponde dell'Adda (Stoppani, 1880) poco a nord di Capriate San Gervasio.

portato alla conformazione della pianura attuale dobbiamo retrocedere al Pleistocene superiore, precedente al massimo glaciale würmiano. In tale periodo si verificano condizioni d'erosione che provocano incisioni delle valli fluviali simili a quelle attuali, con formazione di superfici relitte in pianura, e ripresa sui lembi relitti dell'azione pedogenetica.

Con lo instaurarsi di condizioni glaciali si ebbe una forte fase d'aggradazione del sandur würmiano con la formazione dell'attuale "livello fondamentale della pianura", aggradazione che durò anche nella successiva fase di deglaciazione. Il periodo olocenico successivo vede la ricomparsa di condizioni erosive, con formazione di valli incise, forti riduzioni di portata dei corsi d'acqua che hanno prodotto la formazione dell'unità fisiografica delle "valli attuali". La riduzione di portata dei corsi d'acqua nella pianura a nord del fiume Po è testimoniata dalla presenza di

sviluppo di fenomeni glaciali più antichi dell'ultimo glaciale würmiano, rappresentate dai terrazzi prewürmiani. La formazione della pianura è, infatti, avvenuta con il succedersi di fasi d'aggradazione durante i periodi freddi, e fasi d'erosione durante i periodi a clima più mite.

Per derivare i processi che hanno



Figura 5: Estratto dalla carta geologica prodotta da Orombelli (1979). (1) Depositi fluvio-glaciali e fluviali tardo - würmiani ed olocenici, (2) Depositi glaciali e fluvio-glaciali würmiani e (3) terrazzi a "ferretto".

tracce di paleo – idrografia sovra – dimensionata rispetto all’attuale, con portate stimate in 20 volte maggiori delle attuali. Le condizioni erosive scomparvero probabilmente nell’Olocene inferiore, quando la morfologia assunse il nuovo equilibrio, che si è mantenuto senza grandi variazioni fino ai nostri giorni. L’individuazione di queste fasi cicliche d’erosione e d’aggradazione fanno ritenere che questi processi si siano ripetuti più volte dalla regressione pliocenica fino ad oggi, con meccanismi simili, ed innescati dalle condizioni climatiche alternativamente glaciali ed interglaciali.

4.1 METODOLOGIE DI STUDIO

I corpi sedimentari continentali d’età quaternaria presentano particolarità che rendono difficoltosa la scelta delle unità stratigrafiche da utilizzare.

Come precedentemente descritto, le successioni continentali sono espressioni di fasi di sedimentazione discontinue, spesso arealmente limitate. I depositi mostrano un’elevata variabilità interna di facies. Il carattere episodico della sedimentazione rende comune l’esistenza di superfici di discontinuità sia per non deposizione sia per erosione, a carattere essenzialmente diacrono. L’insieme di questi caratteri evidenzia la difficoltà nello utilizzare delle unità fino ad ora impiegate nel rilevamento del Quaternario continentale. Per ovviare a tutti i problemi connessi con il rilevamento, nel 1983 la North American Commission on Stratigraphic Nomenclature introdusse per il Quaternario le Unità Allostratigrafiche.

Un’unità allostratigrafica corrisponde ad un corpo di rocce sedimentarie identificato sulla base delle discontinuità che lo delimitano; essa comprende pertanto i sedimenti appartenenti ad un determinato evento deposizionale. I limiti sono rappresentati da superfici di discontinuità, compresa l’attuale superficie topografica, corrispondenti a lacune stratigrafiche d’estensione cronologica ed areale significativa. L’interpretazione genetica, la ricostruzione della storia geologica, la morfologia ed i caratteri dei suoli, pur non rientrando direttamente nella definizione d’unità, possono concorrere all’identificazione dei limiti. I suoli, pertanto, sono unità indipendenti dalle caratteristiche interne delle unità (litologiche, sedimentologiche, paleontologiche). Date le difficoltà, insite nella correlazione tra unità continentali, le unità allostratigrafiche non possono essere estese al di fuori del bacino idrografico d’appartenenza.

Il Gruppo di Lavoro per il Quaternario della Commissione Italiana di Stratigrafia, propose nel 1989 l’uso di queste unità, con qualche modifica rispetto al testo originale.

Nella Guida al Rilevamento della Carta Geologica d’Italia 1:50.000 (1992) vennero però adottare per il Quaternario le Unità Allostratigrafiche, ma i sistemi (unità fondamentali delle Unconformity Bounded Stratigraphic Units introdotte dalla International Subcommission on Stratigraphic Classification, 1987) che differiscono lievemente nella definizione. Tale differenza risiede nella identificazione delle superfici limite. Infatti, i limiti d’unità allostratigrafica devono essere tacciabili, mentre quelli di un sistema devono essere visibili cosa che difficilmente di realizza nei

depositi continentali.

Nel rilevamento della Carta Geologica del Comune di Capriate San Gervasio è stato seguito un criterio allostratigrafico ogni qualvolta che i corpi geologici sono stati identificati in base alle caratteristiche interne.

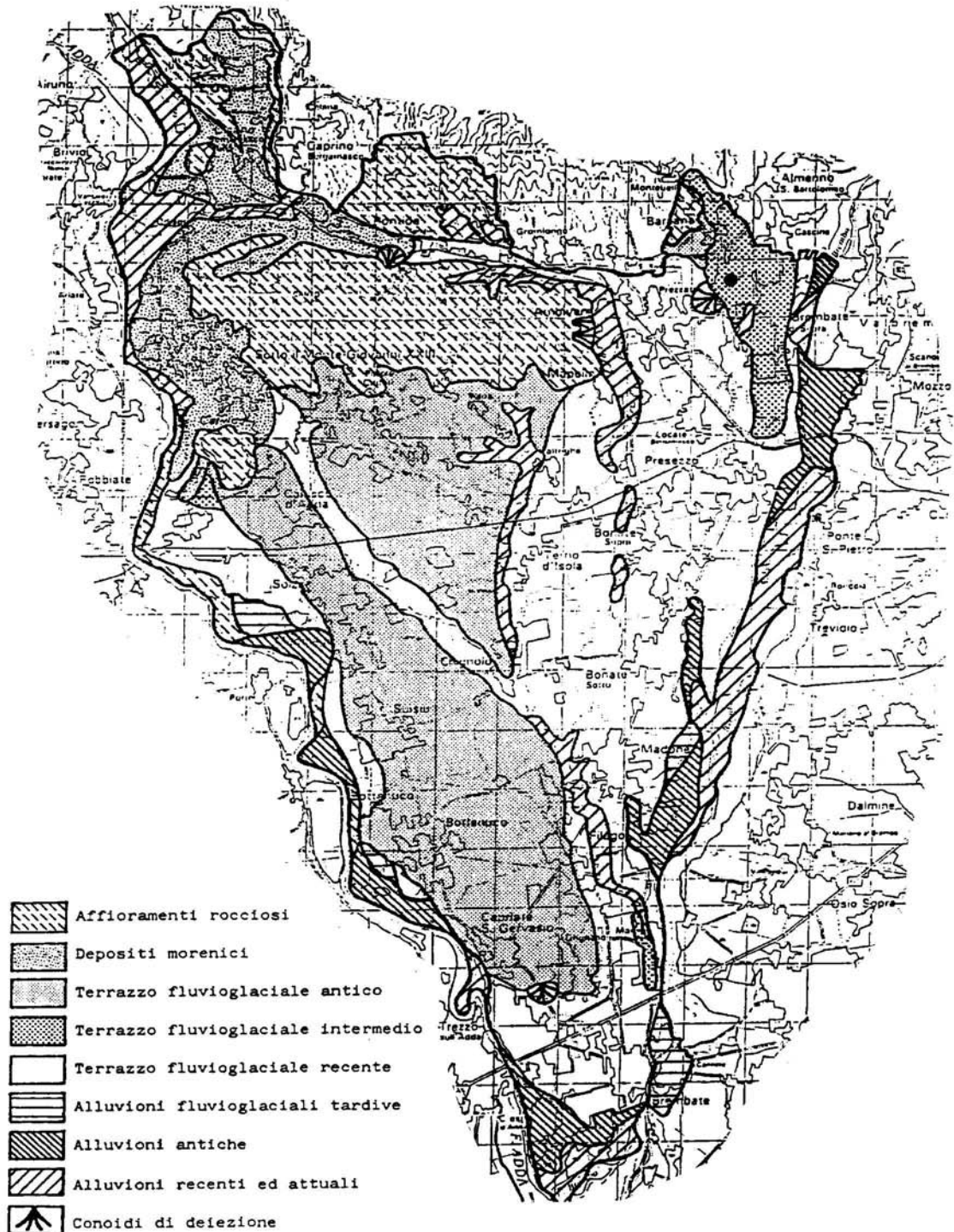


Figura 7: Carta geologica schematica dell'Isola Bergamasca.

Sia la terminologia che i criteri usati sono parzialmente differenti da quelli scritti nei codici. Si è usato il termine generico Unità come sinonimo sia di alloformazione sia di formazione, secondo i casi, oppure per distinguere corpi geologici isolati, non correlabili con altri appartenenti allo stesso complesso. Alle eventuali unità di nuova istituzione è stato associato il toponimo della località nella quale essa è diffusa in modo significativo. Per il rango gerarchico superiore è stato usato il termine generico Complesso, come sinonimo sia di allogruppo sia di gruppo secondo i casi. Inoltre si sono istituiti dei complessi nei casi in cui si sono avute evidenze di diverse fasi deposizionali pur senza essere in grado di attribuire i diversi depositi all'una o all'altra di queste differenti fasi o, per riunire, a fini cartografici, più unità, stratigraficamente ben definite ed accomunate da qualche tipo di carattere (alterazione o cementazione), in un insieme maggiore.

I complessi e le unità riconosciute all'interno del territorio comunale sono riportati in seguito e sono stati raggruppati secondo i diversi bacini di alimentazione dei sedimenti.

4.2 BACINO DEL BREMBO PREWÜRMIANO

4.2.1 Ceppo del Brembo

A Capriate il Ceppo del Brembo affiora nelle incisioni del fiume Adda. È composto da depositi alluvionali conglomeratici a prevalente supporto clastico e conglomerati arenacei al limite tra supporto clastico e di matrice, con ciottoli arrotondati e subarrotondati. Presentano caratteri grossolani nella parte più settentrionale, ubicata fuori dal territorio comunale e più prossima alla zona di alimentazione, con dimensioni medie dei ciottoli di 25 – 30 cm e massime superiori al metro; spostandosi verso S e verso SO si assiste ad una riduzione del diametro medio fino a valori attorno ai 10 cm e, negli affioramenti più meridionali, di 2 – 3 cm, una via di mezzo tra questi ultimi valori è tipica del ceppo a Capriate San Gervasio.

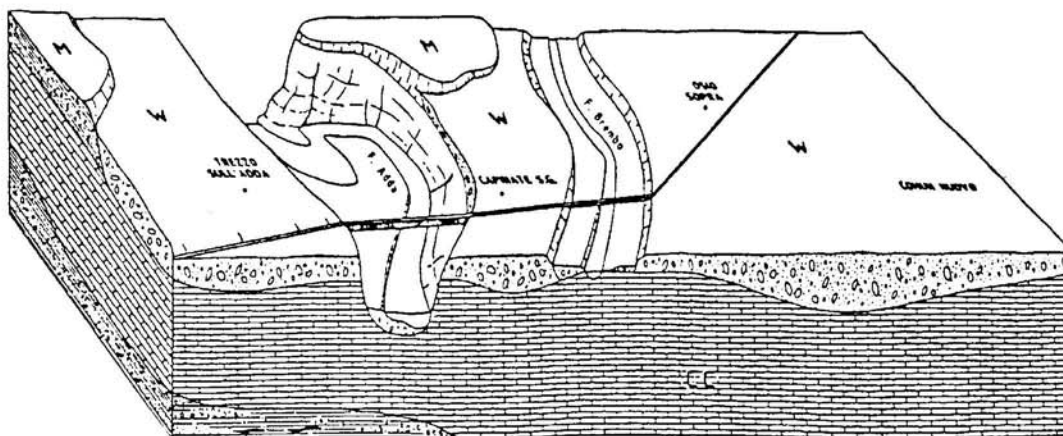


Figura 8: Schema dei rapporti stratigrafici delle formazioni plioceniche nella porzione meridionale dell'Isola Bergamasca (E. Denti e P. Sala, 1988). (W) fluvioglaciale Würm, (M) fluvioglaciale Mindel, (CC) Conglomerato "Ceppo", (V) Villafranchiano).

Anche le strutture sedimentarie mostrano variazioni con la latitudine: a nord i conglomerati appaiono preferenzialmente organizzati in grossolani strati sub – o-

rizzontali, mentre nelle aree più meridionali prevale una stratificazione incrociata planare più definita. Compaiono, con una certa frequenza, lenti e strati arenacei decimetrici, a prevalente stratificazione incrociata planare.

Nelle parti basali del Ceppo, si rinvencono lenti siltose e siltoso – argillose di spessore e lunghezza metrica contenenti gusci di molluschi continentali, sono intercalate ai livelli conglomeratici, presentano una struttura interna laminata o massiva, con colori sui toni del giallo bruno.

La composizione petrografica evidenzia in tutta l'area d'affioramento un'affinità orobica delle litologie dei clasti rispetto al Ceppo dell'Adda che affiora più a nord – ovest, con maggiori quantità di rocce endogene/metamorfiche (16% – 46%) e, complessivamente, da contenuti più bassi di rocce sedimentarie terrigene (8% – 38%). Tra queste ultime sono prevalenti le arenarie ed i conglomerati a cemento siliceo del Verrucano lombardo che, assieme alle vulcaniti del Collio, assumono il ruolo di litologie diagnostiche per il Ceppo del Brembo. Queste litologie ed, in misura minore, le rocce cristalline, permettono un'ulteriore suddivisione. È, infatti, possibile distinguere una porzione con basse percentuali di Verrucano e Collio (2% – 7%) e contenuti medio – bassi di rocce endogene – metamorfiche (11% – 31%), da una porzione con valori più elevati di arenarie silicee e vulcaniti (20% – 41%) e contenuti mediamente più bassi di rocce metamorfiche ed intrusive (0 – 20%). Poiché questi sottogruppi presentano una distribuzione geografica precisa, ad essi è possibile quindi associare un significato paleo – geografico.

A Canonica D'Adda, sullo spaccato naturale in riva sinistra del fiume Adda, si può osservare come il conglomerato sia al limite tra supporto clastico e di matrice arenacea, con ciottoli subarrotondati (dimensioni medie 3 cm, massime 18 cm) di provenienza orobica. La geometria del deposito mette in luce strati sub – orizzontali o incrociati planari, ben definiti, con spessori tra 10 cm e 1 m; sono comuni livelli arenacei decimetrici a stratificazione obliqua. Queste geometrie non sono altrettanto ben evidenti nel territorio comunale di Capriate, sono comunque saltuariamente visibili nei pressi della via Cimitero, sulle sottostanti scarpate che raccordano la pianura con l'alveo dell'Adda.

Dalle osservazioni e studi, anche a carattere bibliografico, si attribuiscono queste litologie a depositi fluviali di conoide distale, formatesi per sovrapposizione sommitale e frontale dei sedimenti.

I caratteri pedologici relativi al Ceppo del Brembo provengono da osservazioni svolte nell'area del fiume Adda, mentre in area brembana non sono state fatte in quanto le porzioni delle porzioni sommitali del conglomerato sono troncate da depositi fluvioglaciali più recenti: dove ciò non è avvenuto si riscontrano caratteri analoghi a quelli abduani. Le parti più elevate del Ceppo del Brembo sono interessate da una forte pedogenesi, caratterizzata dalla presenza di un limite inferiore "ad organi geologici", in cui le ghiaie pedogenizzate sono in contatto con il conglomerato in modo irregolare ed articolato, con formazione di pinnacoli e pilastri conglomeratici. La continuità di strutture, che talora è possibile riconoscere tra i nuclei inalterati ed il circostante materiale pedogenizzato, evidenzia che i

processi pedogenetici si sono sviluppati a partire da un unico substrato. Il limite della zona alterata è a profondità variabili, tra 13 e 6 m, rispetto ai terrazzi supportati dal Ceppo del Brembo ("terrazzi a ferretto" Auct. dell'area abduana). In questa zona superficiale, le ghiaie si presentano fortemente alterate e rubefatte, con totale lisciviazione dei carbonati sia a livello di matrice che di scheletro e grande sviluppo di patine d'argilla illuviale. Le ghiaie sono poi troncate erosionalmente, con spessori osservati non superiori a 3.5 metri, dai successivi depositi fluvioglaciali dell'Unità di Medolago, a loro volta successivamente alterati e pedogenizzati.

Come riportato precedentemente, l'analisi petrografica tratta dalla bibliografia, ha evidenziato l'esistenza di due raggruppamenti distinti all'interno del Ceppo del Brembo, discriminati principalmente sulla base della percentuale di arenarie del Verrucano e Vulcaniti del Collio. Il gruppo a più basso contenuto di queste litologie caratterizza l'intero spessore del Ceppo del Brembo affiorante lungo l'Adda, fino all'altezza di Suisio e le parti sommitali in aree più orientali e meridionali. L'altro gruppo costituisce il corpo affiorante del Ceppo lungo il Brembo e lungo l'Adda a Sud di C.na S. Giuliano (Suisio). Questa netta diversificazione delle aree di affioramento fa sì che sia possibile associare un significato paleo – geografico ai due raggruppamenti. Essi sono l'espressione sedimentaria della fase di massima accrescimento delle conoidi plio – quaternarie in ambiente prealpino con un'affinità petrografica orobica, ma due differenti bacini di alimentazione: un conoide, alimentato direttamente dalla Val Brembana, si estendeva verso Ovest, dove entrava in coalescenza con un altro conoide proveniente dalla Valsassina.

Il Ceppo del Brembo, data la vastità dell'area di affioramento, presenta relazioni stratigrafiche complesse con numerose unità. In zona Brembana ricopre in discordanza il Conglomerato di Madonna del Castello, la Formazione del Tornago ed il substrato. Risulta, a sua volta, troncato e suturato dai depositi fluvioglaciali dall'Unità Postglaciale, dall'Unità di Treviglio (Complesso del Brembo), dall'Unità di Brembate e dalle propaggini più orientali dell'Unità di Carvico. Non sono definibili i suoi rapporti con il Complesso di Almenno. In area abduana il Ceppo del Brembo ricopre con limite netto il Ceppo dell'Adda; in sponda sinistra dell'Adda la sua natura erosiva non risulta del tutto evidente, ma per le strette analogie litostratigrafiche tra quest'ultimo ed il Conglomerato di Madonna del Castello e, in conformità a quanto osservato in sponda destra, si può ritenere di essere in presenza di due unità cronologicamente distinte ed in discordanza stratigrafica. A sua volta, il Ceppo del Brembo è stato inciso profondamente e suturato dai conglomerati del Ceppo Poligenico, non affiorante nel territorio comunale di Capriate San Gervasio, che hanno riempito una paleo – forra parzialmente coincidente con la gola attuale, e successivamente intagliati dai terrazzi riconducibili all'Unità Postglaciale, all'Unità di Cantù, all'Unità di Carvico ed all'Unità di Medolago. Analogamente all'area brembana non sono definibili i rapporti con una delle unità terrazzate più antiche (Unità di Sotto il Monte).

In considerazione dei suoi rapporti con il conglomerato di Madonna del Castello e dei caratteri litostratigrafici il Ceppo del Brembo è attribuito al Pliocene Superiore

(?) – Pleistocene inferiore (circa 1.800.000 anni).

4.2.1.1 Cave Di Ceppo

Sul territorio comunale di Capriate San Gervasio si sono individuate otto principali

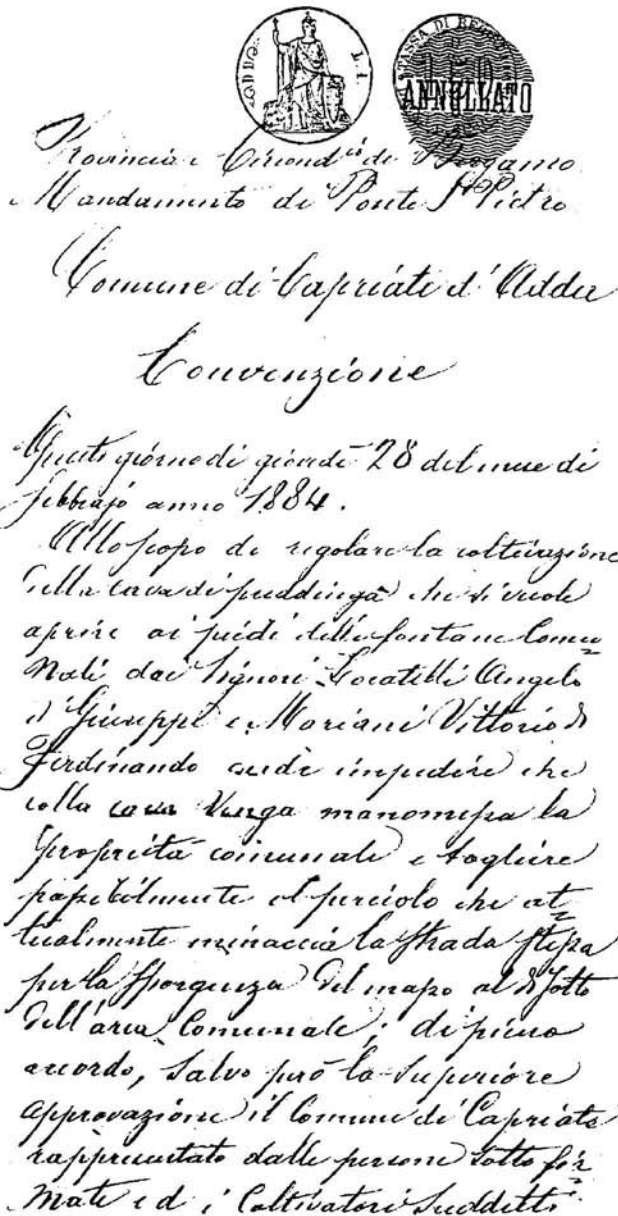


Figura 9: Estratto da una convenzione del 1884 riportante le condizioni per poter estrarre il ceppo in Comune di Capriate.

cave dismesse di Ceppo del Brembo. Queste cave sono riconoscibili su base geomorfologica e possono essere considerate le principali. Dall'analisi del materiale storico reperito sono segnalate altre località in cui si sono svolte, in misura minore, attività estrattive.

Da un punto di vista storico – economico, i materiali che si estraevano dalle cave della zona, erano commercializzati con la denominazione "Ceppo del Brembo" o "Ceppo dell'Adda" secondo che provenissero da cave ubicate lungo la forra del Brembo o dell'Adda. Questa differente denominazione commerciale non rispecchia la reale denominazione geologica dei materiali estratti, infatti, nelle propaggini meridionali del territorio dell'Isola Bergamasca, è presente un'unica unità lapidea denominata "Ceppo del Brembo".

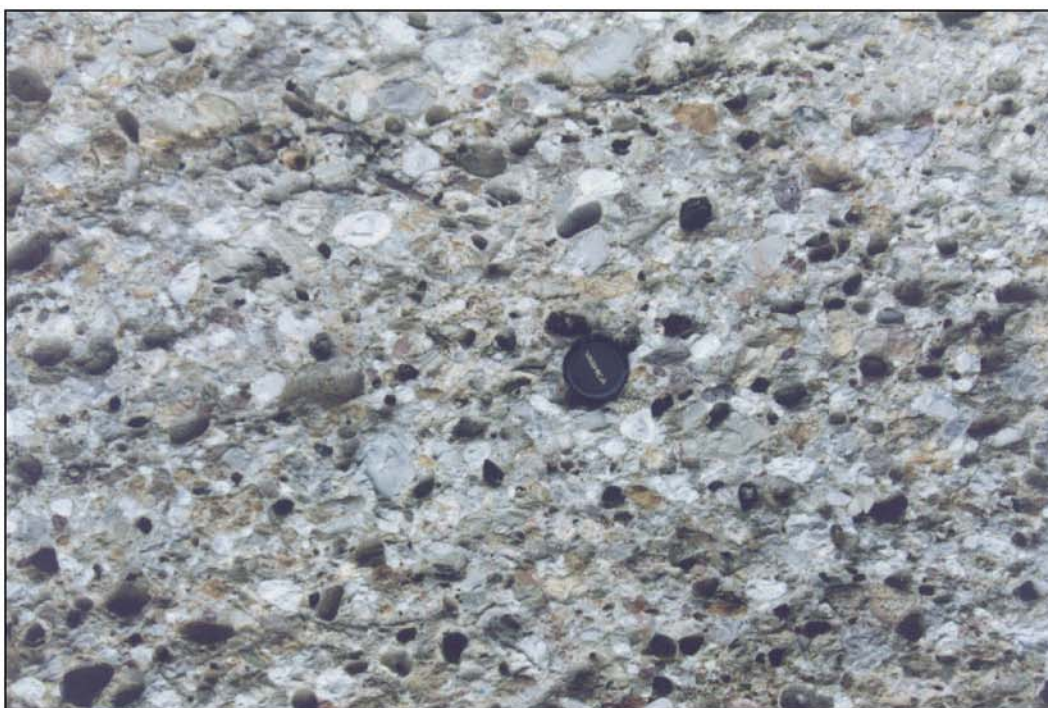
Commercialmente il ceppo si distingue ulteriormente in **Rustico**, **Mezzano** e **Gentile** secondo le dimensioni dei clasti. Il ceppo **Rustico** o **Crespone**, è una puddin-

ga a matrice calcarea o calcareo – arenacea con ciottoli che raggiungono o superano i 10 cm di diametro; per riduzione delle dimensioni dei ciottoli si passa al ceppo **Mezzano** ed infine al ceppo **Gentile** che è un'arenaria grossolana a matrice arenaceo – calcarea.

Lo sviluppo delle attività di cava nel territorio comunale ha avuto un marcato incremento nel XV secolo quando, con la costruzione del canale navigabile "Martesana", i blocchi di ceppo potevano facilmente essere trasportati a Milano per mezzo di chiatte.

Milano è ricca, infatti, di monumenti ed edifici realizzati in Ceppo dell'Adda; degno di nota è in particolare il Palazzo di Brera, che fu costruito su progetti di Martino Bassi e Francesco Maria Richini nel XVII secolo per i gesuiti, sull'area delle vecchie case degli Umiliati.

In Milano questo materiale è stato inoltre utilizzato per la realizzazione del Palazzo della Cassa di Risparmio, del Palazzo della Borsa, del Gran Comando Militare, del Cimitero Monumentale, dell'Arena nel Foro Bonaparte; sono stati inoltre realizzati con il ceppo i piloni del ponte di Trezzo e lo zoccolo del Teatro Donizzetti di Bergamo.



Fotografia 3: Il Ceppo in varietà "mezzano".

Nel sua *"Monografia della Provincia di Bergamo"* del 1888, Lucio Fiorentini mette in luce i pregi e quindi i motivi del successo di una pietra che in molti casi viene definita "umile": *"I pregi principali di questa puddinga sono la sua inalterabilità agli agenti atmosferici, e l'indurimento che acquista dopo scavata. Inoltre per la sua tinta calda e simpatica è il materiale che a preferenza di altri si presta per l'ornamentazione di fabbricati in stile barocco, e viene da molti scelta anche perché in pochi anni prende una tinta che dà l'aspetto di antico, ciò che si confà a tal genere di stile"*.

Lo sviluppo maggiore dell'attività estrattiva si ebbe a partire della fine del settecento e per tutto l'ottocento, in questo periodo, venne, infatti, tolta ogni supremazia feudale dell'antico castello di Trezzo. Nei secoli precedenti questo castello

“col suo minacciante predominio, teneva lontani da sé i lavori di scavo, non solo sulla sponda destra, ma anche nei territori che gli stavano di contro, sulla sponda sinistra, ossia la bergamasca”.

Fra il XVII e il XVIII secolo le cave del ceppo erano al centro dell'economia del paese, già il Mairone da Ponte, nel suo *Dizionario Odeporico* descrivendo Capriate: *“...il villaggio è popolato di seicento ottanta, e più persone quasi tutti agricoltori o addetti alla professione di taglia pietra, essendo che le alte rive dell'Adda, sono tutte conformate di grandi massi d'arenaria composta di sabbia e di ciottoli insieme collegati, denominati **ceppo** che si impiega molto utilmente nelle fabbriche e nelle opere di architettura, e di statuaria...”.*

Una documentazione successiva, ma sempre del diciannovesimo secolo, riporta che fra le cave bergamasche, quelle di ceppo, occupassero il maggior numero di persone, 335 nel 1890.

Uno degli ultimi autori che si occupa in parte delle cave di ceppo dell'Adda è Orombelli (1979), che descrive come *“il ceppo dell'Adda e del Brembo sia stato largamente utilizzato come materiale da costruzione nel corso dei secoli, non soltanto negli abitati immediatamente prospicienti ai luoghi di cava, ma anche in centri più distanti, in particolare a Milano, ove a partire dal XV secolo, era trasportato per via d'acqua, lungo il Naviglio Martesana. Le principali cave si trovano lungo le due sponde dell'Adda, da Paderno sino a Canonica, e lungo il Brembo nei dintorni di Brembate Sotto.*

A Milano il ceppo fu la pietra maggiormente usata dai Romani, particolarmente nel tardo Impero (Teatro, Arena, mura di cinta). In età comunale fu usato per la costruzione di S. Ambrogio. Nel XVI e XVII secolo il ceppo fu largamente impiegato nell'architettura tardorinascimentale e barocca (Palazzo Marino, Palazzo dei Giureconsulti, Casa degli Omenoni, S. Lorenzo, S. Stefano etc.).

Anche l'architettura neoclassica fece uso del ceppo (Porta Comasina, Arena), come pure quella del tardo – ottocento o dell'inizio secolo (Giardini Pubblici, etc.)”.

4.3 BACINO DELL'ADDA

4.3.1 Depositi fluvioglaciali pre – würmiani “Unità di Medolago”

L'unità affiora estesamente nella parte settentrionale del territorio comunale di Capriate San Gervasio; è costituita da ghiaie a supporto di matrice limosa argillosa, pedogenizzate per tutto lo spessore dell'unità; si tratta in prevalenza di depositi fluvioglaciali.

L'Unità di Medolago comprende depositi di löess limoso argilloso, fluitati in varia misura, a seconda della posizione topografica, sovrapposti a depositi fluvioglaciali e/o alluvionali. Nonostante l'alterazione, la petrografia dei ciottoli, prevalentemente arrotondati e discoidali, permette di riconoscere una provenienza alpina (elevata percentuale di rocce endogene e metamorfiche, tra cui intrusivi basici e ultrabasici). La composizione petrografica dei depositi testimonia un'area di alimentazione estesa all'attuale bacino dell'Adda.



Fotografia 4: Particolare dell'aspetto tipico dell'Unità di Medolago completamente pedogenizzata.

L'Unità di Medolago è fortemente pedogenizzata per l'intero spessore: i suoli si sviluppano sui limi d'origine eolica e sulle sottostanti ghiaie, fino alla superficie erosionale che, ad una profondità massima di circa 3,5 metri, la separa da un suolo sepolto sviluppato dal Ceppo del Brembo. Nei limi, che raggiungono spessori tra 1.4 e 3 metri, il suolo assume spesso carattere di frangipan. Proprio per la presenza di questa profonda alterazione e di depositi löessici, è stata oggetto in passato ad coltivazione mineraria per argilla per laterizi. L'ubicazione di tali cave, proprio la modesta risorsa presente ed i limitati volumi di materiale asportati, oggi non è riconoscibile su base morfologica in quanto i siti sono stati completamente trasformati dall'attività agricola.

L'unità giace alla sommità di un terrazzo sensibilmente rilevato rispetto al livello fondamentale della pianura, delimitato su tutti i lati da scarpate nette, con dislivelli fino a 20 metri. La superficie, incisa da un reticolo idrografico fossile, presenta forme depresse a fondo prevalentemente piatto o concavo, ad andamento spesso discordante rispetto alle direzioni di flusso del reticolo attuale. In corrispondenza dei margini del pianalto i corsi d'acqua attuali hanno generato incisioni profonde ed acute, indice di una morfogenesi ancora attiva.

L'Unità di Medolago copre in discordanza suoli che costituiscono la parte sommitale pedogenizzata del Ceppo del Brembo. A Nord, l'Unità di Medolago passa, senza discontinuità morfologiche apprezzabili, all'Unità di Sotto il Monte. Non sono chiari i rapporti con il Ceppo Poligenico che potrebbe costituire il corpo principale inalterato dell'unità in esame, preservato all'interno di una paleo – forra ed attualmente separato da essa per i successivi eventi erosivi e deposizionali, oppure rappresentare un ciclo deposizionale distinto. La prima ipotesi sembra tuttavia non accettabile, poiché tra la sommità dell'Unità di Medolago e la quota del limite

inferiore di suolo osservato nel Ceppo Poligenico si registra un dislivello di circa 35 metri, spessore troppo elevato per un suolo relativo ad un'unità in questo contesto stratigrafico e morfologico.

Gli unici elementi a disposizione per collocare cronologicamente l'Unità di Medolago sono le relazioni con il sottostante Ceppo del Brembo ed i dati pedologici, che portano congiuntamente ad indicare con età minima il Pleistocene medio (780.000 – 500.000 anni).

Per quanto riguarda le coperture costituite dai depositi löessici si possono riconoscere due eventi sedimentari diversi. Il primo evento appartiene al periodo intermedio tra la glaciazione Mindel e Riss (Pleistocene medio), mentre il secondo evento appartiene al periodo intermedio tra la glaciazione Riss e Würm (Pleistocene superiore).

L'ambiente deposizionale dei limi eolici è tipico di fine glaciazione quando, sull'alta pianura, vi era la costante presenza di forti venti che trasportavano sabbie fini e limi.

Per quanto riguarda i suoli che ricoprono l'unità di Medolago, numerosissimi furono gli autori che si sono occupati dell'area lombarda; osservazioni sul "Ferretto" risalgono a più di un secolo e mezzo fa e coinvolsero studiosi di diverse nazionalità: tra i primi si ricordano gli italiani Taramelli, Curioni, Sacco, Artini ed i tedeschi Penck, Bruckner e Blanck.



Fotografia 5: Contatto suolo – Unità di Medolago in uno scavo effettuato a nord di via Grignano.

Essenziale è stato il contributo più recente dei geopedologi di scuola francese come Gabert, Billard E Chardon; da menzionare anche l'ampia trattazione sul tema da parte di Comel nel 1968. Recentemente molti pedologi italiani hanno con-

dotto degli studi di dettaglio sui suoli lombardi: si ricordano F. Mancini, F. Previtali e M. Cremaschi; quest'ultimo ha pubblicato nel 1987 un documento di sintesi inerente i paleo – suoli ed i vetusuoli della piana centrale del Po.

I suoli presenti sull'unità di Medolago nel territorio comunale di Capriate San Gervasio sono caratterizzati da un'associazione di Typic FRAGIUDALFS fine silty mixed, mesic.

L'uso del suolo principale di Questa unità, dove non sia stato urbanizzato, è seminativo (anche se di bassa produttività), sono anche diffusi i prati e gli incolti. Le colture tipiche hanno, con diffusione maggiore che altrove, carattere estivo quali il mais e la soia. In passato, come già citato, i suoli sono stati oggetto di modesta attività estrattiva per la produzione di laterizi.

Il substrato di questi suoli, inteso come orizzonte limitante all'approfondimento radicale, è costituito quasi sempre da limi argillosi costipati impermeabili (fragipan); sia il fragipan che i sottostanti depositi fluvioglaciali "ferrettizzati" (ovvero ciottoli e ghiaia completamente alterati in matrice argilloso – limosa rossastra) presentano evidenze di intensi fenomeni di alterazione ed argilluviazione e, nell'ambito del pedon, sono considerati orizzonti B (Btx e 2Bt).

I suoli, privi di pietrosità, a tessitura limoso – fine e drenaggio mediocre, sono caratterizzati dalla presenza del fragipan a profondità variabile, da 60 – 70 cm ad un massimo di 130 cm, sempre sottostante ad un orizzonte Bt con chiare tracce di illuviazione pedogenetica di argilla. Il pH degli orizzonti superficiali varia da acido a subacido, mentre nel fragipan è subacido o neutro. Il T.S.B. si mantiene spesso al di sotto del 50%. L'unità è molto omogenea ed è raro non osservare la presenza del fragipan.

4.3.2 Depositi fluvioglaciali würmiani "Unità di Cantù"

L'unità affiora estesamente nella parte centrale del territorio comunale di Capriate San Gervasio; è costituita da ghiaie e sabbie stratificate e limi d'esondazione, si tratta di depositi fluvioglaciali e alluvionali.

I depositi sono costituiti da ghiaie con ciottoli arrotondati a supporto di clasti o di matrice, con matrice in genere sabbiosa e sabbie spesso a laminazione incrociata. Grossolanamente stratificati, costituiscono corpi lenticolari o stratoidi, spesso con strutture interne quali gradazioni inverse o normali, embricature dei ciottoli, cluster e laminazione incrociata. Spostandosi dalle zone prossimali del paleo – ghiacciaio alle zone più distali, questi depositi presentano una grossolana stratificazione suborizzontale o incrociata planare a basso angolo; meno frequentemente una stratificazione incrociata concava; frequenti anche strati e lenti sabbiose a struttura interna laminata. Localmente la sommità mostra sequenze con passaggio da ghiaie a limi con ciottoli sparsi, destrutturati dall'azione pedogenetica o dalle pratiche agricole.

Secondo conteggi petrografici, questi depositi sono caratterizzati da quantità variabili di rocce carbonatiche (0 – 40 %) e cristalline (38% – 86%) e da una scarsa presenza di rocce sedimentarie terrigene (3% – 13%), con prevalenza, tra

queste ultime, di litotipi a cemento carbonatico.

L'Unità di Cantù presenta in genere una morfologia pianeggiante e caratterizza la porzione centrale del territorio comunale di Capriate S. Gervasio.

L'Unità di Cantù tronca e sutura i conglomerati del Ceppo del Brembo e del Cepo Poligenico. L'Unità di Cantù è coperta dai depositi dell'Unità Postglaciale che sono in equilibrio con il ciclo sedimentario attuale. Ne segue che l'Unità di Cantù comprende i sedimenti depositi dall'ultima avanzata glaciale nel territorio comunale.

L'Unità di Cantù, per i suoi rapporti stratigrafici, è attribuita al Pleistocene superiore.

L'uso prevalente del suolo presente su Questa unità è seminativo, ma si rinven- gono anche prati stabili e rare colture arboree (pioppeti); diffusissimi gli insedia- menti urbani ed industriali. La superficie a morfologia sub – pianeggiante, ha una pietrosità elevata con predominanza di pietre piccole, ma talora con moderata presenza di pietre di dimensioni medie.

Si osservano limiti morfologici mal conservati, con tutta probabilità indice di anti- che vie di drenaggio; a sud, lungo il bordo del terrazzo, sono comuni fenomeni di franamento ed erosione idrica diffusa, favorita dalla presenza della grossa cava di ghiaia Demi. L'unità è una consociazione di Hapludalfs tipici franco – fini la cui famiglia granulometrica, per la quantità di scheletro presente, si avvicina al limite tassonomico della famiglia scheletrico – franca, di cui sono frequenti le inclusioni. Parallelamente il regime idrico udico di questi suoli si avvicina al limite dello xerico, e ciò permette di classificare tali inclusioni come Haplo – xeralfs tipici schele- trico – franchi, in particolare laddove il profilo è meno profondo. I suoli sono pro- fondi da 60 a 100 cm, con scheletro che aumenta gradualmente con la profondità dal 10 – 20% fino al 60% e con tessitura franca in prevalenza (talvolta franco – argillosa in profondità); il pH aumenta verso il basso mantenendosi su valori su- bacidi; il T.S.B. raggiunge punte del 60% a medie profondità; il drenaggio è buo- no, talora rapido.

4.4 UNITÀ POSGLACIALE: DEPOSITI LEGATI A PALEO – TORRENTI (SABBIE, LIMI ED ARGILLE) DIVAGANTI SUL PIANALTO

Questi depositi sono presenti nella porzione settentrionale e centrale del territorio di Capriate San Gervasio. Sono collegati all'azione di palo – torrenti che hanno agito e rielaborato la superficie delle più antiche unità di Cantù e di Medolago.

Questi depositi legati a paleo – torrenti, sono costituiti da ghiaie con ciottoli arro- tondati a supporto di clasti o di matrice, con matrice in genere sabbiosa, la fra- zione che prevale è quella fine, costituita da sabbie, limi ed argille. La natura lito- logica è molto variabile ed è relazionata alla natura delle sottostanti alluvioni flu- vioglaciali; elevata è la presenza di elementi litici di origine antropica.

Si distinguono soprattutto su base morfologica, manifestandosi come forme de- presse a vario grado di sinuosità ed orli più o meno netti.

L'età stimata per questi depositi è compresa fra l'Olocene ed il Pleistocene superiore.

I suoli che si sviluppano sui depositi di paleo – torrenti sono diversificati in relazione all'effettivo grado di abbandono, e quindi di attività, delle aste fluviali e dall'intensità dell'intervento antropico che ha contribuito in forte misura al rimaneggiamento od al seppellimento dei suoli.

I suoli presenti nella porzione più settentrionale del paleo – alveo posto sul pianalto (da circa via Bergamo), si presentano in superficie privi di pietrosità, con una morfologia sub – pianeggiante o concava e caratterizzata da deboli fenomeni erosivi ai lati e colluviali al centro. L'uso del suolo prevalente è il seminativo. La variabilità di forme, determinata da un'eterogenea attività dell'agente morfogenetico, accompagna una differente evoluzione pedogenetica. I tipi pedologici qui presenti caratteristici hanno le seguenti caratteristiche:

- a) suoli con presenza di fragipan, come sulla superficie modale, ma generalmente a profondità maggiore (Typic Fragiudalf)
- b) suoli con assenza di fragipan entro i due metri, per una probabile sua maggiore profondità, ed evidenza di illuviazione di argilla a testimonianza di un ciclo pedogenetico piuttosto lungo (Typic Hapludalf)
- c) suoli con assenza di fragipan entro i due metri per una sua maggiore profondità o per asportazione, ed assenza di tracce di illuviazione di argilla a testimonianza di un ciclo pedogenetico più breve (Dystric – fluventic Eutrochrept).

Tutti questi suoli hanno in comune, oltre alla famiglia granulometrica limoso – fine, l'elevata profondità e l'assenza di scheletro ad esclusione di alcuni sottili livelli di origine fluviale, rinvenuti negli Eutrochrepts. Il pH è acido in superficie e sub – acido in profondità, mentre la saturazione, bassa in superficie, aumenta in profondità raggiungendo anche valori alti; il drenaggio è buono o mediocre, a seconda della presenza e della profondità del fragipan, che determina la formazione di falde temporanee. È stata riscontrata la limitata presenza della famiglia limoso – grossolana dei Typic Fragiudalfs.

Sulla parte meridionale del paleo – alveo (circa dalla fine di via Leonardo Da Vinci), la superficie sub – pianeggiante ha una pietrosità assente o scarsa ed è prevalentemente utilizzata a bosco ceduo, in cui è diffusa la robinia. Lungo le scarpate che delimitano l'unità sono frequenti fenomeni erosivi.

Il substrato è costituito da: fragipan (molto raramente); depositi fluvioglaciali alterati (2Bt della superficie modale); ciottoli arrotondati poco alterati, probabilmente i resti non sfatti del materiale eroso a monte. I suoli, evolutisi da sedimenti fini alterati, sono caratterizzati da profondità variabili dai 60 cm ad oltre il metro, da uno scheletro a volte abbondante in profondità, dalla tessitura molto variabile (FL, FLA, FS, F), dal drenaggio buono o rapido, dal pH acido o molto acido e dal grado di saturazione del complesso di scambio molto basso (in superficie il pH ha valori intorno a 4.5 ed il T.S.B. percentuali di 5 – 10%; in profondità il pH raggiunge valori subacidi e la saturazione aumenta attestandosi comunque su va-

lori bassi). La variabilità granulometrica non permette la classificazione a livello di famiglia.

Per quanto riguarda i suoli presenti sul paleo – alveo posto sull'Unità di Cantù la caratterizzazione non è possibile per l'elevato grado di urbanizzazione presente.

4.5 UNITÀ POSGLACIALE: DEPOSITI FLUVIALI DI PERTINENZA DEL FIUME BREMBO

I depositi fluviali postglaciali di pertinenza del Fiume Brembo affiorano solamente a Sud del territorio comunale, in corrispondenza della confluenza tra il Brembo e l'Adda.

I sedimenti fluviali del Brembo sono ubicati all'interno delle incisioni fluviali scavate durante l'ultima espansione glaciale: orli di terrazzo molto netti, con dislivelli spesso superiori ai 10 metri, li separano dalle alluvioni fluvioglaciali. Sono, a loro volta, organizzati in un'articolata serie di terrazzi a differente quota. La litologia di superficie è in genere molto variabile, con alternanze di zone ghiaiose ed altre con ghiaia molto scarsa o assente. La composizione petrografica dei depositi situati lungo il corso d'acqua, prima della confluenza con l'Adda, è indicata a quella dell'unità di età precedente Ceppo del Brembo.

I depositi in questione sono, nell'area considerata, in eteropia con i depositi fluviali postglaciali di pertinenza del fiume Adda.

Nelle alluvioni del fiume Brembo predominano gli Alfisuoli (Hapludalfs tipici o mollici), mentre in quelle corrispondenti al fiume Adda si rinvengono sia Alfisuoli che Inceptisuoli (questi ultimi prevalentemente Eutrochrepts a carattere fluventico).

Il comportamento dei suoli, conferma la differenza di provenienza e di chimismo dei materiali trasportati e depositati dai due fiumi.

La reazione è in media neutra (pH 7.1) negli orizzonti superficiali, aumenta lungo il profilo raggiungendo spesso valori alcalini nelle alluvioni del fiume Brembo e valori subalcalini in quelle dell'Adda.

Per i carbonati totali nelle unità relative al Brembo si rinvengono valori anche elevati, solo a grande profondità (sotto i 150 cm), mentre nei suoli dell'Adda, sono presenti più diffusamente lungo il profilo, senza mai raggiungere valori superiori al 6% in profondità.

Il T.S.B. si mantiene sempre molto alto nei suoli lungo il fiume Brembo (media di 89%); al contrario nell'area d'influenza del fiume Adda la saturazione è variabile.

Il contenuto di sostanza organica varia in media da 2.5% negli orizzonti superficiali a 1.1% negli orizzonti diagnostici.

La tessitura è generalmente franca o franco – limosa in superficie, si mantiene tale negli orizzonti inferiori dei suoli adiacenti il fiume Adda, presentando casi sporadici di tessitura franco sabbiosa; nei suoli relativi alle alluvioni del Brembo la tessitura negli orizzonti diagnostici tende al franco – argilloso con punte del 30%

di argilla.

Nelle alluvioni del fiume Brembo i suoli, generalmente Entisuoli o Mollisuoli (pochi casi di Inceptisuoli) presentano un comportamento chimico tipico dei suoli giovani, in cui l'elemento caratterizzante è l'abbondanza di carbonati ed in particolare di calcio.

La reazione alcalina, con un pH medio di 7.9 in superficie e di 8.3 nei substrati sottostanti, raggiunge anche valori di 8.7 a 120 cm di profondità (BRB), mantenuta probabilmente da una bassa pressione di CO₂.

Il complesso di scambio risulta totalmente saturato (T.S.B. = 100%). I carbonati totali, presenti spesso in tutti gli orizzonti, hanno nei substrati sabbiosi valori molto elevati (da 23 a 46%).

La sostanza organica ha un andamento non sempre regolarmente decrescente con la profondità, per la frequente presenza in queste aree di suoli con caratteristiche fluventiche; i valori elevati di sostanza organica negli orizzonti superficiali si verificano spesso in corrispondenza di un minor sfruttamento agricolo dei suoli, adibiti infatti a prato o prato – pascolo.

La tessitura, generalmente franca o franco – sabbiosa in superficie diventa più grossolana negli orizzonti sottostanti (FS – SF – S).

4.6 UNITÀ POSGLACIALE: DEPOSITI FLUVIALI DI PERTINENZA DEL FIUME ADDA

I depositi fluviali postglaciali di pertinenza del Fiume Adda affiorano nell'area a Sud di S. Gervasio, più precisamente nei dintorni del villaggio Crespi; inoltre tali sedimenti sono largamente diffusi sulla penisola di Capriate S. Gervasio.

I sedimenti fluviali dell'Adda sono ubicati all'interno dell'incisione fluviale scavata durante l'ultima espansione glaciale: orli di terrazzo molto netti, con dislivelli spesso superiori ai 10 metri, li separano dalle precedenti alluvioni fluvioglaciali. Essi sono a loro volta organizzati in una articolata serie di terrazzi minori a differente quota. La litologia visibile è molto variabile, con alternanze di zone ghiaiose e zone con ghiaia molto scarsa o assente. La composizione petrografica dei clasti rispecchia quanto precedentemente descritto per le unità afferenti al bacino di alimentazione dell'Adda.

Per quanto riguarda la copertura di suolo si vedano le considerazioni esposte nel paragrafo precedente relativo ai depositi fluviali postglaciali di pertinenza del Fiume Brembo.

4.7 UNITÀ POSGLACIALE: DEPOSITI COLLUVIALI

Si osservano come fasce ad Ovest dell'abitato di Capriate ad andamento parallelo all'Adda. Si tratta in prevalenza da materiale eroso dall'Unità di Medolago e trasportato per azione di acque superficiali. La composizione granulometrica di questi depositi è rappresentata da ghiaie fini e sabbie con limo a raro supporto clastico o, più spesso, a supporto di matrice. Lo spessore massimo di questi depositi

è di alcuni metri. La litologia dei clasti è simile a quella che si riscontra nell'Unità di Medolago. I suoli che ricoprono i depositi colluviali sono ben sviluppati e profondi e presentano caratteristiche simili a quelli presenti nelle depressioni presenti sul pianalto ferrettizzato, prodotte da paleo – torrenti.

4.8 UNITÀ POSGLACIALE: DEPOSITI DI CONOIDE FLUVIO – COLLUVIALE

Sono localizzati allo sbocco del corso d'acqua presente nella parte ovest di via S. Gabriele. Sono costituiti da ghiaie, anche ben selezionate, con matrice sabbiosa abbondante e supporto sia clastico che di matrice; più raramente si osservano sabbie e ghiaie ben lavate. I clasti sono arrotondati, in quanto provengono dall'erosione di depositi fluvioglaciali preesistenti. Questi corpi sono solitamente organizzati in corpi lenticolari clinostratificati, spesso massivi, o con ciottoli iso-orientati o a gradazione inversa, o con strutture minori quali laminazioni oblique a basso angolo e letti a ciottoli. La litologia dei clasti sono litologicamente riferibili ai litotipi dei bacini di alimentazione locali.

Nelle porzioni più prossimali, sono anche depositi antropici che non sono stati cartografati separatamente in quanto questi ultimi non sono delimitabili.

4.9 UNITÀ POSGLACIALE: DEPOSITI DI DEGRADAZIONE DELLE SCARPATE

Questi depositi si osservano un po' ovunque sul territorio comunale di Capriate San Gervasio in corrispondenza di aree di scarpata.

Si tratta di diamicton a ciottoli arrotondati provenienti da depositi fluvioglaciali e alluvionali, a supporto sia clastico che di matrice: la matrice, ove presente, va da sabbioso siltosa ad argillosa. Sono assenti strutture significative, ma si riconoscono frequentemente lenti parallele al pendio.

Si sono distinti in due gruppi principali in base alla granulometria prevalente che li costituisce.

I depositi più grossolani sono collegati alla degradazione delle scarpate composte in prevalenza da "ceppo" e dalle unità würmiane e post – würmiane. La litologia dei clasti è pertanto simile alle unità degradate. In questo caso vi è un alto grado di evoluzione e pertanto il suolo è assenti o poco sviluppato.

I depositi più fini sono collegati alla degradazione dell'orlo di terrazzo che separa l'Unità di Medolago e l'Unità di Cantù. Anche in questo caso la litologia dei clasti è simile all'unità in degradazione (Unità di Medolago). La granulometria fine è riconducibile a due fattori: il primo è il basso gradiente di pendenza per la ridotta altezza della scarpata in degradazione, mentre il secondo è la natura litologica e la spessa copertura di suoli e löess che caratterizzano l'Unità di Medolago. Localmente si rinvengono piccoli conoidi di deiezione con sedimenti interdigitati con gli altri depositi.

A differenza dei depositi di degradazione grossolani, dove il grado di evoluzione è basso, in questo caso si sono formati suoli profondi e ben evoluti. L'uso del suolo è a seminativo e subordinatamente a prato stabile, incolto e bosco. La pietrosità

superficiale è media con predominanza di pietre piccole e scarse pietre medie; il substrato ghiaioso – ciottoloso sciolto, ha una composizione variabile in funzione della zona, anche se prevalentemente costituito da rocce terrigene (arenarie scure, siltiti, marne), rocce metamorfe – che (gneiss, micascisti e quarzo metamorfico), rocce granitoidi e carbonatiche; i ciottoli sono mediamente alterati (molto alterati laddove sono costituiti da arenarie e marne), hanno una forma da isodiametrica a tabulare ed un indice di arrotondamento da elevato a scarso secondo la composizione litologica. L'unità dal punto di vista pedologico è un gruppo indifferenziato composto in prevalenza da Hapludalfs tipici franco – fini e da suoli simili caratterizzati da un orizzonte arato più scuro (10 YR 3/4) classificati come Hapludalfs mollici franco – fini; le impurità sono costituite da Hapludalfs ultici, Dystrochrepts fluentici e rari Udorthents tipici. Gli Hapludalfs tipici di questa unità sono suoli profondi da 80 a 110 cm, con scheletro che aumenta gradualmente con la profondità dal 10 – 20% al 50 – 60% e tessitura franca o franco – limosa (talora franco – argillosa in profondità); il pH aumenta verso il basso da valori acidi a sub – acidi e la saturazione in basi passa da percentuali basse a medio – alte; il drenaggio è generalmente buono. Gli Hapludalf a mollici si differenziano (oltre che per l'epipedon più scuro) per una profondità del suolo a volte maggiore (fino a 130 cm), valori di pH più elevati in profondità (fino a 7.5) e saturazione in media più elevata.

4.10 UNITÀ POSGLACIALE: DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI TERRAZZATI

Si tratta di depositi fluviali postglaciali variamente pedogenizzati, aventi uno spessore compreso fra i 2 – 5 metri, corrisponde ad una fascia sviluppata lungo le sponde della penisola di Capriate San Gervasio, non più interessata da processi connessi agli agenti fluviali ordinari.

I suoli che li caratterizzano, dello spessore variabile compreso tra 0 ed 1 m, sono del tipo Udalfs, cioè moderatamente profondi con scheletro abbondante in superficie e molto abbondante in profondità, tessitura limoso – argillosa in superficie, sabbioso – argillosa in profondità. Questi depositi sono considerati dell'Olocene. Le alluvioni terrazzate ricoprono i depositi postglaciali di pertinenza del fiume Adda e sono ricoperte dalle alluvioni attuali.

4.11 UNITÀ POSGLACIALE: DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI

Sono depositi localizzabili sui terreni pianeggiati a Sud della confluenza Adda – Brembo. Si tratta di depositi fluviali, dello spessore di circa 10 metri, costituiti da sabbie, ghiaie e blocchi da arrotondati a subarrotondati eterogenici.

Le alluvioni sono ubicate all'interno delle incisioni fluviali scavate dai torrenti durante e dopo l'ultima espansione glaciale: orli di terrazzo molto netti, con dislivelli superiori anche a 5 metri, li separano dalle alluvioni storiche.

Le aree appartenenti a Questa unità risultano, su base morfologica, essere quelle potenzialmente alluvionabili in condizioni di massima piena.

I suoli, dello spessore compreso tra 0 e 0,3 metri comprendono un'associazione

di Udifluents e Fluvaquents, cioè suoli sottili con scheletro scarso in superficie e abbondante in profondità, tessitura limosa in superficie e sabbiosa in profondità. Le alluvioni attuali ricoprono i depositi fluviali postglaciali di pertinenza del fiume Brembo.

4.12 MATERIALI DI RIPORTO

I quantitativi maggiori di materiali di riporto si riscontrano in corrispondenza di Minitalia e nell'area meridionale del territorio comunale.

Si tratta di materiali detritici grossolani, caotici e terrosi provenienti da scavi e demolizioni edili e da attività antropiche in genere. La copertura di suolo è praticamente assente.

5. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

In questa sezione sono raccolte le conoscenze relative all'idrografia superficiale ed alla circolazione idrica sotterranea disponibili per il territorio di Capriate San Gervasio. Tali conoscenze potranno essere utilizzate per la caratterizzazione quantitativa e qualitativa e la difesa delle risorse idriche.

5.1 CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA

Data la stretta connessione tra l'idrografia – idrogeologia ed il clima, è caratterizzato il territorio comunale dal punto di vista climatico e meteorico.

Per una valutazione delle condizioni climatiche del territorio in esame, si sono utilizzati:

- ♦ per le precipitazioni medie e le temperature: "Piano di Bacino del Fiume Ad-da" redatto a cura di Aquatec per conto del il Ministero dei Lavori Pubblici ed il Magistrato del Po con sede a Parma;

Per la caratterizzazione pluviometrica generica dell'Isola Bergamasca si può fare riferimento alla serie pluviometrica dell'Ufficio Idrografico del Po della stazione di Bergamo, che indica una precipitazione totale media di 1243 mm/anno. I valori annuali più frequenti oscillano tra i 1100 e i 1300 millimetri, il valore più basso è 762, mentre il più alto, escludendo un'annata eccezionale in cui piovvero 2117 millimetri, è 1552.

La frequenza media dei giorni piovosi annuali è pari a 100,3. La distribuzione delle piogge presenta due periodi di massima piovosità: uno primaverile nel mese di maggio, ed uno autunnale, meno pronunciato, nei mesi di ottobre – novembre. Vi sono poi due periodi di minima precipitazione in inverno ed in estate: quello invernale, costante e più marcato, è caratteristico di tutta la regione padano – alpina; mentre quello estivo, sicuramente variabile in funzione dell'orografia, è tipico della zona prealpina di transizione tra la pianura e la montagna, mentre sui rilievi tende a scomparire per effetto dell'elevata attività temporalesca.

I regimi pluviometrici delle stazioni ubicate sull'Isola Bergamasca, rispetto alla stazione di Bergamo, sono di minore rappresentatività per la presenza di serie storiche più brevi ma, pur differendo notevolmente tra loro, conservano una certa importanza pratica locale.

Nell'Isola Bergamasca si osserva una irregolarità tra i dati registrati nelle varie stazioni ed una evidente discordanza tra questi, ed i dati registrati alla stazione di Bergamo. Si devono quindi utilizzare alcune cautele per l'impiego dei dati della Stazione di Bergamo in problemi applicativi da realizzarsi nel territorio comunale di Capriate San Gervasio.

Per quanto riguarda il regime pluviometrico, basato sulla stazione di Bergamo, è stato definito da Gavazzeni di tipo "Prealpino", una varietà del regime continentale per via del minimo assoluto invernale molto pronunciato.

Per quanto riguarda la temperatura media annua per questo settore di pianura bergamasca è di 12,73°C e l’andamento della temperatura è caratterizzato da inverni rigidi ed estati calde, con escursione termica media annua compresa tra i 19 ed i 22°C ed escursione annua assoluta di 54°C (minimo – 18°C; massimo 36°C). Questi dati confermano la continentalità dell’area, ma anche la posizione di transizione climatica occupata; l’escursione termica, infatti, caratterizza il clima continentale della pianura Padana con valori generalmente più alti (superiori ai 23°C), mentre le stazioni della regione pedealpina mostrano escursione progressivamente calante con il crescere dell’altitudine.

Dall’andamento delle precipitazioni e delle temperature, il tipo climatico a cui comunemente si fa riferimento per l’Isola Bergamasca, è una forma di transizione tra il clima temperato continentale della pianura Padana ed il clima alpino, dove le influenze alpine sono date dalle precipitazioni elevate e dall’umidità atmosferica in estate.

Per la caratterizzazione climatica dettagliata del territorio comunale si sono scelte le stazioni più rappresentative (Cassano d’Adda e Brembate Sotto).

5.1.1 Precipitazioni medie

Per quanto riguarda le precipitazioni medie mensili che caratterizzano il territorio comunale si riportano i dati delle stazioni ritenute significative, ovvero Brembate Sotto e Cassano d’Adda. Nelle tabelle sono indicati anche la varianza e lo scarto quadratico medio.

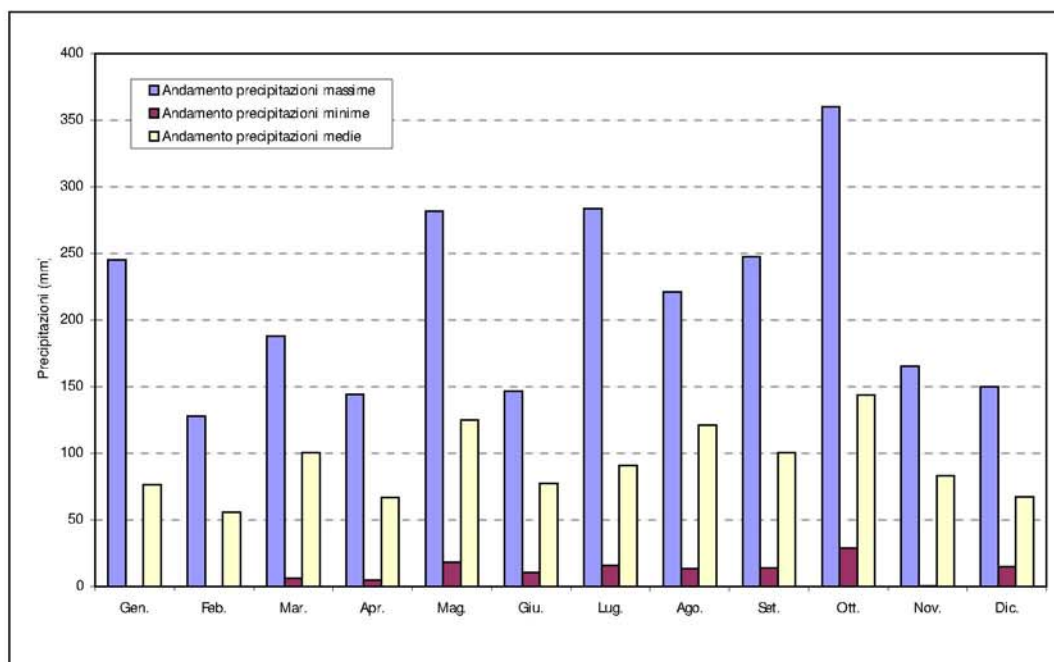


Grafico 1: Andamento delle precipitazioni medie mensili minime, medie e massime, per la stazione di Cassano d’Adda.

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Anno
Max	245,1	128,0	188,2	144,0	281,8	146,7	283,6	220,8	247,5	360,0	165,4	149,8	1731,6

Min	0,0	0,0	6,0	4,6	18,4	10,4	15,9	13,6	13,7	28,8	0,6	15,0	81,26
μ	76,65	55,92	100,4	66,62	124,9	77,42	90,76	121,1	100,4	143,6	83,18	67,15	1108,18
σ	78,93	41,67	55,31	41,90	82,56	40,04	82,30	64,37	80,75	95,61	58,78	37,81	258,33
μ/σ	1,03	0,75	0,55	0,63	0,66	0,52	0,91	0,53	0,80	0,67	0,71	0,56	0,23

Tabella 1: Precipitazioni medie mensili della stazione di Cassano d’Adda lat. 45,32N lon. 9,36E.

Il Grafico 1 riporta l’andamento delle precipitazioni medie mensili minime, medie e massime, per la stazione di Cassano d’Adda.

Dai dati riportati si ricava che le medie mensili dei massimi valori delle precipitazioni si registrano nei mesi estivi e, soprattutto, primo – autunnali. Il massimo assoluto è relativo al mese di ottobre (360,0 mm), anche se valori ancora elevati si registrano nei mesi di maggio (281,8 mm) e luglio (283,6 mm). I valori medi mensili minimi si registrano nei mesi di gennaio e febbraio (0,0 mm). I mesi mediamente più piovosi sono ottobre (143,6 mm), agosto (121,1 mm) e maggio (124,9 mm). Sulla base dei dati sopra riportati il valore medio annuo delle precipitazioni è di 1108 mm.

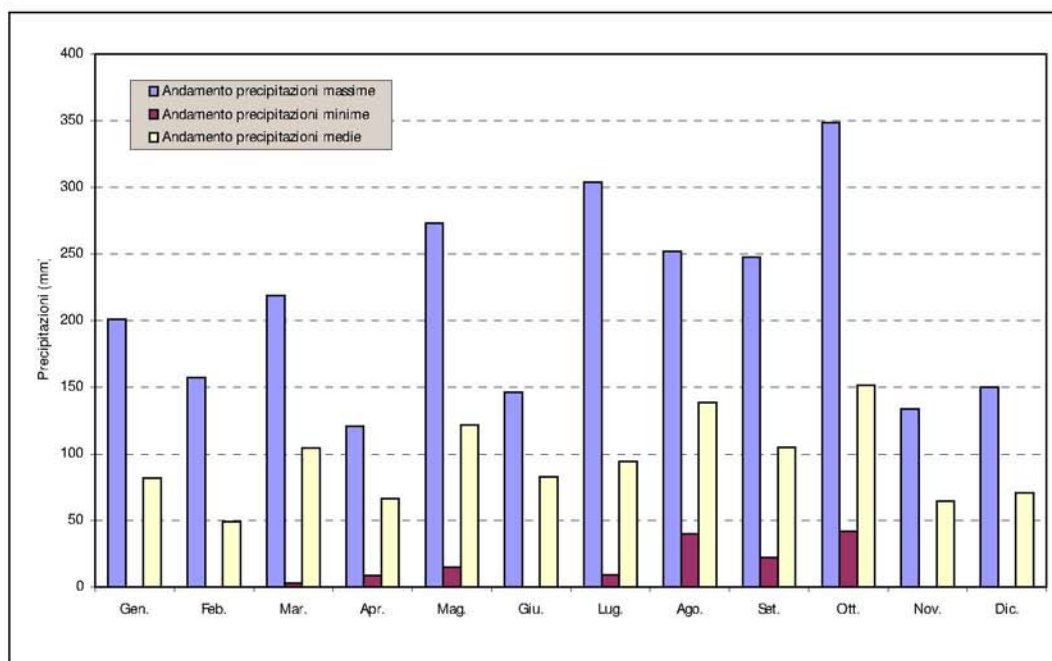


Grafico 2: Andamento delle precipitazioni medie mensili minime, medie e massime, per la stazione di Brembate Sotto.

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Anno
Max	201,0	157,4	219,0	121,0	273,4	146,4	304,0	252,0	248,0	348,6	134,0	150,4	1555,0
Min	0,0	0,0	3,0	9,0	15,0	0,0	9,4	40,0	22,4	41,8	0,0	0,0	797,2
μ	81,65	49,28	104,3	66,71	121,9	82,94	94,65	138,7	105,1	151,5	64,81	70,93	1132,59
σ	70,79	51,27	58,03	38,41	74,09	42,64	87,58	67,18	85,55	96,64	47,45	36,80	226,44
μ/σ	0,87	1,04	0,56	0,58	0,61	0,51	0,93	0,48	0,81	0,64	0,73	0,52	0,20

Tabella 2: Precipitazioni medie mensili della stazione di Brembate Sotto lat. 45.36N lon. 9.33E.

Il Grafico 2 riporta l'andamento delle precipitazioni medie mensili minime, medie e massime, per la stazione di Brembate Sotto.

Dai dati riportati si ricava che le medie mensili dei massimi valori delle precipitazioni si registrano nei mesi estivi e, soprattutto, primo – autunnali. Il massimo assoluto è relativo al mese di ottobre (348,6 mm), anche se valori ancora elevati si registrano nei mesi di maggio (273,4 mm) e luglio (304,0 mm). I valori medi mensili minimi si registrano nei mesi invernali. I mesi mediamente più piovosi sono ottobre (151,5 mm), agosto (139,7 mm) e maggio (121,9 mm). Sulla base dei dati sopra riportati il valore medio annuo delle precipitazioni è di 1132 mm.

Dalla comparazione delle due stazioni di riferimento si nota come Brembate abbia valori di picco, minimi e massimi, ridotti rispetto a quelli misurati a Cassano d'Adda, ma è caratterizzato da una piovosità media più elevata, ovvero più distribuita nel corso dell'anno.

5.1.2 Precipitazioni di breve durata e di forte intensità

Per quanto riguarda la caratterizzazione del territorio comunale per gli eventi di breve durata e di forte intensità, sono riportati i dati registrati nelle stazioni pluviometriche di riferimento che dispongono di serie storiche dei massimi annuali per piogge della durata di 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore. *Da evidenziare che per quanto riguarda le progettazioni ed i dimensionamenti basati su dati meteo, i valori e le metodiche da impiegare sono dettati dal Regolamento associato allo studio del reticolo idrico minore.*

In Tabella 1 si riportano i dati disponibili, relativi alla stazione di Cassano d'Adda.

Anno	1 ora	2 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1980	18,0	27,8	29,8	37,0	63,6
1981					
1982	46,0	47,8	53,6	74,8	75,4
1983	62,0	140,0	166,2	166,2	166,2
1984					
1985	20,0	38,4	38,6	38,6	54,7
1986	15,8	21,0	32,4	37,8	54,0

Tabella 3: Serie storica dei massimi annuali delle piogge (mm) per durata relativa alla stazione di Cassano d'Adda.

In Tabella 4 si riportano i dati disponibili, relativi alla stazione di Brembate Sotto.

Anno	1 ora	2 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1979	19,0	48,2	65,0	95,0	147,8
1980					
1981					
1982					

1983	22,8	22,8	25,4	34,2	60,6
1984	24,0	52,8	72,8	83,4	95,0
1985	38,0	38,6	42,5	53,5	71,4

Tabella 4: Serie storica dei massimi annuali delle piogge (mm) per durata relativa alla stazione di Brembate.

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto, è effettuata attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, ovvero la relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno. L'altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, è l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale ed impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) ed in assenza di perdite.

Per la caratterizzazione pluviometrica puntuale degli eventi di breve durata e forte intensità, sono stati utilizzati dati bibliografici tratti da:

- ♦ *"Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale"* della Provincia di Bergamo, relazione Studio Paoletti (luglio 1994);
- ♦ *"Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"* adottata con deliberazione del Comitato Istituzionale del 26 aprile 2001, n. 18, Autorità di Bacino del Fiume Po
- ♦ *"Valutazione delle piene nell'Italia Nord Occidentale"*, rapporto del progetto VAPI (2001)– Valutazione delle piene in Italia, a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (CNR – GNDCI)

In particolare si sono utilizzati i parametri **a** ed **n** determinati interpolando le serie storiche più rappresentative, idonee per la determinazione dell'altezza di pioggia per durata di 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore.

Si ricorda che la relazione statistica che lega l'altezza delle precipitazioni **h** (in mm) alla durata **d** (in ore) ed al tempo di ritorno **T** (in anni), nota come curva di possibilità pluviometrica, è data dalla seguente espressione:

$$h_T = a_T \cdot d^{n_T}$$

nella quale i parametri **a** ed **n**, funzione di **T**, sono stimati sulla base delle serie storiche di dati disponibili.

A tal fine, nella documentazione di riferimento citata si è ipotizzato che per qualunque durata **d** i valori di **h** seguano la distribuzione di probabilità asintotica di Gumbel, il cui uso è molto diffuso per regolarizzare serie empiriche di valori estremi. Secondo tale modello, la probabilità **P** di non superamento di un generico valore dell'altezza di pioggia **h**, di assegnata durata **d**, è esprimibile con la seguente espressione:

$$P_{(h_t)} = e^{-e^{-\alpha_t(h_t - u_t)}}$$

dove:

h_t = massima altezza di pioggia di durata t ;

P = probabilità con cui h può verificarsi;

α_t e u_t = parametri che caratterizzano la legge di distribuzione.

L'intensità di funzione α e l'estremo atteso u dipendono dalla media e dallo scarto quadratico medio attraverso le relazioni:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = \frac{1,283}{\alpha} \\ \mu = u + \frac{0,5772}{\alpha} \end{array} \right.$$

Il metodo dei momenti fornisce per i parametri α e u le seguenti stime:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{\alpha} = \frac{1,283}{\bar{\sigma}} \\ \hat{u} = \bar{\mu} - 0,450\bar{\sigma} \end{array} \right.$$

dove la media e lo scarto quadratico medio sono ricavabili dal campione.

Poiché l'elaborazione statistica è effettuata sul massimo valore che in un anno assume la grandezza h , è possibile legare la probabilità P al tempo di ritorno T , definito come il numero di anni in cui, mediamente, h è superato una sola volta. La relazione che lega il tempo di ritorno T alla probabilità P è la seguente:

$$T = \frac{1}{1-P}$$

la legge di Gumbel assegna alla pioggia $h_t(T)$ di durata t , con tempo di ritorno T , il valore:

$$h_t(T) = \bar{u}_t - \frac{1}{\bar{\alpha}_t} \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

dove $\bar{\alpha}_t$ e \bar{u}_t sono i parametri caratteristici della distribuzione relativa alla pioggia di durata t , valutabili con il metodo dei momenti.

Prefissato quindi un tempo di ritorno T , gli autori della citata documentazione di riferimento, hanno ricavato le altezze di pioggia per le varie durate (1, 3, 6, 12, 24 ore) introducendo di volta in volta i parametri α ed u calcolati sui campioni rappresentativi disponibili per le durate stesse (ricavati dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano – Parte I, tabella III).

I valori di altezza di pioggia così ottenuti, posti sul piano $\log h$, $\log d$, sono stati

interpolati tramite una retta, adottando il metodo dei minimi quadrati. In tal modo si sono ottenuti, per tempi di ritorno caratteristici, i valori dei parametri **a** e **n** delle curve di possibilità pluviometrica.

Successivamente, sempre nella medesima documentazione di riferimento citata, è stata effettuata una analisi spaziale delle precipitazioni di breve durata e forte intensità tramite l'individuazione delle linee **iso-n** e **iso-a**, dove **a** ed **n** sono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica relative a $Tr=5, 10, 50, 100$ anni (Piano Territoriale Provinciale di Bergamo) e $Tr=20, 100, 200$ e 500 anni ("Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" dell'Autorità di Bacino del fiume Po).

Dall'analisi spaziale si possono quindi ricavare quindi i valori dei parametri **a** ed **n**, validi per la caratterizzazione del territorio comunale per i diversi tempi di ritorno. I parametri **a** ed **n** di seguito riportati sono stati ricavati dalla cartografia allegata ai lavori citati ed i valori corrispondono a quelli presenti nella porzione mediana del territorio comunale.

$Tr_{(anni)} \rightarrow$		5	10	20	50	100	200	500
Provincia di BG	a	39,2	46,0	nd.	61,2	67,8	nd.	nd.
	n	0,243	0,235	nd.	0,223	0,220	nd.	nd.
Autorità di Bacino	a	nd.	nd.	55,5	nd.	73,0	80,0	89,7
	n	nd.	nd.	0,235	nd.	0,218	0,218	0,215

Considerata la diversità di valori di riferimento tra quelli determinati dall'Autorità di Bacino del fiume Po e quelli prodotti dalla Provincia di Bergamo, si adottano i valori più cautelativi, riportati nella seguente tabella caratteristici del territorio comunale:

$Tr_{(anni)} \rightarrow$	5	10	20	50	100	200	500
a	39,2	46	55,5	61,2	73	80	89,7
n	0,243	0,235	0,235	0,223	0,223	0,218	0,215

Da evidenziare che, successivamente alla determinazione di valori **a** e **n** riportati nel *Piano Territoriale di "Coordinamento Provinciale"* e nella *"Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"* è stato realizzato da C. De Michele e R. Rosso uno studio⁽¹⁾ relativo alla valutazione delle piogge di breve durata e forte intensità per l'intero bacino del Po.

All'interno di tale studio è proposta una formulazione per la valutazione dell'altezza di pioggia cumulata con periodo di ritorno pari a **T**, in funzione del valore atteso dell'altezza di pioggia caduta in **d** ore consecutive e del coefficiente di

¹ "Valutazione delle piene nell'Italia Nord Occidentale", rapporto del Progetto VAPI – Valutazione delle piene in Italia, a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (CNR – GNDCI)

crescita K_T ; le formule proposte sono le seguenti:

$$h_T = a_T \cdot d^n \cdot K_T$$

dove

$$K_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \cdot \left(1 - e^{-k y_T}\right)$$

in cui

k = fattore di forma

ε = fattore di posizione

a = fattore di scala

y_T = variabile ridotta di Gumbel pari a $\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]$

Il medesimo studio VAPI riporta i valori di tali parametri per le varie stazioni pluviometriche e le mappe degli stessi per l'intero territorio padano, ricavate con metodi di interpolazione.

Rispetto a quanto riportato nello specifico elaborato del Piano di Coordinamento Provinciale, si osserva che nelle elaborazioni effettuate nel Progetto VAPI sono state considerate delle serie più lunghe per alcune stazioni, mentre alcune stazioni non sono state prese in considerazione (De Calvi, Dezzo, Gerola, Martinengo, Olginate, Tartano, Trona e Valmorta).

Nell'elaborazione finale del Piano di Coordinamento Provinciale (2003), è effettuato un confronto tra le due metodologie (ADBPO – Provincia e VAPI). Da tale confronto emerge che le due metodologie portano a risultati globalmente simili fra loro, anche se in generale l'analisi effettuata da ADBPO – Provincia produce valori leggermente più cautelativi rispetto a quanto riportato nell'elaborato CNR – GNDCI.

Conseguentemente, nel presente documento, non si riportano i risultati dello studio CNR – GNDCI, ma si fa riferimento esclusivamente a quanto riportato dalla documentazione dell'Autorità di Bacino del Fiume Po e della Provincia di Bergamo.

Per l'impiego dei parametri a ed n caratteristici per il territorio comunale, come evidenziato nel Regolamento del reticolo idrico minore, si evidenziano alcuni aspetti:

- ♦ in generale, per aree ad alto valore urbanistico come quelle presenti nel territorio comunale, si utilizzano per il dimensionamento e/o la verifica delle opere civili, tempi di ritorno di 20 anni (reti fognarie, pozzi disperdenti, ecc.);
- ♦ per quanto riguarda la progettazione di opere e le verifiche di compatibilità idraulica lungo i corsi d'acqua minori, in considerazione che nel territorio comunale non vi sono corsi d'acqua minori strumentati e, quindi, non è possibile effettuare analisi idrologiche puntuali, si assume che la portata della piena di

riferimento abbia lo stesso tempo di ritorno T_r di quello dell'intensità di pioggia corrispondente. Per il tempo di ritorno da adottare si deve fare riferimento a quanto previsto dall'allegato 3 dalla DGR VIII/7374/2008 che prevede, salvo casi eccezionali e sotto la diretta responsabilità del tecnico incaricato oltre che con adeguate motivazioni, tempi di ritorno della piena di riferimento pari a 100 anni;

- ♦ per quanto riguarda la progettazione di opere e le verifiche di compatibilità idraulica lungo i corsi d'acqua del reticolo principale, si dovrà fare riferimento alla "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B". In tale direttiva si prevedono tempi di ritorno pari a 100 anni per il dimensionamento delle opere e di 200 anni per la verifica che le opere in progetto non comportino un aggravamento delle condizioni di rischio idraulico sul territorio circostante e per la verifica delle opere esistenti.
- ♦ Nel caso di verifiche e dimensionamenti relativi al reticolo minore, in considerazione della limitata estensione dei bacini idrografici presenti nel territorio comunale, anche in considerazione della limitata estensione dei bacini idrografici, si dovrà escludere l'utilizzo di procedure empirico – fenomenologiche che permettono di introdurre dei fattori correttivi relativamente alla sovrastima dell'altezza di pioggia in relazione alla dimensione dell'area del bacino e del tempo di corrivazione (tipo Wallingford et Alii, ecc.).

Infine si evidenzia che l'impiego dei parametri **a** ed **n** sopra riportati, determinati in base a piogge di durata superiore o pari all'ora, forniscono una modestissima sovrastima dell'altezza di pioggia di riferimento per le verifiche con piogge di durata inferiore all'ora. Si ritiene comunque che questa sovrastima possa essere considerata il minimo fattore di sicurezza da adottare, stante l'incertezza del trasferimento alla situazione reale dei modelli matematici adottati.

Da tutto quanto sopra riportato si ricava che per il territorio comunale si possono statisticamente stimare le precipitazioni massime attese, calcolate per diverse durate e per diversi tempi di ritorno, nelle due aree di riferimento.

I risultati del calcolo sono riportati nella tabella seguente (in mm di pioggia).

T_r (anni) →	5	10	20	50	100	200	500
Durate (ora) ↓							
0,25	27,99	33,21	40,07	44,93	53,59	59,13	66,58
1	39,20	46,00	55,50	61,20	73,00	80,00	89,70
3	51,19	59,55	71,85	78,19	93,27	101,60	113,60
6	60,59	70,08	84,56	91,26	108,90	118,20	131,90
12	71,70	82,48	99,52	106,50	127,10	137,50	153,00
24	84,85	97,08	117,10	124,30	148,30	159,90	177,60

5.1.3 Temperature

Per la caratterizzazione termometrica del territorio Comunale di Capriate San Gervasio si riportano i dati delle stazioni ritenute significative, ovvero Brembate e Cassano d’Adda. I valori raccolti sono relativi alle temperature minime e massime mensili, con indicazione della varianza e lo scarto quadratico medio.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Max	-04	-11	38	79	109	165	214	167	152	90	33	09	84
Min	-62	-32	18	48	89	129	170	154	125	77	07	-11	61
μ	-67	-83	250	630	967	1457	1923	1623	1353	830	217	-17	732
σ	253	097	092	127	088	148	180	059	119	054	109	082	098
μ/σ	-95	-53	037	020	009	010	009	004	009	006	050	-98	013

Tabella 5: Temperature minime nella stazione di Cassano d’Adda.

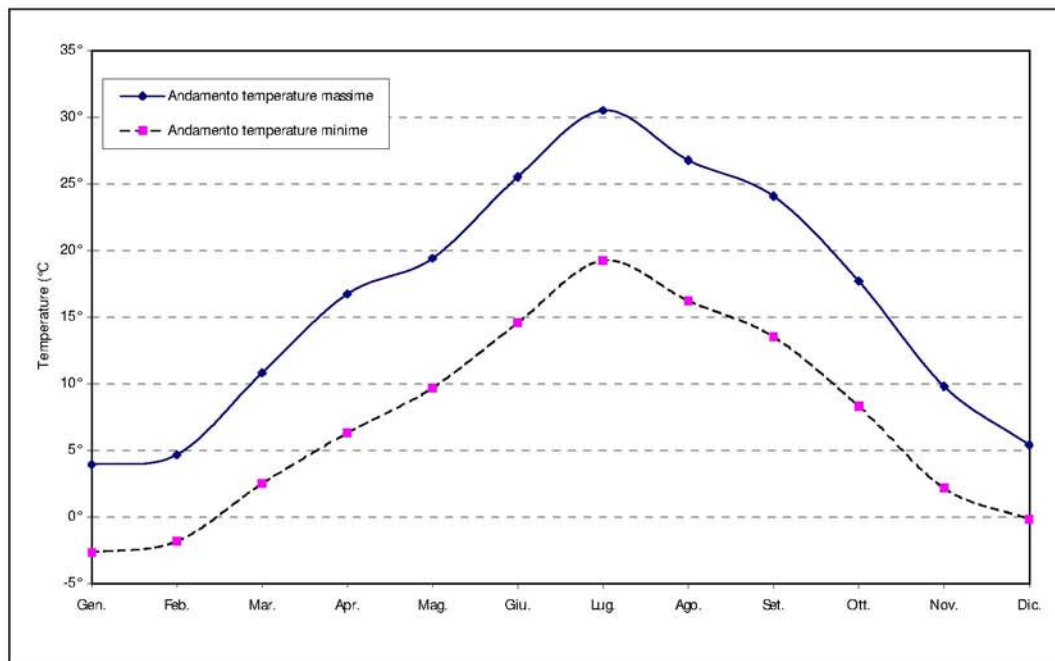


Grafico 3: Temperature minime e massime nella stazione di Cassano d’Adda.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Max	71	60	129	170	205	274	320	273	254	185	110	58	175
Min	-02	30	94	165	177	240	290	263	226	167	79	51	152
μ	398	467	1080	1673	1940	2553	3050	2677	2407	1770	980	540	1627
σ	306	125	151	021	122	141	122	041	115	075	136	029	092

μ/σ	0,78	0,27	0,14	0,01	0,05	0,06	0,04	0,02	0,05	0,04	0,14	0,05	0,06
--------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabella 6: Temperature massime nella stazione di Cassano d’Adda.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Max	13	35	63	81	127	177	240	186	156	108	50	11	87
Min	-46	-17	18	53	87	138	167	116	120	40	13	-15	73
μ	-95	026	389	691	1127	1547	1835	1652	1383	872	288	-35	808
σ	166	163	121	099	098	124	184	175	112	167	106	082	039
μ/σ	-75	622	031	014	009	008	010	011	008	019	037	-32	005

Tabella 7: Temperature minime nella stazione di Brembate.

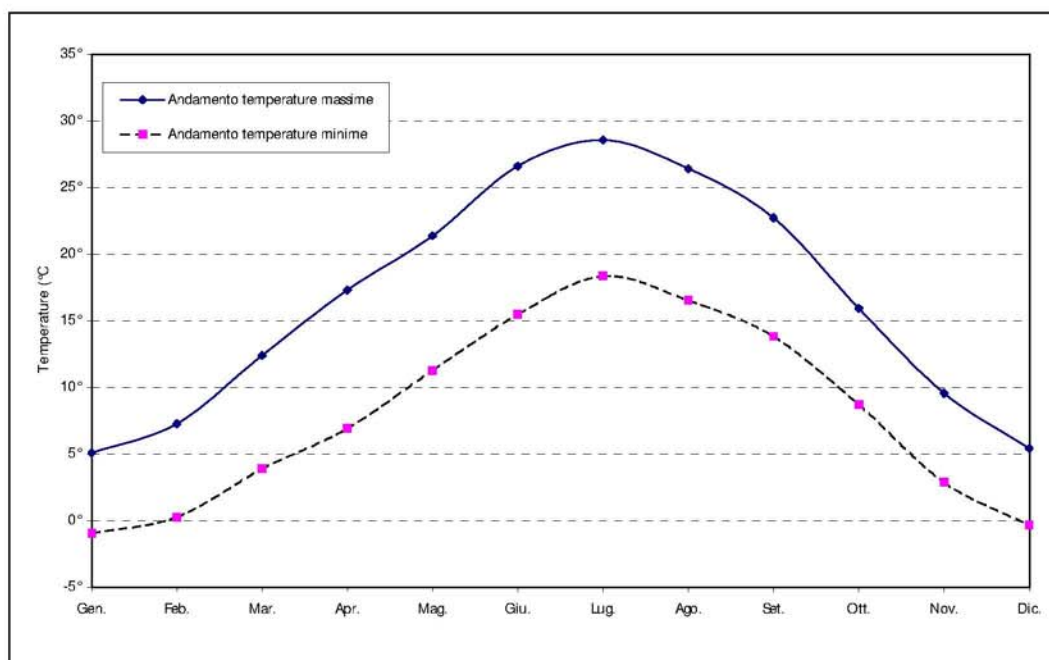


Grafico 4: Temperature minime e massime nella stazione di Brembate.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Max	72	105	140	228	238	289	320	288	242	173	107	72	178
Min	09	5,1	9,0	15,5	18,7	24,2	26,0	24,5	19,6	12,8	7,6	4,3	15,8
μ	5,08	7,28	12,39	17,31	21,37	26,61	28,57	26,42	22,73	15,94	9,57	5,42	16,61
σ	1,68	1,50	1,31	1,73	1,59	1,32	1,61	1,18	1,41	1,07	0,97	0,94	0,59
μ/σ	0,33	0,21	0,11	0,10	0,07	0,05	0,06	0,04	0,06	0,07	0,10	0,17	0,04

Tabella 8: Temperature massime nella stazione di Brembate.

5.1.4 Bilancio idrico

Si riportano ora i bilanci idrici calcolati secondo Thornthwaite, per le stazioni ritenute significative ai fini della caratterizzazione del territorio di Capriate San Gervasio, che permette di costruire una formula climatica destinata a caratterizzare quantitativamente ed in modo sintetico il clima nei suoi rapporti con il suolo.

Il bilancio idrico viene realizzato tenendo conto principalmente di parametri quali la climatologia, l'idrogeologia, la geologia e la copertura del manto vegetale nella zona della stazione di misura. Ogni estrapolazione dei valori ottenuti, soprattutto al variare dell'urbanizzato e, quindi, del deflusso superficiale e dell'evapotraspirazione, introduce errori a quanto effettivamente misurabile.

Le tabelle riportano i valori dei seguenti parametri, espressi in mm, per ogni mese ed il complessivo per l'anno. I valori sono ricavati da misure effettuate in tredici anni.

T	Temperatura media
P	Precipitazioni
PE	Evapotraspirazione potenziale
A.P.WL	Somma dei valori negativi di precipitazioni ed evapotraspirazione potenziale (perdita d'acqua cumulata)
ST	Riserva idrica nel suolo
C.ST	Variazione nella riserva
AE	Evapotraspirazione reale
D	Differenza tra evapotraspirazione potenziale ed evapotraspirazione reale (deficit)
S	Eccesso di acqua nel suolo
RO	Deflusso superficiale
S.M.RO	Contributo nivale del deflusso
T.RO	Somma dei deflussi superficiali
TMD	Ritenzione totale di umidità

Le stazioni ritenute significative per la caratterizzazione di Capriate San Gervasio sono Cassano d'Adda e Brembate Sotto.

Par.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
T	06	14	66	115	145	201	249	215	188	130	60	26	
P	403	321	151,2	88,7	168,9	62,8	26,3	121,4	56,5	60,6	74,8	95,6	979,3

FE	00	00	163	454	737	1180	1601	1192	836	433	88	00	6685
P-FE	374	297	1290	373	893	-612	-139	-37	-33,1	11,3	600	908	247,1
APWL	00	00	00	00	00	-12	-201	-205	-238	00	00	00	
ST	2000	2000	2000	2000	2000	149,1	762	749	639	1244	1993	2000	
CST	00	00	00	00	00	-09	-29	-14	-10	606	748	07	
AE	00	00	163	454	737	1077	982	1168	616	433	88	00	5668
D	00	00	00	00	00	103	669	24	22,1	00	00	00	101,7
S	374	297	1290	373	893	00	00	00	00	00	00	90,1	412,9
RO	41,2	35,5	82,2	62,6	74,3	36,9	21,6	7,9	5,6	00	00	4,1	412,9
SMRO	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
TRO	41,2	35,5	82,2	62,6	74,3	36,9	21,6	7,9	5,6	00	00	4,1	412,9
TMD	241,2	235,2	292,2	262,2	274,3	186,0	98,7	82,8	69,5	124,4	199,3	245,1	2300,6

Tabella 9: Stazione di Cassano d'Adda (Indice di aridità (Ia): 13.9 – Indice di umidità (Ih): 56.4 – Indice di umidità globale (Ia): 42.5).

Par.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
T	24	39	83	121	163	210	234	214	182	122	63	25	
P	746	531	948	683	1181	829	995	1457	1115	1598	590	706	11378
FE	00	39	245	494	872	1264	1476	1194	802	401	108	00	6695
P-FE	702	445	656	143	263	-82	-27	216	267	1150	436	664	3982
APWL	00	00	00	00	00	-82	-101	00	00	00	00	00	
ST	2000	2000	2000	2000	2000	158,7	123,2	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	
CST	00	00	00	00	00	-13	-55	768	00	00	00	00	
AE	00	39	245	494	872	1196	1304	1194	802	401	108	00	6654
D	00	00	00	00	00	69	172	00	00	00	00	00	24,1
S	702	445	656	143	263	00	00	00	267	1150	436	664	4725
RO	66,0	58,0	59,6	37,6	32,1	15,2	8,3	2,5	15,0	64,2	53,9	60,1	472,5
SMRO	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
TRO	66,0	58,0	59,6	37,6	32,1	15,2	8,3	2,5	15,0	64,2	53,9	60,1	472,5
TMD	266,0	258,0	259,6	237,6	232,1	173,9	131,5	202,5	215,0	264,2	253,9	260,1	2754,4

Tabella 10: Stazione di Brembate (Indice di aridità (Ia): 3.2 – Indice di umidità (Ih): 63.5 – Indice di umidità globale (Ia): 60.2).

5.1.5 Regime anemologico

Le condizioni meteorologiche della Pianura Padana centro – occidentale, in cui è localizzato il Comune di Capriate San Gervasio, sono influenzate dalle catene Alpina ed Appenninica, che interferiscono sui flussi a grande scala delle masse d'aria che transitano sul nord Italia.

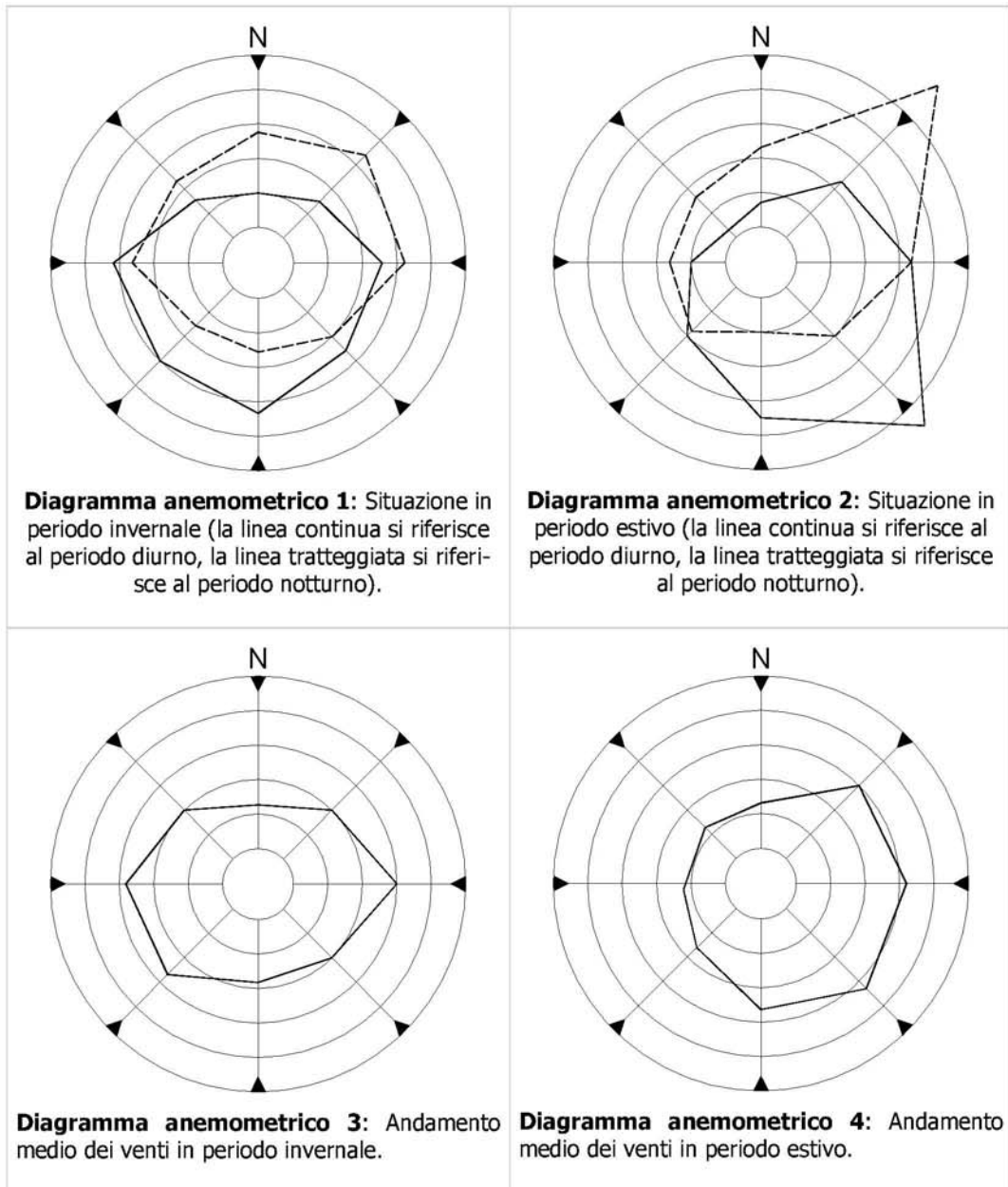


Figura 10: Caratterizzazione anemometrica in quota (60 metri da pc).

A causa di questo fatto la circolazione è debole, con elevata frequenza di calme di vento (fino ai 50% di $V \leq 1$ m/s) e conseguente ristagno atmosferico, specie nei mesi invernali.

Questa caratteristica anemologica favorisce l'insorgere di diversi fenomeni in funzione della stagione e del periodo della giornata. La calma atmosferica, infatti, nelle giornate estive favorisce lo sviluppo di instabilità termoconvettiva e quindi il

rimescolamento dell'aria, mentre nelle notti invernali favorisce l'accumulo di aria fredda che consente la formazione di intense inversioni termiche.

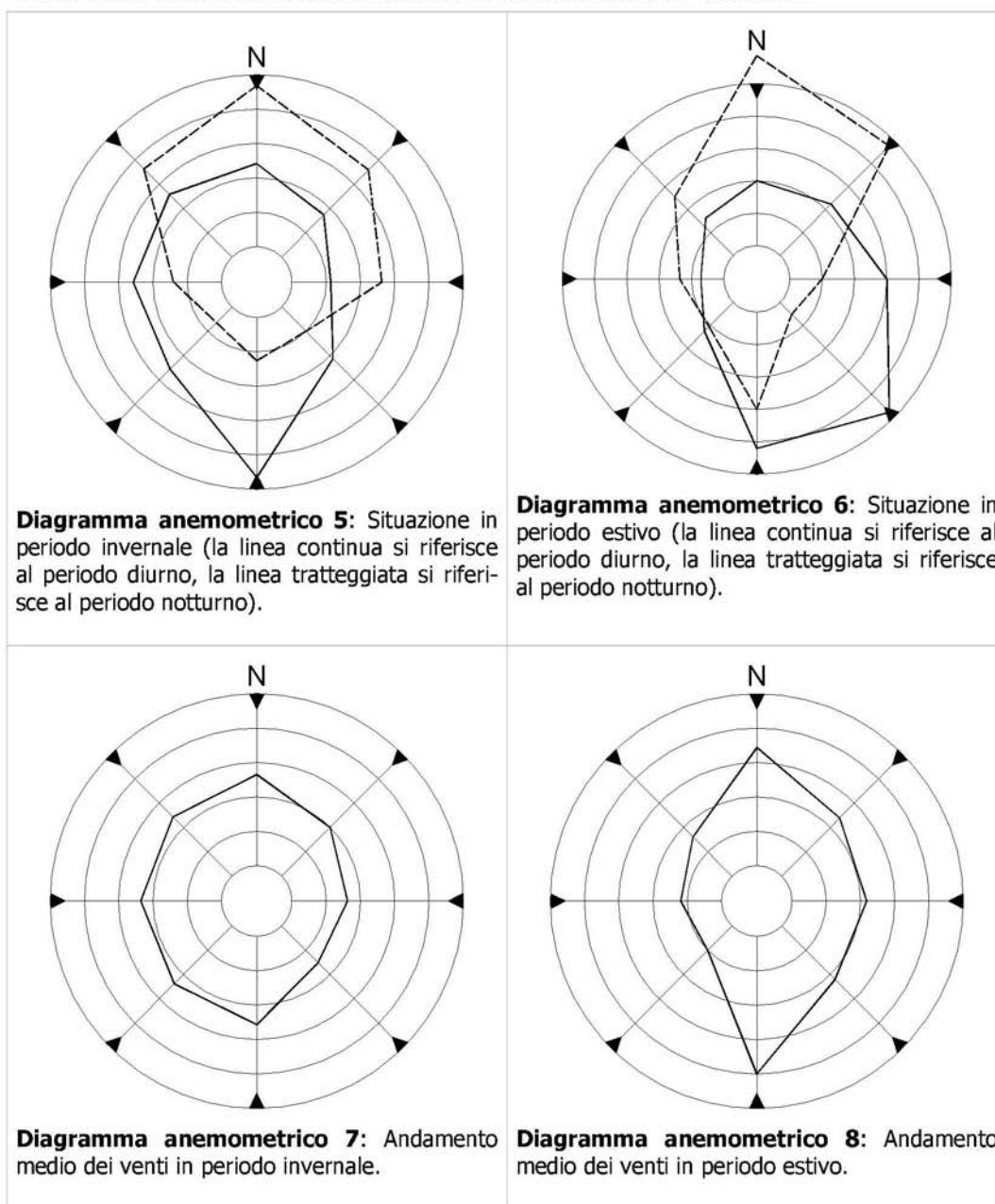


Figura 11: Caratterizzazione anemometrica al suolo (10 metri da P.C.).

Queste ultime, quando di giorno si sollevano soltanto di poche decine di metri sul suolo, senza disperdersi, danno luogo ad intensi fenomeni di fumigazione e, in presenza di nebbia, possono provocare l'accumulo al suolo di tutti gli inquinanti immessi in atmosfera a bassa quota.

Per la caratterizzazione del regime anemologico del Comune di Capriate San Gervasio si fa riferimento alla stazione ENEL di Cassano d'Adda che, data la posizione all'interno della Pianura Padana e la medesima posizione in rapporto al corso dell'Adda, può considerarsi rappresentativa. Nella zona la velocità del vento ai suolo (altezza 10 m) varia da 1,4 m/s nel semestre invernale a 1,6 nel semestre

estivo. Data la presenza della valle dell'Adda è attiva una debole circolazione di brezza, specie al suolo, dove di notte, il vento tende a venire da NNE e di giorno da SSE, specie nei mesi estivi.

In quota la circolazione di brezza è meno pronunciata, specie nei mesi invernali in cui prevale una componente sinottica, mentre d'estate la componente sinottica da E favorisce la brezza da NE di notte e da SE durante il pomeriggio.

Come si può vedere dalle rose dei venti calcolate per i due periodi della giornata (notturno e pomeridiano), ad una quota di circa 60 metri dal suolo i venti estivi tendono a provenire in prevalenza da E, mentre nei mesi invernali i venti tendono ad avere una più forte componente da O.

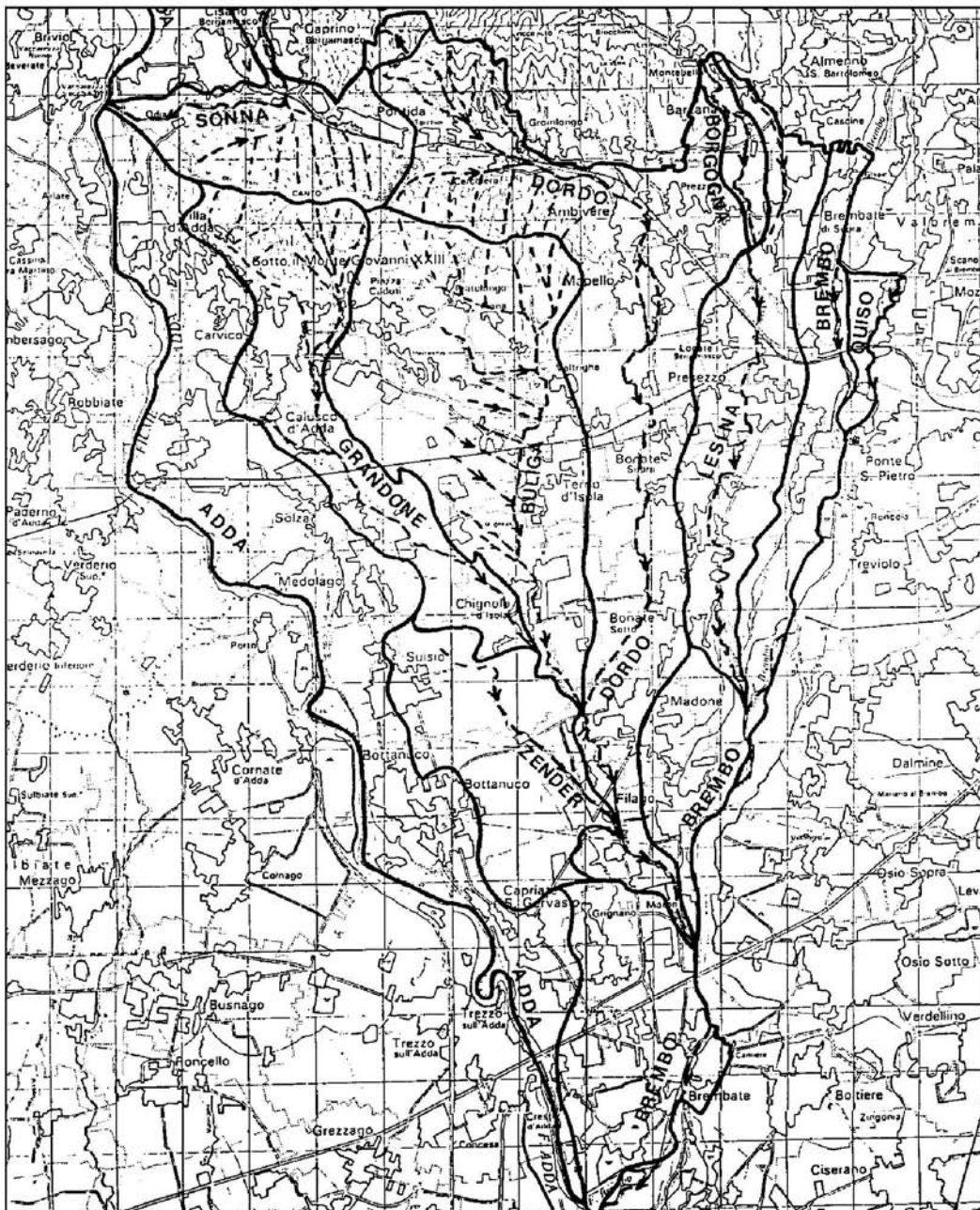


Figura 12: Reticolo idrografico dell'Isola Bergamasca.

5.2 IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Il Comune di Capriate San Gervasio rientra all'interno del sistema idrografico dell'Isola Bergamasca che è fortemente influenzata dalla presenza di un fiume di importanza nazionale, l'Adda, ed un fiume di importanza regionale, il Brembo; altri corsi d'acqua di importanza locale sono i torrenti Lesina, Dordo, Grandone, Bugliga, Sonna, Quiso e Borgogna.

Malgrado che il sistema idrografico dell'Isola sia ben sviluppato, il drenaggio avviene quasi completamente verso il bacino idrografico del fiume Brembo; soltanto il bacino idrografico del torrente Sonna a NO (che per buona parte non è compreso nell'Isola) ed altri bacini minori sono tributari del fiume Adda.



Fotografia 6: Vista dell'invaso posto a monte dello sbarramento idroelettrico ENEL di Trezzo sull'Adda.

L'Adda scorre fortemente incassato rispetto alla pianura circostante con una escursione altimetrica di 79 m a Paderno e di 42 m a Capriate San Gervasio; la lunghezza del suo percorso nell'Isola è approssimativamente di 22 km, da quota 195,5 m s.l.m. presso il ponte stradale di Cisano Bergamasco a quota 131,8 m s.l.m. alla confluenza col Brembo, con un dislivello di 63,7 m ed una pendenza media dell'alveo del 2,9%. Il corso è regimato artificialmente da diverse traverse fluviali da cui si dipartono canali derivatori che adducono acqua a rogge e centrali idroelettriche.

Il Brembo ha un percorso nell'Isola di 18,6 km, da quota 228 m s.l.m. presso Brembate di Sopra a quota 131,8 m s.l.m. alla confluenza; il dislivello globale è di 96,2 m e la pendenza media dello 0,52%.

Rispetto all'Adda ha una pendenza doppia, infatti lungo il parallelo 5064 l'alveo del Brembo è situato quota 228 m s.l.m., mentre quello dell'Adda a quota 192,5 m s.l.m. (più basso di 35,5 m).

Lungo il corso sono state costruite due principali traverse fluviali: la prima a Ponte S. Pietro, con derivazione di un canale denominato roggia Masnada che alimenta le centrali dell'ENEL localizzate presso Bonate Sotto e presso il ponte dell'Autostrada A4; la seconda a Brembate, con derivazione della roggia Nuova,

che funge da canale d'irrigazione.

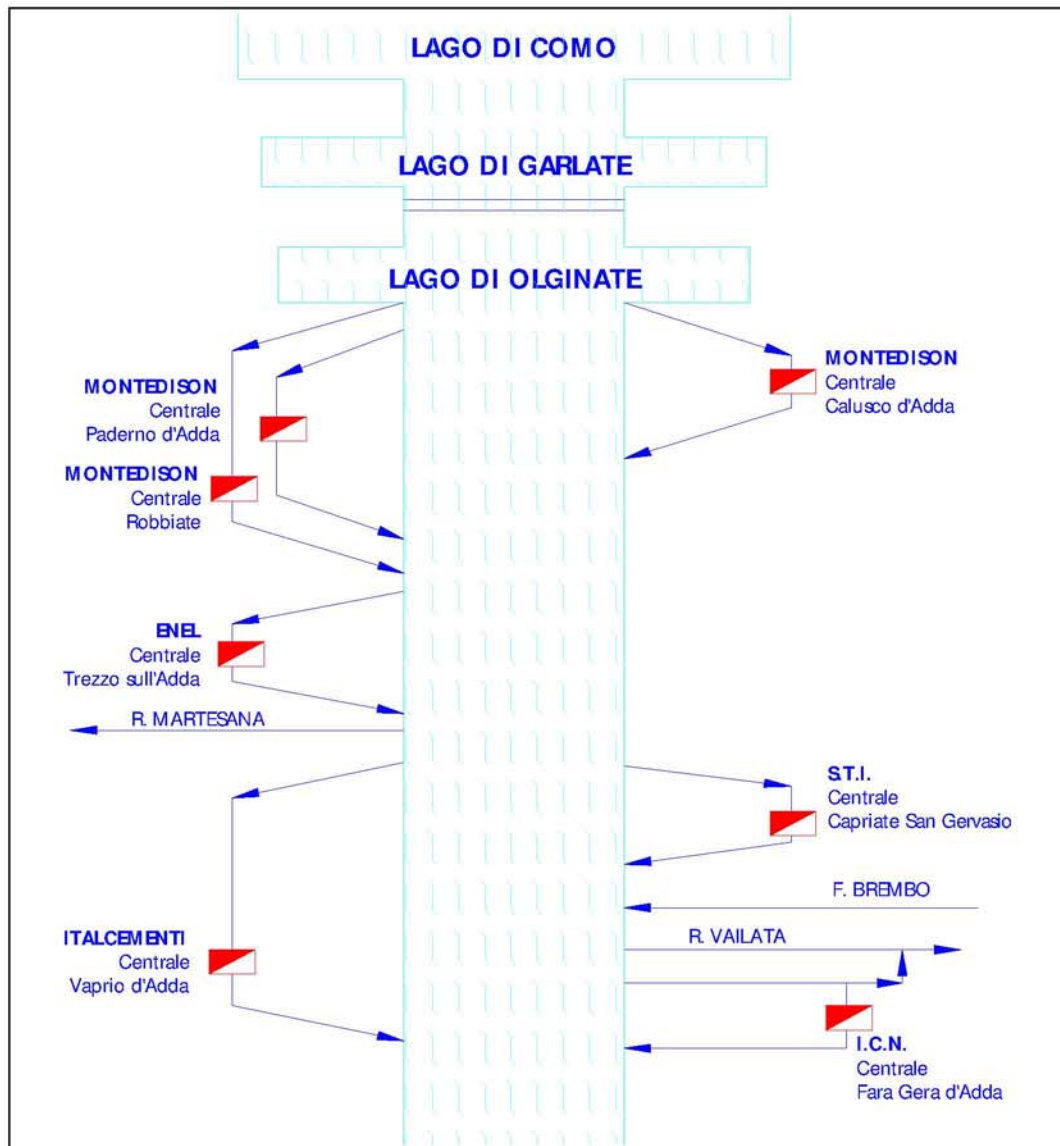


Figura 13: Principali impieghi della risorsa costituita dal fiume Adda.

Anche il Brembo scorre incassato rispetto alla pianura di circa 30 m a nord e 20 m a sud. Il regime idrologico del fiume è a deflusso perenne, ma di tipo torrentizio, con portate di magra molto scarse e portate di massima piena spesso più elevate di quelle dell'Adda (durante l'alluvione del luglio 1987 il Brembo ha raggiunto presso Ponte San Pietro una portata di circa 1000 m³/sec). Ciò è da imputarsi al fatto che a monte del fiume Brembo non è presente un bacino regolatore naturale come il lago di Como per l'Adda, che traduce le variazioni pluviometriche stagionali in variazioni di portata meno pronunciate. Dei rimanenti corsi d'acqua solo i torrenti Lesina e Dordo rivestono importanza locale, mentre di interesse minore sono i torrenti Grandone, Sonna e Buliga.

Il Lesina percorre la parte orientale dell'Isola da Barzana (300 m) fino alla confluenza col Brembo (174 m), con uno sviluppo relativo all'Isola Bergamasca di 13,2 km ed una pendenza media di 0,95%. Presso Bonate Sotto incide la pianura

con formazione di alvei ribassati fino a 18 m.

Il Dordo nasce presso il monte Ghignoletti a nord di Pontida e confluisce nel Brembo a sud di Marne. Il suo decorso parziale, a partire da Cerchiera presso Pontida (300 m) fino alla foce (162 m), è pari a 18,8 km con una pendenza media dello 0,73%. È probabile che l'ultimo tratto di torrente abbia subito notevoli variazioni di percorso nel tempo e non si esclude che in passato la sua foce fosse a Filago e non a Marne.

Il Grandone nasce dal monte dei Frati e percorre interamente la valle compresa tra Carvico e Chignolo d'Isola prima di immettersi nella Buliga.

Il Sonna nasce dal monte Albenza, percorre il tratto occidentale della valle San Martino e confluisce nell'Adda a sud di Cisano Bergamasco.

Il Buliga nasce dal monte Canto, incide fortemente il Pianalto per poi lambirne il margine orientale e confluire nel Dordo a NO di Madone.

L'area dotata di maggiore densità di drenaggio è localizzata in corrispondenza dei rilievi montuosi, anche se gran parte dei rami di ordine inferiore è sede di un deflusso idrico temporaneo, in corrispondenza dei periodi caratterizzati da rilevanti precipitazioni. La forte energia del rilievo genera "patterns subdendritici" e "subparalleli" con valli ripide e fortemente incise. L'idrografia superficiale del Pianalto è più complessa: la porzione settentrionale ha una notevole densità di drenaggio poiché riceve alimentazione dal monte Canto; essa è percorsa da numerose valli boscate, a fondo piatto, molto incise ed orientate in senso NO – SE, sedi di deflusso temporaneo. Sovrapposto al reticolo idrografico attuale si osserva sovente un paleo – reticolo fossile costituito da vallecole a fondo piatto non boscate, poco incise, ed orientate in senso NNO – SSE, delimitate sovente da orli di terrazzo. La configurazione globale determina un "pattern subparallelo angolare" da immissari, paralleli tra loro, che s'immettono in un collettore principale, situato al margine del Pianalto), formando con esso un angolo acuto. La porzione meridionale del Pianalto presenta la medesima configurazione ma è caratterizzata da una densità di drenaggio notevolmente inferiore e le poche incisioni presenti (Valle del Rio Zender) hanno un deflusso ancor più saltuario; ciò dipende dalla piccola dimensione dei bacini di alimentazione presenti delimitati a nord dalla valle del torrente Grandone che funge da dreno a settentrione impedendo una qualsiasi influenza sull'idrografia da parte dei rilievi montuosi.

Il resto della pianura dell'Isola Bergamasca è percorso da pochi torrenti a deflusso semi – permanente orientati in senso N – S: Lesina, Dordo, Buliga e Borgogna. E' probabile che la presenza di materiali ad elevata permeabilità, la scarsa pendenza media e l'azione antropica abbiano determinato l'assenza dei rami di ordine inferiore. L'assetto idrografico generalmente è di tipo "pattern subparallelo" e talora "meandriforme".

Lo spartiacque topografico tra i bacini idrografici relativi ai due fiumi principali Adda e Brembo, è posto ad est di San Gervasio e di Capriate ed attraversa l'abitato di Crespi d'Adda. Il territorio comunale appartiene quindi in gran parte al

bacino abduano.

Il Brembo scorre nella porzione meridionale del territorio comunale e presenta, in sponda destra, un argine parzialmente artificiale che lo separa dal lago della cava "Nuova Demi" in questo momento inattiva per quanto riguarda Capriate San Gervasio. L'andamento è rettilineo e non presenta segni di gravi danni collegati all'erosione del piede anche se morfologicamente attivo. L'alveo e la sponda in sinistra sono abbastanza instabili per la presenza di barre fluviali che si formano a causa del deposito di materiali dovuto alla riduzione di velocità dell'acqua per l'immissione del Brembo in Adda.

Dal confronto con la cartografia storica IGM in scala 1:25.000 e gli aereofotogrammetrici attuali, l'alveo del fiume ha subito profonde modificazioni nell'arco di un secolo. In particolare è evidente uno spostamento verso sud con riduzione del numero di canali attivi oltre al notevole ampliamento dell'isola fluviale di "Bosco di Mezzo". Questa situazione di sovralluvionamento non comporta pericoli per il territorio di Capriate San Gervasio, mentre, data la dinamica avuta dal Brembo nel passato, potrebbe portare all'erosione della sponda in sinistra idrografica, ubicata in Comune di Canonica d'Adda. Per sanare questa situazione, data la particolare valenza ambientale della zona, si sconsigliano interventi diretti in alveo o sull'isola fluviale del Bosco di Mezzo ma, se ritenuti necessari, devono essere previsti solo la sistemazione della sponda in sinistra e la stabilizzazione del profilo di fondo con opere ubicate più a monte, atte a diminuire il trasporto solido, ovvero a mettere in condizioni di equilibrio per quanto riguarda il deposito/trasporto/erosione la zona del Bosco di Mezzo.

L'Adda, che segna il confine occidentale di Capriate San Gervasio, presenta una dinamica dell'erosione e della sedimentazione più contenuta rispetto al Brembo. Questo fatto è legato sia alla presenza delle traverse realizzate per vari scopi, sia al regime fluviale più costante che al conseguente limitato trasporto solido.

Limitate instabilità di sponda sono da registrarsi esclusivamente a valle dello sbarramento ENEL ed in zona di Crespi d'Adda.

I fenomeni di sovralluvionamento sono praticamente assenti. Unici depositi fluviali attuali si hanno a monte dello sbarramento ENEL (costituiti da materiali fini) ed alcuni depositi presenti alla confluenza con il Brembo a sud di Crespi d'Adda. Limitate rimobilizzazioni di materiali grossolani (sabbie e ghiaie), si hanno a valle del sopra citato sbarramento ENEL.

Per la caratterizzazione idraulica dei due principali fiumi si è fatto riferimento al "Piano di Bacino del fiume Adda" che riporta i bilanci idrici relativi a delle sezioni idrauliche di interesse. Tra le sezioni di interesse utili a caratterizzare i due corsi d'acqua relativamente al tratto lungo il territorio comunale di Capriate San Gervasio, si riportano i dati relativi a Cornate d'Adda e Cassano d'Adda per il fiume Adda e l'immissione del fiume Brembo nell'Adda per il fiume Brembo.

Le tabelle seguenti riportano per ogni mese e per l'anno le medie mensili ed annue ricavate da diverse elaborazioni. I valori di **A** corrispondono a quelli di afflus-

so meteorico, sommati al contributo glaciale. I valori di **T.RO** sono quelli del deflusso naturale, calcolati con il metodo Thornthwaite alle stazioni pluviometriche, estese a tutto il bacino mediante il calcolo della pluviometria, dell'evapotraspirazione, del deflusso superficiale e dell'infiltrazione per ciascuna fascia altimetrica.

Con **Defl** s'intende il deflusso superficiale in mm che realmente si ha in alveo, per effetto delle prese, regolazioni e delle restituzioni; esso si ricava quindi da **T.RO** tenendo conto dell'antropizzazione dell'area.

Qn e **Qr** rappresentano invece le portate (rispettivamente naturali e reali) in m^3/s . **Cd** è il coefficiente di deflusso, **AE** rappresenta l'evapotraspirazione reale in mm, mentre **I** coincide con l'infiltrazione. **AE** ed **I** indicano valori di evapotraspirazione ed infiltrazione quali risultano alla sezione di chiusura. In realtà, poiché molte delle acque infiltrate emergono per fenomeni geologici vari (ad esempio, diminuzione della permeabilità degli acquiferi nella parte terminale della valle) si hanno infiltrazioni molto superiori al valore indicato.

Per quanto riguarda il fiume Adda, nelle due sezioni rappresentative si ha:

Parametro	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giù.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Anno
A (mm)	55,4	47,9	69,3	112,6	130,4	166,0	127,8	145,2	114,9	109,4	131,2	95,6	1305,7
T.RO (mm)	53,6	44,8	56,6	83,2	103,4	120,6	110,4	109,6	98,8	87,3	97,0	84,6	1049,9
Defl (mm)	49,5	38,9	45,7	61,5	82,7	109,5	98,5	114,1	83,6	95,4	88,2	69,8	988,4
Qn (m^3/s)	95,91	80,17	101,28	148,88	185,03	215,80	197,55	196,12	176,79	156,28	173,57	151,38	156,56
Qr (m^3/s)	88,58	69,61	81,78	110,05	147,98	195,94	176,26	204,17	149,60	172,50	157,83	124,90	139,93
Cd	0,97	0,94	0,82	0,74	0,79	0,73	0,86	0,75	0,86	0,80	0,74	0,88	0,80
AE (mm)	2,7	2,4	2,2	3,0	9,7	37,7	41,4	37,9	23,8	8,4	6,5	3,5	179,1
I (mm)	0,9	1,2	3,1	4,6	19,2	3,8	0,8	4,6	11,5	19,9	6,1	1,2	76,7

Tabella 11: Sezione di Cornate d'Adda (superficie bacino 4702,7 km^2).

Parametro	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giù.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Anno
A (mm)	45,6	45,1	131,2	99,5	161,0	71,2	38,5	125,8	75,9	93,1	127,7	89,4	1104,0
T.RO (mm)	45,1	34,0	76,9	82,6	105,4	75,9	37,1	72,5	69,4	65,5	87,1	76,6	828,1
Defl (mm)	44,6	38,0	73,1	79,4	99,5	76,4	56,8	64,7	68,2	71,0	66,9	59,5	798,1
Qn (m^3/s)	102,31	77,13	174,45	187,38	239,11	172,18	84,16	164,47	157,44	148,59	197,59	173,77	156,55
Qr (m^3/s)	101,18	86,26	166,83	180,14	225,72	173,32	128,85	146,77	154,72	161,07	151,77	134,98	150,88
Cd	0,99	0,75	0,59	0,83	0,65	1,07	0,96	0,58	0,91	0,70	0,68	0,86	0,75

AE (mm)	29	26	24	33	104	406	446	409	257	91	70	38	1932
I (mm)	08	12	33	50	207	41	08	50	124	21,5	66	12	828

Tabella 12: Sezione di Cassano d'Adda (superficie bacino 5961.8 km²).

Per quanto riguarda il fiume Brembo, per la sezione considerata si ha:

Parametro	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giù.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Anno
A (mm)	75,0	52,2	93,6	67,5	116,7	79,3	97,6	138,0	117,8	162,4	56,9	68,1	1125,1
TRO (mm)	54,5	44,9	99,9	57,2	75,2	68,8	68,6	93,4	93,5	110,7	69,1	48,3	844,1
Defl (mm)	38,6	35,4	49,6	70,3	77,9	74,3	72,0	67,4	82,1	79,3	81,0	48,9	776,8
Qn (m³/s)	18,66	15,38	20,51	19,99	25,75	23,56	23,49	31,99	32,02	37,91	23,66	16,54	24,09
Qr (m³/s)	13,22	12,12	16,99	24,07	26,68	25,44	24,66	23,08	28,11	27,16	27,74	16,75	22,17
Cd	0,73	0,86	0,64	0,85	0,64	0,87	0,70	0,68	0,79	0,68	1,21	0,71	0,75
AE (mm)	32	28	26	36	11,4	44,3	48,7	44,6	28,0	9,9	7,6	42	210,8
I (mm)	0,7	1,1	2,8	4,2	17,6	3,5	0,7	4,2	10,5	18,3	5,6	1,1	70,3

Tabella 13: Sezione di confluenza con Adda (superficie bacino 900,0 km²).

L'Autorità di Bacino del fiume Po, successivamente allo studio del Piano di Bacino del fiume Adda, ha prodotto il "Piano Stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica del bacino Po". Tale Piano Stralcio contiene elaborati individuanti aree potenzialmente interessate direttamente od indirettamente dagli eventi di massima piena del fiume Brembo ed Adda.

Sulla cartografia prodotta, in corrispondenza del tratto di fiume di pertinenza comunale, sono state individuate due fasce fluviali:

- ♦ **Fascia A:** è quella la più vicina al fiume e prende il nome di "fascia di deflusso della piena";
- ♦ **Fascia B:** più esterna e che prende il nome di "fascia di esondazione".

Secondo quanto riportato nelle norme di attuazione, la fascia di deflusso della piena (**Fascia A**) è "costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena".

In tale fascia, come riportato all'articolo 29 nelle NdA del PAI "**Fascia di deflusso della piena (Fascia A)**" è previsto:

1. *Nella Fascia A il Piano persegue l'obiettivo di garantire le condizioni di sicurezza assicurando il deflusso della piena di riferimento, il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo, e quindi favorire,*

ovunque possibile, l'evoluzione naturale del fiume in rapporto alle esigenze di stabilità delle difese e delle fondazioni delle opere d'arte, nonché a quelle di mantenimento in quota dei livelli idrici di magra.

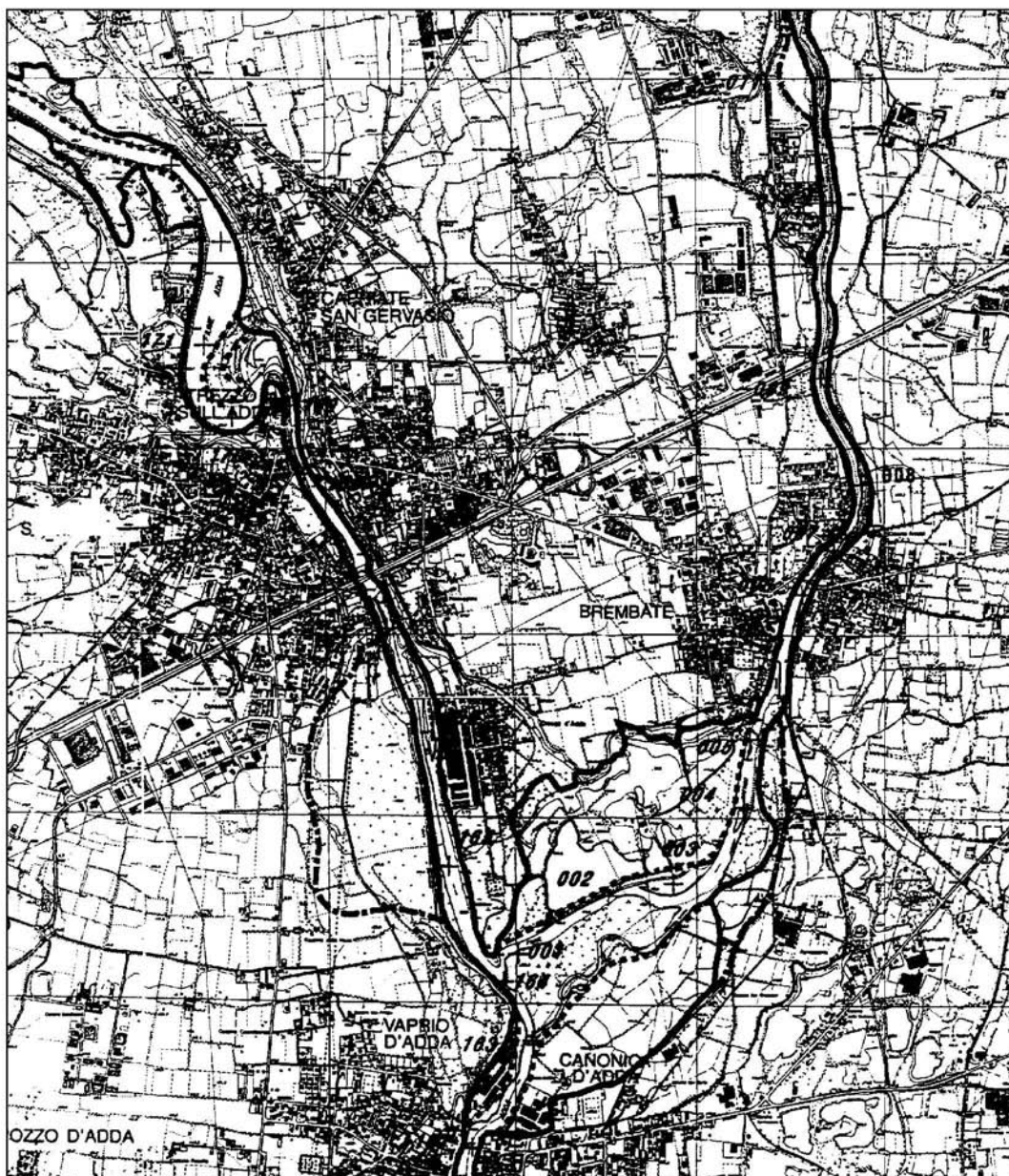


Figura 14: Estratto dal "Piano Stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica del bacino Po" prodotto dall'Autorità di Bacino con individuate le aree esondabili.

2. *Nella Fascia A sono vietate:*

- a) *le attività di trasformazione dello stato dei luoghi, che modifichino l'assetto morfologico, idraulico, infrastrutturale, edilizio, fatte salve le prescrizioni dei successivi articoli;*
- b) *la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs.*

5 febbraio 1997, n. 22, fatto salvo quanto previsto al successivo comma 3, let. l);

- c) la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue, nonché l'ampliamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue, fatto salvo quanto previsto al successivo comma 3, let. m);
- d) le coltivazioni erbacee non permanenti e arboree, fatta eccezione per gli interventi di bioingegneria forestale e gli impianti di rinaturazione con specie autoctone, per una ampiezza di almeno 10 m dal ciglio di sponda, al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino di una fascia continua di vegetazione spontanea lungo le sponde dell'alveo inciso, avente funzione di stabilizzazione delle sponde e riduzione della velocità della corrente; le Regioni provvederanno a disciplinare tale divieto nell'ambito degli interventi di trasformazione e gestione del suolo e del soprassuolo, ai sensi dell'art. 41 del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152 e successive modifiche e integrazioni, ferme restando le disposizioni di cui al Capo VII del R.D. 25 luglio 1904, n. 523;
- e) la realizzazione di complessi ricettivi all'aperto;
- f) il deposito a cielo aperto, ancorché provvisorio, di materiali di qualsiasi genere.

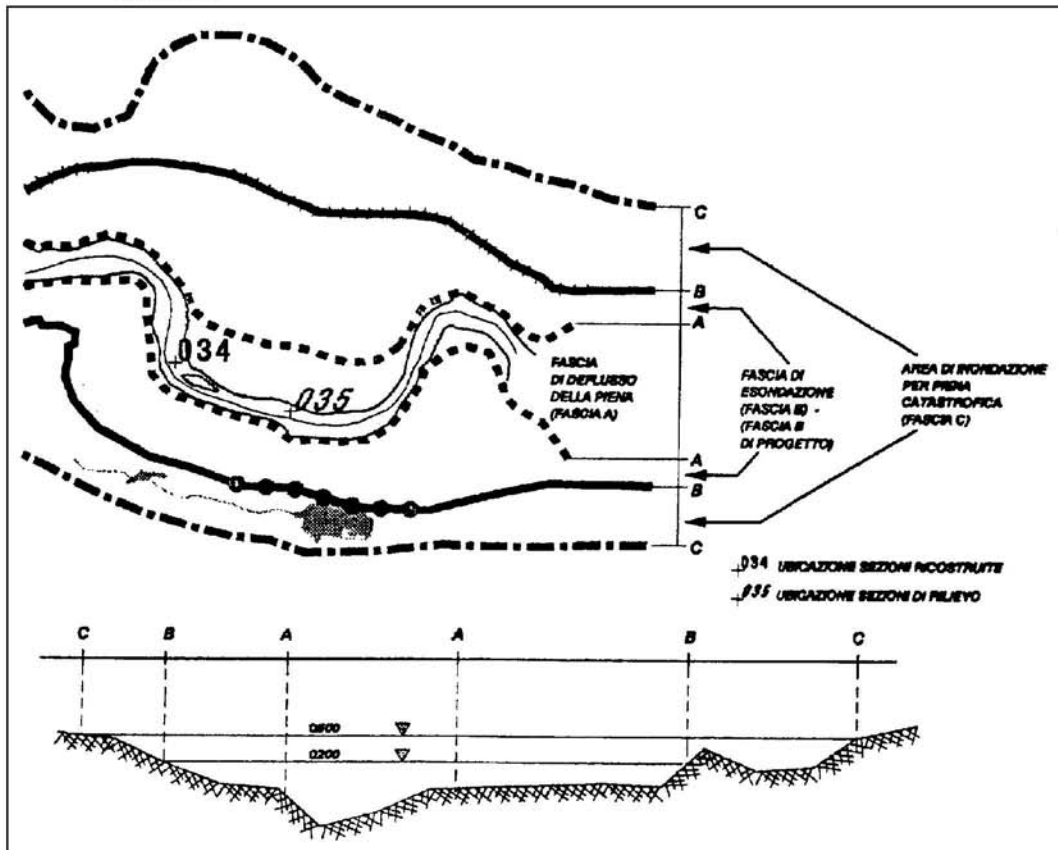


Figura 15: Schema esplicativo per la delimitazione delle fasce: pianta e sezione. Limite tra fascia A e B, — Limite tra fascia B e C, -.-.- Limite esterno fascia C, Limite di progetto tra fascia B e C. Da evidenziare, come riportato nella legenda del PAI, il limite delle fasce fluviali è individuato dal bordo interno del graficismo.

3. Sono per contro consentiti:

- a) *i cambi colturali, che potranno interessare esclusivamente aree attualmente coltivate;*
- b) *gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;*
- c) *le occupazioni temporanee se non riducono la capacità di portata dell'alveo, realizzate in modo da non arrecare danno o da risultare di pregiudizio per la pubblica incolumità in caso di piena;*
- d) *i prelievi manuali di ciottoli, senza taglio di vegetazione, per quantitativi non superiori a 150 m³ annui;*
- e) *la realizzazione di accessi per natanti alle cave di estrazione ubicate in golena, per il trasporto all'impianto di trasformazione, purché inserite in programmi individuati nell'ambito dei Piani di settore;*
- f) *i depositi temporanei conseguenti e connessi ad attività estrattiva autorizzata ed agli impianti di trattamento del materiale estratto e presente nel luogo di produzione da realizzare secondo le modalità prescritte dal dispositivo di autorizzazione;*
- g) *il miglioramento fondiario limitato alle infrastrutture rurali compatibili con l'assetto della fascia;*
- h) *il deposito temporaneo a cielo aperto di materiali che per le loro caratteristiche non si identificano come rifiuti, finalizzato ad interventi di recupero ambientale comportanti il ritombamento di cave;*
- i) *il deposito temporaneo di rifiuti come definito all'art. 6, comma 1, let. m), del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22;*
- j) *l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 dello stesso D.Lgs. 22/1997) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa. Tale autorizzazione può essere rinnovata fino ad esaurimento della capacità residua derivante dalla autorizzazione originaria per le discariche e fino al termine della vita tecnica per gli impianti a tecnologia complessa, previo studio di compatibilità validato dall'Autorità competente. Alla scadenza devono essere effettuate le operazioni di messa in sicurezza e ripristino del sito, così come definite all'art. 6 del suddetto decreto legislativo;*
- k) *l'adeguamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue alle normative vigenti, anche a mezzo di eventuali ampliamenti funzionali.*

4. *Per esigenze di carattere idraulico connesse a situazioni di rischio, l’Autorità idraulica preposta può in ogni momento effettuare o autorizzare tagli di controllo della vegetazione spontanea eventualmente presente nella Fascia A.*
5. *Gli interventi consentiti debbono assicurare il mantenimento o il miglioramento delle condizioni di drenaggio superficiale dell’area, l’assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti e con la sicurezza delle opere di difesa esistenti.*

La fascia di esondazione (**Fascia B**), che è “esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell’evento di piena di riferimento (nel caso specifico tempo di ritorno 200 anni). Con l’accumulo temporaneo, in tale fascia, di parte del volume di piena, si attua la laminazione dell’onda di piena con riduzione delle portate al colmo. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.”

In tale fascia, come riportato all’articolo 30 nelle NdA del PAI “**Fascia di esondazione (Fascia B)**” è previsto:

1. *Nella Fascia B il Piano persegue l’obiettivo di mantenere e migliorare le condizioni di funzionalità idraulica ai fini principali dell’invaso e della laminazione delle piene, unitamente alla conservazione e al miglioramento delle caratteristiche naturali e ambientali.*
2. *Nella Fascia B sono vietati:*
 - a) *gli interventi che comportino una riduzione apprezzabile o una parzializzazione della capacità di vaso, salvo che questi interventi prevedano un pari aumento delle capacità di vaso in area idraulicamente equivalente;*
 - b) *la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti, l’ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l’esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22, fatto salvo quanto previsto al precedente art. 29, comma 3, let. I);*
 - c) *in presenza di argini, interventi e strutture che tendano a orientare la corrente verso il rilevato e scavi o abbassamenti del piano di campagna che possano compromettere la stabilità delle fondazioni dell’argine.*
 - d) *Sono per contro consentiti, oltre agli interventi di cui al comma 3 dell’art. 29:*
 - e) *gli interventi di sistemazione idraulica quali argini o casse di espansione e ogni altra misura idraulica atta ad incidere sulle dinamiche fluviali, solo se compatibili con l’assetto di progetto dell’alveo derivante dalla delimitazione della fascia;*
 - f) *gli impianti di trattamento d’acque reflue, qualora sia dimostrata l’impos-*

sibilità della loro localizzazione al di fuori delle fasce, nonché gli ampliamenti e messa in sicurezza di quelli esistenti; i relativi interventi sono soggetti a parere di compatibilità dell'Autorità di bacino ai sensi e per gli effetti del successivo art. 38, espresso anche sulla base di quanto previsto all'art. 38 bis;

- g) la realizzazione di complessi ricettivi all'aperto, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente;*
 - h) l'accumulo temporaneo di letame per uso agronomico e la realizzazione di contenitori per il trattamento e/o stoccaggio degli effluenti zootecnici, ferme restando le disposizioni all'art. 38 del D.Lgs. 152/1999 e successive modifiche e integrazioni;*
 - i) il completamento degli esistenti impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti a tecnologia complessa, quand'esso risultasse indispensabile per il raggiungimento dell'autonomia degli ambiti territoriali ottimali così come individuati dalla pianificazione regionale e provinciale; i relativi interventi sono soggetti a parere di compatibilità dell'Autorità di bacino ai sensi e per gli effetti del successivo art. 38, espresso anche sulla base di quanto previsto all'art. 38 bis.*
- 3. Gli interventi consentiti debbono assicurare il mantenimento o il miglioramento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area, l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti e con la sicurezza delle opere di difesa esistenti.*

A livello di pianificazione comunale, importate è l'articolo 39 "**Interventi urbanistici e indirizzi alla pianificazione urbanistica**" che prevede:

- 1. I territori delle Fasce A e B individuati dal presente Piano, sono soggetti ai seguenti speciali vincoli e alle limitazioni che seguono, che divengono contenuto vincolante dell'adeguamento degli strumenti urbanistici comunali, per le ragioni di difesa del suolo e di tutela idrogeologica perseguite dal Piano stesso:*
 - a) le aree non edificate ed esterne al perimetro del centro edificato dei comuni, così come definito dalla successiva lett. c), sono destinate a vincolo speciale di tutela fluviale ai sensi dell'art. 5, comma 2, lett. a) della L. 17 agosto 1942, n. 1150;*
 - b) alle aree esterne ai centri edificati, così come definiti alla seguente lettera c), si applicano le norme delle Fasce A e B, di cui ai successivi commi 3 e 4;*
 - c) per centro edificato, ai fini dell'applicazione delle presenti Norme, si intende quello di cui all'art. 18 della L. 22 ottobre 1971, n. 865, ovvero le aree che al momento dell'approvazione del presente Piano siano edificate con continuità, compresi i lotti interclusi ed escluse le aree libere di frangia. Laddove sia necessario procedere alla delimitazione del centro edificato ovvero al suo aggiornamento, l'Amministrazione comunale procede*

all'approvazione del relativo perimetro.

2. *All'interno dei centri edificati, così come definiti dal precedente comma 1, lett. c), si applicano le norme degli strumenti urbanistici generali vigenti; qualora all'interno dei centri edificati ricadano aree comprese nelle Fasce A e/o B, l'Amministrazione comunale è tenuta a valutare, d'intesa con l'autorità regionale o provinciale competente in materia urbanistica, le condizioni di rischio, provvedendo, qualora necessario, a modificare lo strumento urbanistico al fine di minimizzare tali condizioni di rischio.*
3. *Nei territori della Fascia A, sono esclusivamente consentite le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti all'art. 31, lett. a), b), c) della L. 5 agosto 1978, n. 457, senza aumento di superficie o volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo e con interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio.*
4. *Nei territori della Fascia B, sono inoltre esclusivamente consentite:*
 - a) *opere di nuova edificazione, di ampliamento e di ristrutturazione edilizia, comportanti anche aumento di superficie o volume, interessanti edifici per attività agricole e residenze rurali connesse alla conduzione aziendale, purché le superfici abitabili siano realizzate a quote compatibili con la piena di riferimento, previa rinuncia da parte del soggetto interessato al risarcimento in caso di danno o in presenza di copertura assicurativa;*
 - b) *interventi di ristrutturazione edilizia, comportanti anche sopraelevazione degli edifici con aumento di superficie o volume, non superiori a quelli potenzialmente allagabili, con contestuale dismissione d'uso di queste ultime e a condizione che gli stessi non aumentino il livello di rischio e non comportino significativo ostacolo o riduzione apprezzabile della capacità di invaso delle aree stesse, previa rinuncia da parte del soggetto interessato al risarcimento in caso di danno o in presenza di copertura assicurativa;*
 - c) *interventi di adeguamento igienico – funzionale degli edifici esistenti, ove necessario, per il rispetto della legislazione in vigore anche in materia di sicurezza del lavoro connessi ad esigenze delle attività e degli usi in atto;*
 - d) *opere attinenti l'esercizio della navigazione e della portualità, commerciale e da diporto, qualora previsti nell'ambito del piano di settore, anche ai sensi del precedente art. 20.*
5. *La realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico che possano limitare la capacità di invaso delle fasce fluviali, è soggetta ai procedimenti di cui al precedente art. 38.*
6. *Fatto salvo quanto specificatamente disciplinato dalle precedenti Norme, i Comuni, in sede di adeguamento dei rispettivi strumenti urbanistici per renderli coerenti con le previsioni del presente Piano, nei termini previsti all'art. 27, comma 2, devono rispettare i seguenti indirizzi:*

- a) *evitare nella Fascia A e contenere, nella Fascia B la localizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico destinate ad una fruizione collettiva;*
 - b) *favorire l'integrazione delle Fasce A e B nel contesto territoriale e ambientale, ricercando la massima coerenza possibile tra l'assetto delle aree urbanizzate e le aree comprese nella fascia;*
 - c) *favorire nelle fasce A e B, aree di primaria funzione idraulica e di tutela naturalistico – ambientale, il recupero, il miglioramento ambientale e naturale delle forme fluviali e morfologiche residue, ricercando la massima coerenza tra la destinazione naturalistica e l'assetto agricolo e forestale (ove presente) delle stesse.*
7. *Sono fatti salvi gli interventi già abilitati (o per i quali sia già stata presentata denuncia di inizio di attività ai sensi dell'art. 4, comma 7, del D.L. 5 ottobre 1993, n. 398, così come convertito in L. 4 dicembre 1993, n. 493 e successive modifiche) rispetto ai quali i relativi lavori siano già stati iniziati al momento di entrata in vigore del presente Piano e vengano completati entro il termine di tre anni dalla data di inizio.*
8. *Sono fatte salve in ogni caso le disposizioni e gli atti amministrativi ai sensi delle leggi 9 luglio 1908, n. 445 e 2 febbraio 1974, n. 64, nonché quelli di cui al D.Lgs. 29 ottobre 1999 n. 490 e dell'art. 82 del D.P.R. 24 luglio 1977, n. 616 e successive modifiche e integrazioni.*
9. *Per le aree inserite all'interno dei territori protetti nazionali o regionali, definiti ai sensi della L. 6 dicembre 1991, n. 394 e successive modifiche e integrazioni e/o da specifiche leggi regionali in materia, gli Enti di gestione, in sede di formazione e adozione di strumenti di pianificazione d'area e territoriale o di loro varianti di adeguamento, sono tenuti, nell'ambito di un'intesa con l'Autorità di bacino, a conformare le loro previsioni alle delimitazioni e alle relative prescrizioni del presente Piano, specificatamente finalizzate alla messa in sicurezza dei territori.*

Per il tracciamento alla scala di PGT delle fasce A e B, come stabilito dall'articolo 27, comma 3, delle NdA del PAI che prevede per gli strumenti di pianificazione provinciali e comunali si possa fare coincidere i limiti delle Fasce A, B e C con elementi fisici rilevabili alla scala di maggior dettaglio della cartografia dei piani rispettandone comunque l'unitarietà. Le modifiche consentite da tale articolo devono quindi limitarsi a variazioni di modesta entità ed essere tali da soddisfare le condizioni previste dalla normativa, ossia che:

- ♦ *discendano unicamente da una valutazione di maggior dettaglio degli elementi morfologici del territorio, costituenti un rilevato idoneo a contenere la piena di riferimento (non sono pertanto ammesse modifiche conseguenti a studi idrologico – idraulici di maggior dettaglio);*
- ♦ *siano riferite a elementi morfologici non rilevabili alla scala della cartografia del PAI (pertanto, se un elemento morfologico e le relative quote sono correttamente rilevabili dalla cartografia del PAI, non deve ritenersi consentita la*

modifica della Fascia);

- ♦ sia mantenuta l'unitarietà delle Fasce, con particolare riguardo al loro andamento nell'attraversamento del confine amministrativo del territorio comunale.



Fotografia 7: Vista dalla Strada dell'Adda della penisola di San Gervasio durante un evento di piena.



Fotografia 8: Particolare dell'opera di difesa, posta a valle della penisola di San Gervasio e dello sbarramento ENEL, completamente sommersa durante un evento di piena.

Da evidenziare, come riportato nella legenda del PAI, il limite delle fasce fluviali è individuato dal bordo interno del graficismo.

Pertanto, non essendo disponibili le quote delle sezioni idrauliche del PAI lungo i fiumi Adda e Brembo (sezioni 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172 e 173 per il fiume Adda e 001 e 002 per il fiume Brembo), per il tracciamento alla scala di piano delle fasce fluviali si sono adottati i seguenti elementi dimensionali de-

sunti dalla cartografia del PAI ai fini di mantenere l'unitarietà delle quote della piena di riferimento:

- ♦ per il tratto di territorio comunale a monte della penisola di San Gervasio, fino alla immissione del canale Enel nell'Adda, si considera un livello di +6,00 metri per la *fascia di esondazione* rispetto al livello del fiume riportato nella Cartografia Tecnica comunale utilizzata. Il livello è desunto dall'andamento della fascia nella penisola di San Gervasio e lo si mantiene fino a valle dello sbarramento Enel (in considerazione sia della resistenza al deflusso creata dallo stesso sbarramento che dalla turbolenza presente a valle);

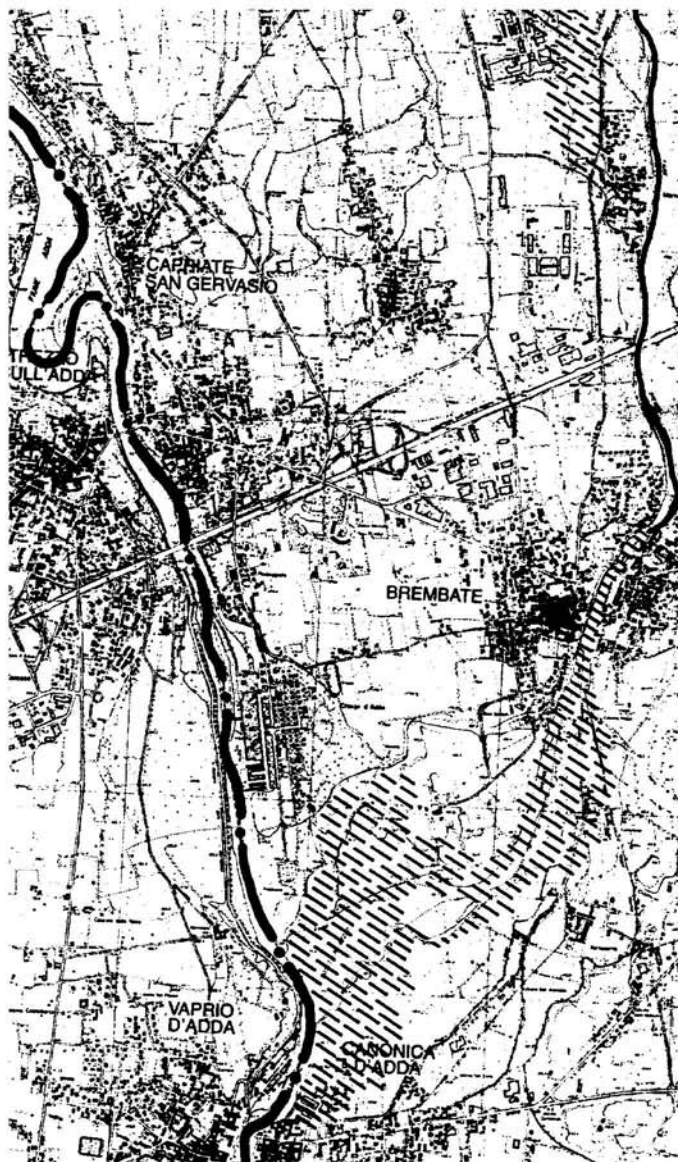


Figura 16: Estratto dal "Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale" riportante le aree soggette a rischio idraulico del bacino del fiume Brembo.

- ♦ dal termine del tratto precedente, fino alla derivazione a scopo idroelettrico presente nei pressi di Crespi d'Adda, il livello di riferimento della *fascia di esondazione* è mantenuto a + 4,00 metri rispetto al livello del fiume riportato nella Cartografia Tecnica comunale utilizzata. In tale tratto il fiume si presenta monocorsuale, senza ostacoli al deflusso delle acque e sponde con andamento regolare e l'andamento della fascia di esondazione sulla cartografia del PAI è coincidente con la sponda del fiume;

- ♦ dal termine del tratto precedente, sino al confine meridionale e sul tratto di fiume Brembo che lambisce il territorio comunale, si considera un livello di +6,00 metri per la *fascia di esondazione* rispetto al livello del fiume riportato nella Cartografia Tecnica comunale utilizzata. Il livello, determinato nell'area della cava "Nuova Demi", è mantenuto nel tratto considerato per due aspetti: il primo legato alla presenza nel

fiume Adda di ostacoli al deflusso connessi alla presenza delle opere di derivazione e l'altro per la presenza di fenomeni di rigurgito connessi alla con-

fluenza del fiume Brembo. Analogo livello della fascia di esondazione è stato assunto per il tratto terminale del fiume Brembo sempre considerando la cartografia del PAI e per problemi connessi al rigurgito provocato dalla confluenza dei due fiumi.

Per quanto riguarda invece la fascia di *deflusso della piena*, si è considerato in base alla cartografia del PAI, un livello di riferimento di +2,00 metri rispetto al livello del fiume riportato nella Cartografia Tecnica comunale utilizzata.

In base a queste considerazioni, si è evidenziata inoltre la necessità di modifica del limite della *fascia di esondazione* con andamento ricavato dalla cartografia allegata al PAI (redatta alla scala 1:25.000) e risultato non congruente con la morfologia locale in due punti. L'adeguamento del limite della *fascia di esondazione* alla morfologia locale è stato effettuato ai sensi del comma 3, articolo 27 della Normativa di Attuazione del PAI adottata con Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po il 26 aprile 2001 n. 18 ed approvato con DPCM del 8 agosto 2001 n. 183. Le due modifiche apportate riguardano l'area della penisola di San Gervasio (ampliamento verso est dell'area esondabile) e nell'area della cava cessata "Nuova Demi". L'assetto finale delle fasce fluviali è stato valutato positivamente dalla Regione Lombardia con nota del 05 agosto 2003, n. Z1.2003.0033964.

Oltre all'Autorità di Bacino, altro ente che ha prodotto una caratterizzazione idraulica dei due principali fiumi che lambiscono il territorio comunale di Capriate San Gervasio, è la Provincia di Bergamo che nell'ambito della redazione del "Piano Territoriale Provinciale", ha eseguito una valutazione del rischio idraulico.

Dall'analisi di questa documentazione si nota che in corrispondenza della forra fluviale dell'Adda, la prima e la seconda fascia coincidono e comprendono l'alveo e parte delle sponde. Unica eccezione è rappresentata dalla penisola di San Gervasio considerata tutta inclusa nelle fasce A e B.

Per quanto riguarda il Brembo si ha una sostanziale coincidenza delle fasce potenzialmente esondabili nei due studi consultati, anche se quelle individuate dal Magistrato del Po sono più ampie verso Canonica d'Adda.



Fotografia 9: Vista dell'area ubicata ai piedi di Capriate inserita in fascia A.

È quindi in fascia A tutta l'area del Bosco di Mezzo ed in fascia B le aree della Cava Demi a sud di Crespi d'Adda. In quest'ultima zona, dove il Brembo confluisce in Adda è a rischio idraulico l'area occupata dalle case della frazione Fontanone tra gli abitati di Brembate di Sotto e Canonica d'Adda. Più a valle di questa località, le aree soggette a rischio di sommersione sono assai vaste (80 – 90 ettari) ma completamente inedificate. Per effetto dei rigurgiti nella zona a valle della confluenza tra Adda e Brembo, in Comune di Canonica d'Adda, è soggetta a rischio di esondazione una piccola area di circa 3 ettari tuttavia densamente edificata con capannoni industriali.

Dal punto di vista della fattibilità, si sono considerate aree in classe 4 le aree ricadenti nelle fasce A e B (nelle quali si applica peraltro la normativa prevista dal PAI). Vi sono altre aree che sono state giudicate in sede di redazione del presente lavoro come esondabili su base morfologica, anche se non sono state reperite informazioni storiche di eventi che abbiano interessato tali aree. In quest'ultimo caso le aree sono state inserite in classe di fattibilità tre.

Per quanto riguarda gli eventi idraulici che hanno storicamente prodotto danni nella zona meridionale dell'Isola che sono in maggior parte correlabili al fiume Brembo, tra cui anche nel Capriate San Gervasio, si ricordano gli eventi del 17 ottobre 1230, del giugno 1523 dove oltre al Brembo anche i torrenti Somma e Dordo fecero danni, del 31 agosto 1493 in corrispondenza del quale furono distrutti 24 ponti tra cui quello di Briolo e probabilmente il ponte Corvo a Marne, mentre quello di San Vittore in Brembate fu gravemente danneggiato. Ancor peggiore fu la piena del 19 giugno 1646 che distrusse il ponte di San Vittore a Brembate. Altri eventi di piena furono quelli del 1783, del 1793, del 1830, del 1882 e soprattutto quello del 1886; nel 1888 il Brembo e il Dordo provocarono numerosi danni soprattutto a Filago; nel 1928 si registrano diversi danni, nel 1951 gli abitati di Fornasotto e di Canonica d'Adda furono invasi dalle acque del Brembo; nel 1980 la frazione "Mulini" di Filago fu allagata; nel 1987 il Brembo fece danni e nel 1997 alcuni torrenti del pianalto produssero danni a diversi edifici nella parte est di Capriate.

Per quanto riguarda quest'ultimo episodio, da collegarsi probabilmente alla non corretta risistemazione del drenaggio in seguito alla realizzazione di viabilità ed ampie zone industriali, si sono effettuati degli interventi per la loro risoluzione con formazione di idonei canali scolmatori e di una vasca di volano in prossimità di via Bergamo.

Questi impluvi, data inoltre la limitata estensione del bacino idrografico, hanno un regime idrico a carattere temporaneo con deflusso solamente in concomitanza d'intensi periodi piovosi. In tali occasioni, vista l'assenza, in corrispondenza dell'antistante pianura, di reali direttrici di drenaggio superficiale, si possono verificare estesi, anche se temporanei, allagamenti delle aree più depresse. Come conseguenza delle opere realizzate, e considerando che attualmente si sono giudicate in perfetta efficienza considerato che sono di recentissima costruzione, si è deciso di non gravare, con riduzioni di fattibilità, le aree che erano interessate da questi minori fenomeni di esondazione.

5.3 IDROGEOLOGIA

In base alle caratteristiche geolitologiche, il sottosuolo è stato suddiviso in "unità idrogeologiche", ovvero corpi che presentano comportamento idrogeologico omogeneo e caratteristiche di permeabilità, trasmissività, porosità e modalità di circolazione idrica similari. Tale ricostruzione è stata realizzata attraverso l'esame delle descrizioni stratigrafiche dei pozzi della zona, delle caratteristiche dei fronti di cava e degli scavi aperti a scopi edilizi. Ha consentito di riconoscere le caratteristiche stratigrafiche e granulometriche dei terreni presenti, di correlarle tra loro e di identificare le diverse unità idrogeologiche presenti ricostruendo la serie idrogeologica locale.

5.3.1 Unità idrogeologiche

Dal punto di vista idrogeologico i depositi continentali Pleistocenico – Olocenici sono stati suddivisi in 5 unità principali.

Si sono distinte pertanto:

- ♦ **Unità ghiaioso – sabbiosa.** Tale unità è presente in superficie dove affiorano i depositi fluvioglaciali più recenti e le alluvioni post – würmiane. I depositi sono prevalentemente sciolti e costituiti da ghiaie poligeniche, anche grossolane, e sabbie talora cementate in modo non uniforme con intercalati sottili livelli di sabbie/sabbie limoso – argillose. Lo spessore medio di Questa unità è contenuto tra i 10 ed i 20 metri; mentre in corrispondenza della zona di confluenza Adda – Brembo, l'unità raggiunge lo spessore di una cinquantina di metri testimoniata dal pozzo ubicato nella Cava Nuova Demi in comune di Brembate di Sotto.

La permeabilità di questi depositi è elevata, consentendo una facile ricarica della falda ad opera delle acque d'infiltrazione; conseguentemente è elevata anche la capacità d'infiltrazione delle sostanze inquinanti. La conducibilità idraulica per questa unità, ricavata dalla bibliografia, varia da 10^{-1} a 10^{-3} m/s.

- ♦ **Unità ghiaioso – sabbioso – limosa.** L'unità è costituita da limi sabbiosi – limi argillosi con ghiaie ed affiora solamente nella zona del Pianalto. Lo spessore massimo di tale unità (20 – 25 metri) è legato all'entità dell'erosione che ha interessato l'originaria superficie deposizionale e dall'intensità dell'erosione successiva. La permeabilità è risulta bassa e questo assicura un discreto grado di protezione superficiale nei confronti dell'acquifero principale.

In questa unità la falda idrica risulta generalmente assente o limitata a falde sospese contenute nei piccoli acquiferi corrispondenti a piccole intercalazioni sabbioso – ghiaiose. La conducibilità idraulica è di 10^{-4} – 10^{-6} m/s per le ghiaie sabbiose, debolmente limoso – argillose; di 10^{-7} – 10^{-8} m/s per sabbie e ghiaie limoso – argillose e 10^{-8} – 10^{-10} m/s per limi e argille sabbioso – ghiaiose, sabbie con limo ghiaioso – argilloso o ancora, ghiaie limoso – argilloso – sabbiose.

- ♦ **Unità ghiaioso – conglomeratica (Ceppo).** È costituita da ghiaie anche grossolane con sabbie alternate ad orizzonti di conglomerati poligenici, sono presenti subordinate e sottili le intercalazioni di sabbie talora cementate (arenarie) e limi argillosi. È ricoperta direttamente ed in discordanza dalle due unità precedenti.

Tale unità contiene l'acquifero principale della zona che ospita una falda di tipo libero. Lo spessore è elevato ed è mediamente di 50 – 60 metri. Presenta una graduale riduzione da nord verso sud e da ovest verso est, per la presenza di consistenti intercalazioni fini spesse sino ad una decina di metri. Queste intercalazioni fini costituiscono corpi lenticolari, di spessore metrico e di limitata continuità laterale, non in grado di operare una netta separazione tra diversi acquiferi.

La cementazione di natura carbonatica, è diffusa e mostra una distribuzione irregolare che favorisce l'insorgere di processi d'alterazione e di dissoluzione. La disomogenea distribuzione della cementazione, unita alla presenza di superfici di discontinuità, determinano un comportamento idrogeologico estremamente variabile; infatti la circolazione idrica sotterranea si sviluppa lungo vie preferenziali in modo simile a quello che si verifica per i circuiti carsici o in rocce fratturate. La conducibilità idraulica è di $10^{-3} - 10^{-5}$ m/s e rappresenta un valore indicativo di una permeabilità primaria di conglomerati poco compatti; valori notevolmente più bassi sono riconducibili a conglomerati o ad arenarie compatte ben cementate. Viceversa, valori nettamente più elevati sono rilevabili lungo le superfici di discontinuità (superfici di stratificazione) dove si sono sviluppati processi di dissoluzione carsica (permeabilità secondaria dei conglomerati).

Nell'unità conglomeratica ed in quelle superiori è presente l'acquifero principale. Si estende generalmente nelle zone urbanizzate di Capriate San Gervasio, da una profondità di 20 – 30 metri sino a raggiungere i 70 – 90 metri. La falda presente è di tipo libero e la sua superficie all'interno del territorio comunale di Capriate San Gervasio, è posta da un minimo di 15 – 20 metri ad un massimo di 65 metri di profondità.

A profondità minore sono presenti acquiferi locali che ospitano falde sospese poco produttive. Il mantenimento di queste falde superficiali è legato alla presenza di intercalazioni argillose o ai livelli conglomeratici fortemente cementati che rappresentano la base impermeabile di questi acquiferi secondari. Alcune di queste falde, ora asciutte, sono state utilizzate in passato (esempio il pozzo presente in località Crespi d'Adda).

Nella zona a nord di Capriate San Gervasio tali differenziazioni vengono gradualmente a scomparire per la netta prevalenza dei conglomerati sulle intercalazioni più fini; s'individua pertanto un'unica falda principale.

- ♦ **Unità ghiaioso – argillosa.** Inferiormente all'unità conglomeratica si passa gradualmente ad una unità ghiaioso – argillosa. Questa unità è costituita da fitte alternanze di ghiaie e sabbie con livelli piuttosto continui di argille limose

o argille con ghiaie.

Negli orizzonti più grossolani sono presenti falde semiconfinate o confinate captate dai pozzi più profondi (acquifero sotto il Ceppo). Le falde ospitate in questi orizzonti possiedono livelli statici posti ad una quota leggermente superiore rispetto a quello dell'acquifero principale contenuto nelle unità superiori.

Questa differenziazione è presente in quanto i livelli impermeabili (argille) di separazione tra i diversi acquiferi, sono sufficientemente spessi e continui da svolgere un'effettiva azione isolante.

L'isolamento tra i diversi acquiferi viene a mancare in corrispondenza di vecchi pozzi profondi dove le diverse falde vengono captate attraverso un'unica colonna filtrante; così facendo sono miscelate acque più superficiali con acque più profonde e pregiate.

Questa unità si è deposta in un ambiente di transizione tra quello di conoide alluvionale tipico dell'unità conglomeratica soprastante, a quello lacustro – palustre dell'unità più antica sottostante. Il suo spessore è estremamente variabile.

- ♦ **Unità limoso – argillosa.** È costituita prevalentemente da limi argillosi e/o sabbiosi ed argille di origine continentale con livelli di torbe nerastre. Tali litotipi si ritrovano generalmente a profondità superiori ai 100 – 130 metri. L'ambiente deposizionale è lacustre – palustre ed il colore prevalente è grigio, grigio – azzurro o grigio – verde. Date le caratteristiche litologiche, Questa unità rappresenta il substrato impermeabile posto alla base della successione pleistocenico – olocenica. Sono presenti al suo interno limitatissime e non utilizzabili falde confinate.

5.3.2 Permeabilità e vulnerabilità degli acquiferi

Sulla base dei dati ottenuti del rilievo geologico eseguito ed in base ad alcune considerazioni sulle caratteristiche granulometriche dei depositi di copertura non cementati e sul grado di fratturazione dell'ammasso e/o dei depositi cementati, è stato possibile effettuare la zonazione relativamente alla permeabilità superficiale, seppure in modo qualitativo, non disponendo di misure di permeabilità relative all'area in esame.

A questo scopo è stata presa come riferimento la legenda utilizzata dal CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche.

Si sono individuate cinque classi di permeabilità corrispondenti a:

CLASSI DI PERMEABILITÀ	VALORE (m/s)
Molto Alta	$10^{-1} \div 10^{-3}$
Alta	$10^{-2} \div 10^{-4}$
Media	$10^{-3} \div 10^{-6}$
Ridotta	$10^{-5} \div 10^{-8}$

Molto Ridotta	$< 10^{-8}$
---------------	-------------

La permeabilità riferita ai depositi di copertura non cementati è primaria, mentre, per quanto riguarda i depositi cementati assimilabili a rocce, è permeabilità media sia essa primaria, per quanto riguarda la variabilità del grado di cementazione (che influisce direttamente sulla porosità efficace), che secondaria per quanto riguarda lo sviluppo di fenomeni carsici e/o al grado di fratturazione.

Per vulnerabilità all'inquinamento s'intende la facilità o meno con cui le sostanze inquinanti possono introdursi nel sottosuolo, si possono propagare, e persistere in un determinato acquifero.

I fattori principali che controllano la vulnerabilità di un acquifero alluvionale sono:

- ♦ la frazione organica presente nei suoli;
- ♦ la conducibilità idraulica sia verticale che orizzontale dei terreni;
- ♦ la velocità di deflusso;
- ♦ la soggiacenza della falda (spessore aerato);
- ♦ la presenza o meno di un livello impermeabile continuo che isoli superficialmente l'acquifero sottostante,
- ♦ la diffusione molecolare e la dispersione meccanica.

Per quanto riguarda la vulnerabilità degli acquiferi, si riprendono le considerazioni tratte dal "Piano di Bonifica della falda sotterranea interessata da atrazina nella provincia di Bergamo". Lo studio, realizzato dallo Studio Ghezzi nel 1986 (LR 62/85), suddivide l'area in questione in tre settori (procedendo da nord verso sud):

- ♦ Pianalto ferrettizzato è considerato come il "settore delle argille – terrazzamento antico dell'Isola (permeabilità bassa, argilla in spessori da 0 a 15 metri) a vulnerabilità molto bassa". Tale settore è caratterizzato da una successione litologica omogenea rappresentata da un primo livello limoso – argilloso di spessore metrico ma variabile da zona a zona e da una superficie della falda principale generalmente profonda. Fatto confermato, soprattutto per quanto riguarda la vulnerabilità da nitrati, dal lavoro svolto dall'ERSAL che indica nella "Carta del dilavamento potenziale dei suoli", suoli con basso rischio di dilavamento.
- ♦ i terrazzi del fluvioglaciale würmiano (area di Capriate) sono considerati inseriti in un "settore a litologie variabili – terrazzamenti intermedi dell'Isola (permeabilità variabile), a vulnerabilità crescente man mano che ci si sposta verso l'asta fluviale del Brembo". In tale settore, oltre alla disomogeneità litologica superficiale rappresentata dalla presenza di ghiaie e argille in proporzioni diverse da zona a zona (spessore massimo 10 – 15 metri), si aggiunge la variabilità litologica degli orizzonti più profondi costituiti da ghiaie o conglomerati in alternanza. In quest'area la superficie della falda è posta mediamente ad una trentina di metri di profondità. Per quanto riguarda la vulnerabilità da ni-

trati, l'ERSAL indica per questa unità suoli con più elevato rischio di dilavamento.

- ♦ i terrazzi del fluvioglaciale post – würmiano ed i depositi fluviali attuali e recenti sono considerati inseriti in un "settore caratterizzato da sedimenti della granulometria delle ghiaie e delle sabbie che presentano uno spessore decimetrico (permeabilità elevata) e vulnerabilità crescente man mano che ci si sposta verso sud".

Nella zona di confluenza del Brembo con l'Adda, si sottolinea la presenza di prevalenti ghiaie a partire dalla superficie sino alla profondità di 50 metri. In quest'area inoltre la profondità della superficie della falda viene gradualmente a ridursi a zero.

La natura ghiaiosa di questi terreni, unita all'elevato valore di conducibilità idraulica che li caratterizza, la completa assenza di livelli impermeabili di protezione (dovuta anche alle attività di cava) e la ridotta soggiacenza della superficie della falda, determinano un'elevata vulnerabilità dell'acquifero principale che appare in scambio diretto con il fiume.

5.3.3 Caratteristiche della falda

Per la ricostruzione dell'andamento della superficie della falda superficiale è stata effettuata una campagna di misurazioni, esclusivamente del livello statico, in corrispondenza dei pozzi della zona ed ad alcune considerazioni sulle emergenze della falda. Dopodiché si sono uniti i punti posti ad uguale quota piezometrica realizzando le linee isofreatiche. Le elaborazioni digitali che hanno permesso di ottenere le isofreatiche sono state anche impiegate anche per la determinazione della soggiacenza della falda.

Sulla carta dei lineamenti idrogeologici si sono riportati quindi tutti quegli elementi necessari per la caratterizzazione del territorio comunale:

- ♦ le aste fluviali a carattere permanente
- ♦ le aste fluviali a carattere temporaneo;
- ♦ le sorgenti;
- ♦ i pozzi pubblici e quelli privati;
- ♦ delimitazione della zona di rispetto dei pozzi con utilizzo idropotabile o misto ai sensi dell'articolo 94 del d.lgs 152/2006 con successive integrazioni (la zona di tutela assoluta non è evidente in quanto è sovrapposta altra simbologia);
- ♦ i laghi di cava (zone di emergenza della falda);
- ♦ le isofreatiche con relativa quota s.l.m.;
- ♦ la direzione di deflusso della falda;
- ♦ la soggiacenza della falda;
- ♦ fascia di deflusso della piena e fascia di esondazione previste dal Piano Stral-

cio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) adottato con Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po il 26 aprile 2001 n. 18 ed approvato con DPCM del 8 agosto 2001 n. 183, con andamento adeguato alla morfologia locale.

Dall'analisi incrociata di questi dati si ricava che:

- ♦ in corrispondenza delle scarpate dell'Adda sono presenti diverse sorgenti che sono interpretate come punti di emergenza di falde sospese più superficiali;
- ♦ nell'ambito dell'area di studio la superficie della falda principale è compresa tra la quota di 154 m s.l.m. (estremità nord – orientale del territorio comunale) e quella di 131 – 132 m s.l.m. (in corrispondenza dell'estremità sud del territorio comunale). La superficie freatica è ubicata a profondità decrescente da piano campagna, a partire da circa 55 – 60 metri nell'estremità nord del territorio comunale, sino al piano campagna in corrispondenza dell'estremità meridionale (fiume Adda);
- ♦ la falda ha un gradiente medio del 4 – 5‰;
- ♦ la direzione del flusso idrico sotterraneo è diretta mediamente da NE verso SO, in relazione all'azione principale di drenaggio operata dall'Adda. Tale direzione di flusso regola anche il movimento degli inquinanti nel sottosuolo. L'andamento è costante fino dalla zona della ditta Fillattice fino alla scarpata a monte di Crespi d'Adda, dopodiché l'azione combinata dell'Adda che funge da asse drenante e l'andamento della topografia superficiale, alterano l'andamento delle isopieze, facendo aumentare il gradiente.

Dall'analisi emerge l'importanza per il livello di falda dell'azione drenante dell'Adda e di alimentazione del Brembo e dei suoi affluenti e, conseguentemente vista l'elevata permeabilità e vulnerabilità dei terreni che contengono la prima falda, del riflesso di quest'ultimo fiume sulla qualità delle acque di falda. Il collegamento diretto tra andamento della falda, le precipitazioni e le portate del fiume Brembo, emergono anche dall'analisi delle misure fatte in alcuni pozzi dell'Isola (Suisio e Brembate Sotto). Lo sfasamento tra il picco delle precipitazioni e quello della falda principale è di 2 – 3 mesi; mentre è possibile vedere come la risposta della falda sia identica e quasi contemporanea per entrambi i pozzi, anche se distanti a diversi chilometri.

ID	Quota pc (m s.l.m.)	Portata (l/s)	Livello statico (m s.l.m.)	Utilizzo
01	210,9	–	153,6	Industriale
2	206,5	34	248,1	Potabile / acquedotto
3 (Brembate)	206,0	37	151,2	Potabile / acquedotto
4	180,5	10	143,2	Potabile / acquedotto
5	186,0	8	–	Potabile
6	186,8	–	–	Irriguo

7	184,1	10	–	Potabile / acquedotto
8	183,6	20	139,6	Igienico – sanitario
9	180,5	–	136,5	Irriguo
10	159,4	–	–	Igienico – sanitario
11	148,3	17	–	Antincendio
12	148,0	–	–	Antincendio
13	209,4	25	–	Industriale
14	209,3	4	–	Geotermico
15	182,4	25	–	Igienico – sanitario

Tabella 14: Piezometria (livello statico) dei pozzi di Capriate San Gervasio – novembre 1997.

Per quanto riguarda l'escursione della falda, da fonti bibliografiche, è possibile prevedere il verificarsi di un'escursione massima di alcuni metri.

5.3.4 Qualità delle acque

I dati bibliografici disponibili di analisi chimiche su campioni d'acqua, sono stati elaborati per poter individuare le caratteristiche chimico – fisiche della falda. A tale scopo si è impiegato soprattutto il contenuto salino, individuando i rapporti tra i diversi anioni e cationi contenuti in equilibrio nella soluzione acquosa, che rappresenta la mineralizzazione naturale del campione d'acqua; a questa mineralizzazione si sovrappone l'effetto legato all'influenza antropica.

I principali fattori che regolano l'equilibrio sono:

1. le caratteristiche quali – quantitative delle acque meteoriche;
2. le caratteristiche quali – quantitative delle acque sorgive e/o di quelle superficiali;
3. il contesto geologico e morfologico del bacino di alimentazione;
4. le condizioni climatiche;
5. il bilancio idrico del bacino;
6. la densità della popolazione;
7. l'uso del territorio;
8. l'utilizzo delle acque.

I primi cinque punti determinano le caratteristiche "naturali" dell'acqua, i restanti tre indicano variazioni chimico – fisiche legate alle attività umane.

Per quanto riguarda le caratteristiche chimiche delle acque sotterranee della zona, si fa riferimento a risultati d'analisi condotte rispettivamente nel luglio 1992 e nel settembre – ottobre 1992 in seguito all'emergenza atrazina.

I risultati ottenuti sono riassunti nelle seguenti tabelle:

Comune	Data	pH	CE	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
			µS/cm	mg/l	Mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Bottanuco	lug.92	7,35	547	70,8	21,2	6,4	0,9	10,9	26,4	33,5	<0,05
Bottanuco	lug.92	7,2	506	70,8	16,8	5,9	1,2	10,7	23,2	30,1	<0,05
Brembate	lug.92	7,4	406	60,4	18,0	4,5	0,8	10,4	33,1	17,9	<0,05
Brembate	lug.92	7,5	394	57,6	19,2	6,4	0,6	10,9	35,6	12,4	<0,05
Capriate	lug.92	7,4	509	70,8	18,4	5,9	1,1	13,9	31,6	22,3	<0,05
Capriate	lug.92	7,15	584	82,8	19,6	5,6	1,2	12,8	32,5	35,7	<0,05
Capriate	lug.92	7,4	445	60,8	18,8	4,1	0,7	12,1	30,6	16,5	<0,05
Filago	lug.92	7,2	660	86,2	22,4	6,8	1,2	12,8	38,2	38,4	<0,05
Filago	lug.92	7,4	532	72,8	19,0	4,5	0,8	11,9	32,4	23,8	<0,05

Tabella 15: Caratteristiche chimiche delle acque di pozzo e di sorgente relative al luglio 1992.

Comune	Data	pH	CE	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
			µS/cm	mg/l	Mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Bottanuco	set.92	7,4	480	60,8	16,8	5,7	1,1	10,4	20,3	41,1	<0,05
Bottanuco	set.92	7,4	496	81,0	14,6	6,0	1,5	13,6	22,4	41,2	<0,05
Brembate	set.92	7,5	512	63,2	16,0	4,5	1,0	11,4	31,1	22,8	<0,05
Brembate	set.92	7,5	500	58,0	16,6	6,5	0,8	11,7	36,1	14,1	<0,05
Capriate	set.92	7,4	522	71,6	16,6	5,5	1,1	14,3	32,2	31,1	<0,05
Capriate	set.92	7,3	608	85,2	16,8	5,3	1,4	14,7	30,8	49,2	<0,05
Capriate	set.92	7,5	438	65,4	16,0	3,7	0,9	12,8	32,2	18,1	<0,05
Filago	set.92	7,3	589	95,4	19,8	6,6	1,2	12,1	34,0	37,0	<0,05
Filago	ott.92	7,4	527	71,2	18,4	4,5	0,9	13,9	33,5	33,0	<0,05
Capriates.	set.92	7,6	510	66,8	15,2	5,3	0,9	15,4	21,9	41,12	<0,05

Tabella 16: Caratteristiche chimiche delle acque di pozzo e di sorgente relative al settembre – ottobre 1992.

Si riportano ora le considerazioni di carattere regionale relativamente alle aree indagate.

Durezza

La durezza rappresenta il contenuto di calcio e di magnesio nelle acque. È espressa in gradi francesi, dove un grado francese corrisponde a 10 mg/l di carbonato di calcio (CaCO₃).

Tale parametro è generalmente compreso tra 25 e 35° F, valori tipici di una circolazione idrica che si verifica all'interno dei conglomerati del Ceppo, mentre valori più elevati, possono essere connessi a fenomeni d'inquinamento diffuso.

In corrispondenza del territorio comunale i valori di durezza risultano compresi tra i 15° e i 25°F (acque da poco dure a mediamente dure); tali valori diminuiscono gradualmente spostandoci verso il fiume Brembo. La diminuzione sembra essere legata all'infiltrazione nel sottosuolo delle acque superficiali (di precipitazione e del fiume Brembo); queste ultime, essendo dotate di un minor grado di mineralizzazione, operano una diluizione delle acque di falda.

Conducibilità

La distribuzione areale dei valori di conducibilità ricalca sostanzialmente quella della durezza. In corrispondenza della zona lungo il Brembo, si ha una fascia a più basso tenore in sali dove si ha la diluizione prodotta dalle acque del fiume.

Spostandosi più ad occidente, in corrispondenza di una zona allungata parallelamente al Brembo e disposta lungo i comuni di Bonate, Madone, Filago e Capriate San Gervasio, la conducibilità aumenta. Lungo questa zona i tenori medi sono elevati (anche superiori a 500 – 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

In corrispondenza del territorio comunale di Capriate San Gervasio i tenori sono leggermente più bassi, attorno ai 400 – 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con tendenza a ridursi spostandoci verso sud – ovest.

Tale riduzione si verifica nonostante il più lungo percorso dell'acqua nell'acquifero e, conseguentemente, al maggior tempo di contatto delle acque con la matrice dell'acquifero, elemento questo che porta ad un arricchimento in sali disciolti.

Questa contraddizione può essere giustificata presupponendo che l'azione di diluizione svolta dalle acque infiltratesi dalla superficie (di precipitazione o del fiume Brembo) sia prevalente su quella di arricchimento in sali.

In corrispondenza del Pianalto ubicato più a nord, distante dai fiumi e, quindi, dalla ricarica della falda e conseguente diluizione, in aggiunta alla presenza delle coltri limoso – argillose che esercitano un elevato grado di isolamento superficiale nei confronti degli apporti idrici, il grado di mineralizzazione si mantiene più elevato.

Nitrati

Il contenuto in nitrati riscontrabile nelle acque sotterranee deriva dal trasporto in soluzione operato dall'acqua che percola dalla superficie e li trascina in profondità, fino a raggiungere la falda. L'esistenza di concentrazioni elevate di queste sostanze nelle acque sotterranee è correlabile a fenomeni d'inquinamento. La concentrazione dipende dai seguenti fattori:

1. dalla quantità di composti d'azoto presente nel terreno;
 2. dall'intensità del flusso delle acque di percolazione;
 3. dalle caratteristiche del terreno.
1. La quantità di nitrati presente nel terreno dipende essenzialmente da cause di origine antropica (concimazione azotata dei terreni), dall'intensità dei processi microbiologici e dagli apporti derivanti dalle precipitazioni atmosferiche.

Concentrazioni puntuali elevate di nitrati nei terreni sono spesso legate alla presenza di scarichi di rifiuti urbani ed industriali, a perdite di reti fognarie o di pozzi perdenti, all'impiego in agricoltura dei reflui legati all'attività zootecnica.

2. La veicolazione e la concentrazione in profondità di queste sostanze è legata alla quantità d'acqua che s'infiltra nel sottosuolo. A sua volta la concentrazione è legata alle precipitazioni meteoriche (intensità e durata) ed all'irrigazione dei campi. In entrambi i casi è in funzione della quantità effettiva di acqua che s'infiltra nel sottosuolo.
3. La capacità dei suoli di rallentare la velocità di movimento dei nitrati nel terreno è direttamente proporzionale al contenuto in particelle fini (riduzione della conducibilità idraulica ed elevato potere adsorbente). Laddove invece prevalgono le frazioni granulometriche più grossolane, il terreno non riesce a trattenere la molecola di NO_3 , che può così propagarsi facilmente nel sottosuolo.

Il D.P.R. n. 236 del 24/05/1988, in vigore al momento degli studi sull'atrazina, stabiliva il valore della concentrazione massima ammissibile (C.M.A.) di tali sostanze in 50 mg/l e il valore guida (V.G.) in 5 mg/l; le direttive CEE consigliano come valore guida i 25 mg/l.

Nell'area meridionale dell'Isola, le concentrazioni sono comprese tra i 10 e i 35 mg/l e si riscontrano nelle zone adiacenti a Brembo e Adda. Valori compresi tra 25 e 50 mg/l si ritrovano lungo una fascia diretta NE – SO, che si estende da Ponte San Pietro sino a Capriate San Gervasio.

Valori superiori a 50 mg/l si riscontrano nella zona di Chignolo e Terno d'Isola.

Il contenuto in nitrati nelle acque sotterranee tende, per la zona in questione, a diminuire spostandosi da nord verso sud e da ovest verso est (in prossimità del fiume Brembo).

Sostanze indesiderabili

Tra le "sostanze indesiderabili", i composti più importanti sono quelli organoalogenati (C.O.T.). Il D.P.R. n. 236 del 24/05/1988, in vigore al momento degli studi sull'atrazina, stabiliva in 30 $\mu\text{g}/\text{l}$ la concentrazione massima ammissibile (C.M.A.) ed in 1 $\mu\text{g}/\text{l}$ il valore guida (V.G.).

I Composti Organo – alogenati, sono largamente impiegati come solventi nello sgrassaggio di macchinari industriali, la loro presenza nelle acque sotterranee è legata quindi esclusivamente a cause antropiche.

I C.O.T. non sono biodegradabili ad opera dei microorganismi ed a causa del loro elevato peso specifico e della loro scarsa miscibilità con l'acqua, possono penetrare profondamente nel sottosuolo e raggiungere la falda originando persistenti fenomeni di contaminazione.

Una volta raggiunta la superficie della falda, la fase immiscibile di queste sostan-

ze tende a spostarsi verso il basso ed a raggiungere il substrato impermeabile appiattendosi su di esso, nel contempo la fase miscibile genera un pennacchio inquinante che si espande nella direzione di flusso.

La presenza in falda di queste sostanze testimonia l'esistenza del rilascio di tali composti chimici nell'ambiente. La loro presenza è legata quindi a scarichi industriali nei terreni, a pozzi perdenti, a vasche e fosse settiche, a tubazioni o serbatoi di stoccaggio non a perfetta tenuta, a sversamenti accidentali, a discariche abusive e all'abbandono della sorveglianza dei pozzi per acqua.

Comune	Data	C.O.T. ($\mu\text{g/l}$)
Bottanuco	lug, 92	7,20
Bottanuco	lug, 92	22,7
Brembate	lug, 92	3,3
Brembate	lug, 92	0,5
Capriate	lug, 92	14,2
Capriate	lug, 92	9,9
Capriate	lug, 92	2,4
Filago	lug, 92	1,3
Filago	lug, 92	4,8

Tabella 17: Composti Organo – alogenati Totali nelle acque di pozzo (luglio 1992).

Comune	Data	C.O.T. ($\mu\text{g/l}$)
Bottanuco	sett. 92	2,5
Bottanuco	sett. 92	21,7
Brembate	sett. 92	2,9
Brembate	sett. 92	0,6
Capriate	sett. 92	2,0
Capriate	sett. 92	9,0
Capriate	sett. 92	0,7
Filago	sett. 92	3,1
Filago	sett. 92	5,0
Capriate (s)	sett. 92	14,1

Tabella 18: Composti Organo – alogenati Totali nelle acque di pozzo e di sorgente (settembre – ottobre 1992).

Sostanze tossiche

Nei pozzi della zona oltre ai composti organo – alogenati è stata individuata la presenza di "sostanze tossiche" legate al ciclo di produzione di industrie chimiche oppure all'impiego di queste sostanze in agricoltura, come nel caso specifico dei fitofarmaci. Questi ultimi possono essere in parte solubilizzati dalle acque meteoriche o di irrigazione e trasportati verso i corsi d'acqua principali oppure, se la conducibilità idraulica dei terreni è elevata, nel sottosuolo.

La propagazione in profondità di questi inquinanti si verifica per graduale e progressiva saturazione dei terreni, a partire dagli strati più superficiali.

La quantità di fluido necessaria a saturare un terreno dipende dalle sue caratteristiche strutturali, granulometriche e litologiche. Nei suoli poveri di sostanza orga-

nica, come quelli di questa zona, la migrazione dei pesticidi, a parità di altre condizioni, viene favorita.

Secondo il D.P.R. n. 236 del 24/05/1988 (Allegato I), in vigore al momento degli studi sull'atrazina di riferimento bibliografico, la Concentrazione Massima Ammissibile per ciascun parametro chimico – tossico è stabilita nei seguenti valori:

- Alachlor 0,1 μg/l
- Atrazina 0,1 μg/l
- Simazina 0,1 μg/l
- Terbutilazina 0,1 μg/l
- Propazina 0,1 μg/l

In relazione alla presenza di atrazina nei pozzi e nelle sorgenti della provincia si riportano i risultati contenuti di un'indagine del 1986, condotta dallo Studio Idrogeotecnico del Dott. Ghezzi e denominata "Piano di Bonifica della falda sotterranea interessata da atrazina nella provincia di Bergamo" (L.R. n. 62 del 27/05/1985).

Per quanto riguarda i campioni di acqua di falda si riportano di seguito i risultati ottenuti:

Comune	Pozzi esaminati	N° pozzi		
		<0,1 (μg/l)	0,1 – 0,5 (μg/l)	valore max, (μg/l)
Brembate Sotto	8	1	7	0,54
Filago	17	4	13	0,69
Capriate S, G,	8	7	1	0,28

Di seguito si riportano anche i risultati ottenuti da prelievi effettuati nel luglio e nel settembre – ottobre 1992.

Comune	Data	antiparassitari μg/l	atrazina μg/l
Bottanuco	lug, 92	0,14	0,14
Bottanuco	lug, 92	0,15	0,15
Brembate	lug, 92	< 0,10	0,07
Brembate	lug, 92	0,32	0,32
Capriate	lug, 92	< 0,10	0,09
Capriate	lug, 92	< 0,10	0,07
Capriate	lug, 92	0,13	0,13
Filago	lug, 92	< 0,10	0,04
Filago	lug, 92	< 0,10	0,08

Tabella 19: Sostanze Tossiche nelle acque di pozzo (luglio 1992).

Comune	Data	antiparassitari	Atrazina
		µg/l	µg/l
Bottanuco	sett, 92	0,23	0,23
Bottanuco	sett, 92	0,20	0,20
Brembate	sett, 92	< 0,10	< 0,02
Brembate	sett, 92	0,36	0,36
Capriate	sett, 92	0,28	0,28
Capriate	sett, 92	0,22	0,22
Capriate	sett, 92	0,22	0,22
Filago	sett, 92	0,22	0,22
Filago	sett, 92	0,20	0,20
Capriate (s)	sett, 92	< 0,10	0,02

Tabella 20: Sostanze Tossiche nelle acque di pozzo e di sorgente (settembre – ottobre 1992).

5.3.5 Facies idrochimiche

La rappresentazione grafica dei dati analitici consente di comparare tra loro acque prelevate in zone diverse, identificando e correlando tra loro quelle che possiedono caratteristiche chimiche simili.

Per operare tali confronti sono stati utilizzati i diagrammi di Schoeller, essi riportano in ordinata le concentrazioni espresse in meq/litro (su scala logaritmica) ed in ascissa gli elementi chimici principali (Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$, SO_4^{--} ; Cl^{-} , NO_3^{-} ; $\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{-}$), ciò consente sia di valutare il diverso grado di mineralizzazione di ciascun campione, che i diversi rapporti caratteristici esistenti tra gli ioni principali.

Gli elementi considerati nel diagramma sono i principali responsabili della mineralizzazione dell'acqua. In condizione di equilibrio chimico, come quello che si stabilizza generalmente in natura, la somma delle concentrazioni dei cationi e degli anioni, deve essere coincidente. L'eventuale differenza è da attribuirsi sia agli ioni secondari (P, NO_2 , NH_4^{+} etc.) non considerati a causa della loro bassa concentrazione, sia alla percentuale d'errore insita nelle tecniche analitiche. Gli ioni secondari risultano in concentrazioni significative solamente in quelle situazioni in cui anche i dati biologici oltre agli altri parametri, evidenziano una situazione naturale particolarmente degradata.

Il confronto dei grafici ottenuti da diversi campioni, può consentire le seguenti considerazioni:

- totale sovrapposizione dei tracciati: è una situazione molto rara perché in linea teorica corrisponde ad analisi di campioni d'acqua con identica concentrazione e rapporto tra gli ioni.
- similitudine nell'andamento dei tracciati: si verifica quando i campioni presentano la stessa facies idrochimica e questo può significare che i percorsi sotterranei risultano simili. Acque simili, ma a maggior contenuto salino, possiedono tracciati paralleli che si dispongono nella parte più elevata del diagramma; questo è imputabile ad acque che hanno soggiornato più a lungo nell'acquifero.

- c) diversità tra i traccati: indica una situazione in cui le facies idrochimiche non sono confrontabili, il che presuppone diverse zone di alimentazione e/o diverse caratteristiche degli acquiferi.

Ai fini della caratterizzazione della facies idrochimica delle acque superficiali e di quelle sotterranee, sono state confrontate le caratteristiche relative ai dati chimici in possesso e risultano che le acque dell'Adda e a quelle del Brembo sono comparabili.

Dal confronto tra le caratteristiche chimiche delle acque sotterranee, relative ai campionamenti di luglio 1992 e di settembre – ottobre 1992, si ha la conferma della generale omogeneità litologica dell'acquifero.

La riduzione del contenuto in nitrati nelle acque sotterranee è chiaramente visibile man mano che ci si sposta verso sud o verso est; essa sembra essere legata all'alimentazione del fiume Brembo.

6. PERICOLOSITÀ E RISCHIO SISMICO

Nella presente sezione sono descritte le metodologie ed i risultati dello studio svolto al fine di definire la componente sismica per il PGT. Le metodologie tecniche applicate, per quanto possibile, sono conformi ai contenuti della DGR VIII/1556/2005, come aggiornata dalla DGR VIII/7374/2008; in particolare si sono applicati il primo e secondo livello relativi alla fase di pianificazione come definiti dalle DGR citate.

I risultati dell'analisi di primo livello sono stati sintetizzati in Tavola 05 che definisce gli scenari di Pericolosità Sismica Locale (PSL); in tale tavola sono stati delimitati i contesti geologico – morfologici che, in caso di sisma, possono sviluppare uno o più fenomeni favorevoli ad un incremento del risentimento sismico.

Nel caso di Capriate San Gervasio, la carta relativa all'analisi di primo livello presenta una situazione relativamente omogenea, dominata da ambienti in cui prevalgono effetti di amplificazione del moto sismico di natura stratigrafica (anche detti amplificazioni litologiche e geometriche, come indicato nella DGR VIII/7374/2008).

I risultati dell'analisi di secondo livello descrivono, per areali omogenei, i fattori d'amplificazione riferiti a due intervalli di periodi (0,1 – 0,5 s e 0,5 – 1,5 s). Il fine delle analisi di II livello è verificare se i fattori di amplificazione specificati nelle norme nazionali sono adeguati alla specifica situazione geologica. Nel caso di Capriate San Gervasio, l'analisi di secondo livello è basata su due prove geofisiche i cui risultati sono stati estesi arealmente sulla base delle informazioni stratigrafiche e geologiche precedentemente riportate. I risultati ottenuti nei due punti di indagine, dislocati nell'area più urbanizzata del territorio comunale, evidenziano un superamento dei valori soglia regionale per nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s; nell'intervallo di periodi superiore (0,5 – 1,5 s) i valori risultano inferiori ai valori soglia.

Si hanno inoltre altri areali omogenei individuati in Tavola 05 per i quali la normativa prevede approfondimenti di III livello (approfondimenti in fase di progettazione) senza ulteriori valutazioni in fase di pianificazione.

6.1 INQUADRAMENTO TETTONICO

L'inquadramento geo – tettonico è stato desunto fondamentalmente dai seguenti studi:

- ♦ Enciclopedia del petrolio e del gas naturale (ENI, Roma 1962 – 1971)
- ♦ Rapporto per la localizzazione di una centrale elettronucleare nella Regione Lombardia (ENEL, 1984)
- ♦ Piano di Emergenza Provinciale del Rischio Sismico (Provincia di Bergamo – Settore Viabilità e Protezione Civile, 2005)
- ♦ Structural Model of Italy (CNR, 1983)

6.1.1 Assetto tettonico della pianura padana

L'attuale assetto tettonico della Pianura Padana è determinato dai fenomeni orogenetici che hanno prodotto i suoi due principali confini strutturali: le Alpi Meridionali che la delimitano a Nord, l'Appennino Settentrionale che la delimitano a sud (Figura 17).

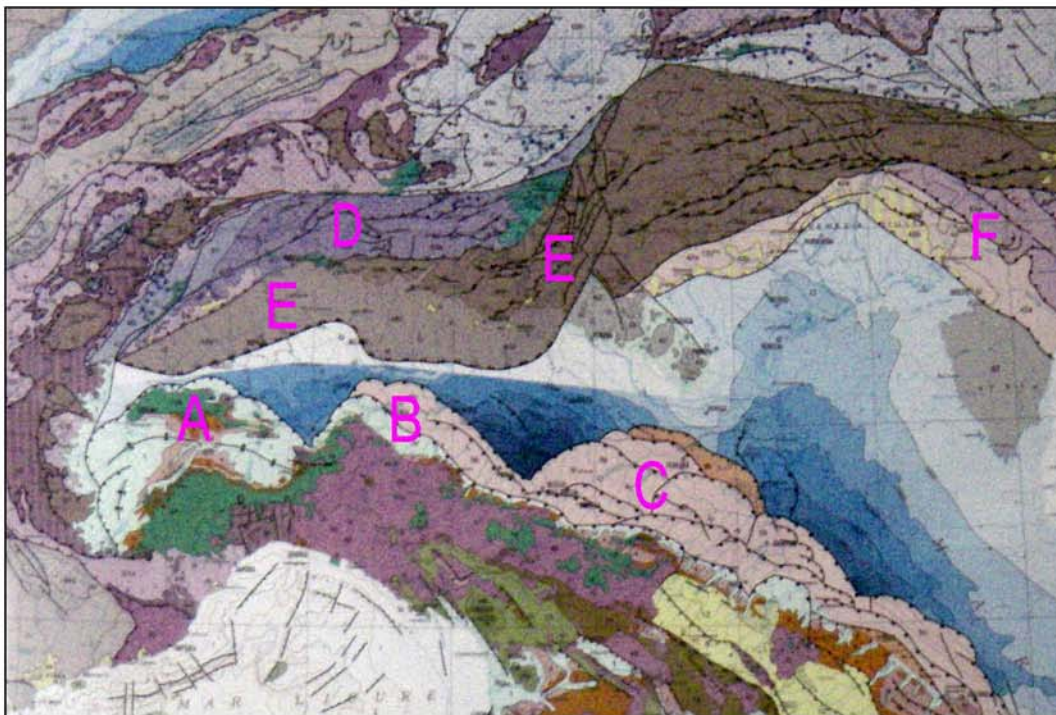


Figura 17: Estratto dal modello strutturale d'Italia (CNR, 1983) per l'ambito padano. Si possono osservare i due principali sistemi arcuati, Nordappenninico e Sudalpino, divisi dalla copertura Quaternaria indeformata. "A" Pieghe del Monferrato, "B" Pieghe Emiliane, "C" Pieghe Romagnole – Ferraresi, "D" Arco Orobico, "E" Arco delle Giudicarie – Val Trompia. "F" Arco del Friuli – Venezia Giulia.

L'origine e la forma degli Appennini e delle Alpi Meridionali deriva dalla convergenza tra le Placche Africana ed Europea che è in corso dal Cretaceo Superiore. È all'interno di queste strutture tettoniche che si possono ricercare le sorgenti sismogenetiche, storicamente attive o potenziali, rilevanti per la pericolosità sismica della provincia di Bergamo.

Nel fronte strutturale Nord Appenninico, che si estende per più di 50 Km nella Pianura Padana inferiormente alla copertura Quaternaria, si identificano tre principali sistemi arcuati di sovrascorrimento, grossolanamente orientati E – W, partendo da occidente:

- A) Sistema di Pieghe Arcuate del Monferrato: è il più interno ed occidentale, esso segna l'ultima fase orogenetica tardo Pliocenica;
- B) Sistema di Pieghe Arcuate Emiliane: rappresentano il sistema centrale di sovrascorrimenti arcuati più prossimo all'Omoclinale Alpina e ampiamente collidente con il contrapposto, antico e sepolto, Fronte Sudalpino. L'ultima e più importante fase che ha interessato questo sistema arcuato si è attuata dal

tardo Pliocene;

- C) Sistema di Pieghe Romagnole – Ferraresi: costituiscono il più orientale e complesso tra i sistemi di archi ed anche il più complesso tra i maggiori allineamenti della Pianura Padana. Le "Pieghe Romagnole", le strutture più interne dell'arco, sono caratterizzate da una disarmonia strutturale delle formazioni clastiche Terziarie rispetto alle formazioni carbonatiche Mesozoiche.

La struttura della Catena Alpina è divisa principalmente in due grandi domini tettonici dal Lineamento Insubrico o Periadiatico (costituito dai segmenti detti Linea della Gail – Pusteria, delle Giudicarie, del Tonale e del Canavese): a Nord del lineamento si distinguono le Alpi S.S., mentre a sud il Dominio Sudalpino o Alpi Meridionali (Figura 17). Nelle Alpi Meridionali sono distinti tre sistemi arcuati:

- D) Arco Orobico: rappresenta il sistema più interno; attivo dal Cretaceo Superiore al Paleogene, si sviluppa circa est – ovest tra la zona dei Laghi ed il Massiccio dell'Adamello in prossimità del quale subisce una netta deviazione verso SW;
- E) Arco delle Giudicarie – Val Trompia: è il sistema intermedio che risale al Miocene medio – inferiore. La direzione preferenziale NNE – SSW assunta dall'asse delle Giudicarie è fortemente curvata verso ovest in corrispondenza della Val Trompia e del bresciano (Gomito del Garda) incuneandosi al di sotto della Pianura Padana;
- F) Arco del Friuli – Venezia – Giulia: è il sistema più esterno che rappresenta la maggior parte del settore orientale delle Alpi Meridionali. L'arco presenta un complesso fronte esterno concavo di età Pliocenica – Quaternaria, ed è la principale zona simogenica responsabile dell'elevata sismicità dell'area carnica – friulana.

Tra le Alpi Meridionali e l'Appennino si estende il bacino padano in cui si è sviluppata la successione detritica pliocenico – quaternaria, con spessore di alcune migliaia di metri; questi sedimenti poggiano su un substrato rigido formato da rocce carbonatiche mesozoico – eoceniche, interessato da una serie di faglie ad andamento ovest – est.

In sintesi, l'area padana è il risultato di una compressione asimmetrica bilaterale che ha agito in più tempi nell'intervallo Miocene superiore – Pliocene, compressione applicata in modo differente nei bordi meridionali e settentrionali del sistema. Quest'ultima condizione ha provocato una progressiva riduzione dello spazio indeformato della Pianura Padana ed il suo graduale assottigliamento.

L'alto tasso di sedimentazione Plio – Pleistocenico all'interno dell'avanfossa Padana in restringimento è da mettersi in relazione con il generale arretramento ed approfondimento del depocentro Padano. La conseguente subsidenza della Pianura Padana è stata incrementata dalla compressione Neogenica, come pure dai carichi implicati dagli spostamenti tettonici dei depositi sedimentari più recenti.

6.2 INQUADRAMENTO SISMOLOGICO

Per conoscere la sismicità di un territorio sono utilizzati i dati relativi ai terremoti storici, verificatisi anche in epoche in cui non esistevano strumenti per la loro misura, e le caratteristiche sismotettoniche della regione.

Attraverso la distribuzione spaziale e temporale dei terremoti del passato è possibile, infatti, attribuire valori di Intensità e di Magnitudo ai singoli eventi sismici, e individuare le strutture sismogenetiche da cui prendono origine.

I dati sismometrici, registrati in epoca strumentale, forniscono informazioni sugli eventi sismici più complete e attendibili e consentono una valutazione più precisa della pericolosità sismica di base del territorio indagato; l'evento atteso può essere descritto sia in termini di scuotimento (Pga: accelerazione di picco attesa) sia in termini di intensità macrosismica (I_{MCS}).

6.2.1 Cenni di sismicità storica e strumentale

Per la definizione delle caratteristiche sismiche generali del Comune di Capriate San Gervasio ci si è avvalsi di due banche dati sismologiche, la prima contenente per la maggior parte eventi sismici occorsi in epoca storica (approssimativamente accaduti negli ultimi due millenni), la seconda composta da eventi sismici registrati dalla rete sismica nazionale a partire dall'inizio degli anni 1980.

Le informazioni di sismologia storica e strumentale a disposizione, qualificano l'area di Capriate San Gervasio come un territorio interessato da un'attività sismica di moderata entità che, pur tuttavia, non deve essere sottovalutata.

Anno	Località	Lat	Lon	M
1396	Monza	45,58	9,27	5.27
1576	Bergamo	45,667	9,667	4.53
1593	Bergamo	45,694	9,67	4.8
1606	Bergamo	45,694	9,67	4.8
1642	Bergamo	45,694	9,67	4.8
1781	Caravaggio	45,497	9,644	4.8
1918	Lecchese	45,778	9,631	4.86
1961	Caprino Bergamasco	45,717	9,567	4.53
1979	Trezzo sull'Adda	45,617	9,467	4.8

Tabella 21: Eventi sismici occorsi nel raggio di 25 chilometri da Capriate San Gervasio tra il 200 a.C. e il 2002 d.C. (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004).

L'evento sismico più prossimo a Capriate San Gervasio contenuto nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI), un catalogo di eventi sismici occorsi nel territorio italiano tra il 200 a.C. e il 2002 d.C. (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004), è un evento di magnitudo 4.6 accaduto nel 1979 in corrispondenza dell'abitato di

Trezzo sull'Adda (si veda a questo proposito Tabella 21).

Nel complesso, la sismicità sopra descritta mostra eventi di energia non elevata (magnitudo M_s inferiore a 5,0); l'unico evento che parzialmente contraddice quest'osservazione è l'evento di magnitudo 5,36 (M_s) avvenuto nel 1396, con località epicentrale indicata nel catalogo CPTI come "Monza"

Osservando i campi quotati contenuti nel database macrosismico italiano (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>), non s'individuano osservazioni macrosismiche relative a Capriate San Gervasio.

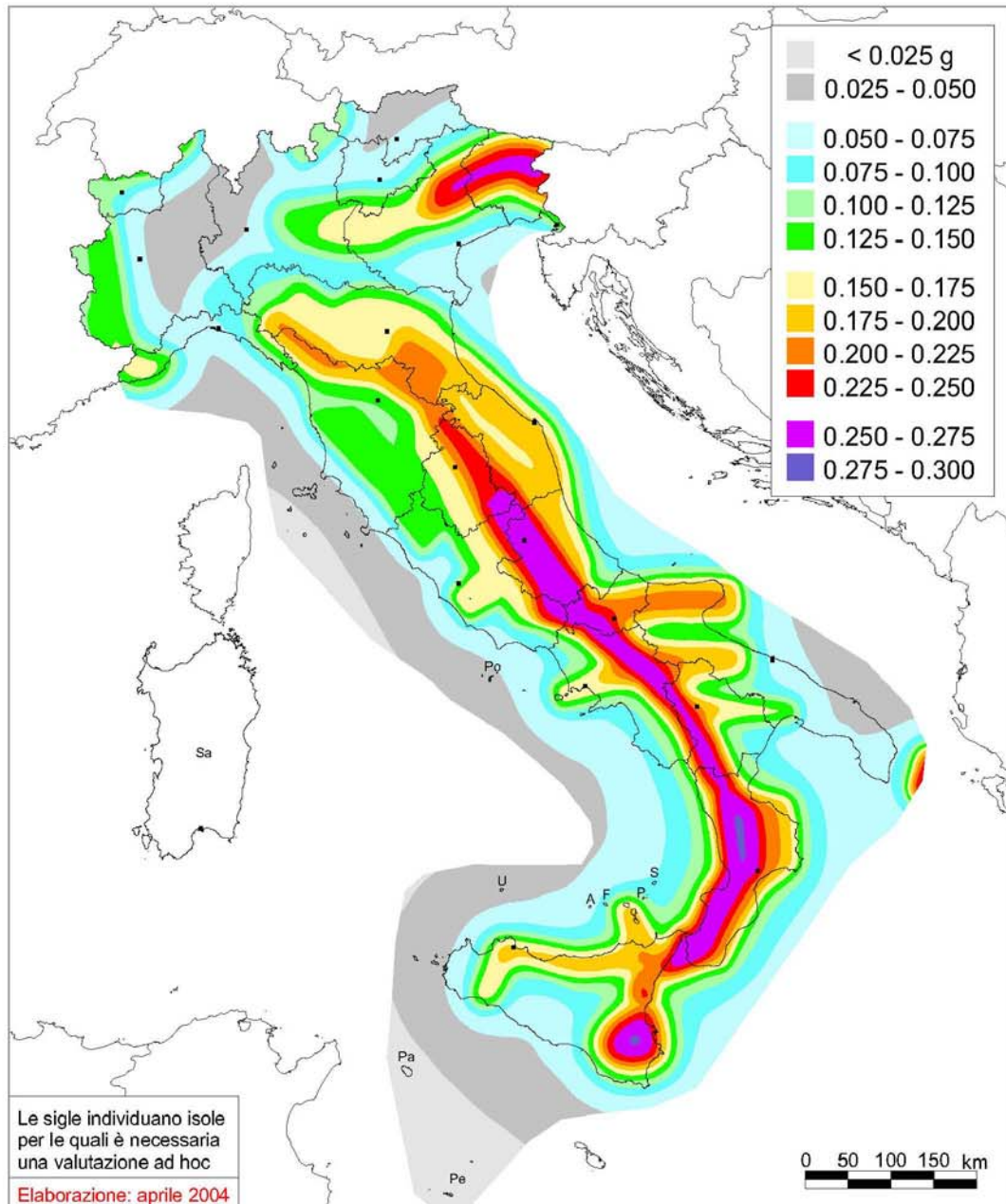


Figura 18: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del 30 D.M. 14.09.2005).

La sismicità strumentale contenuta nel catalogo CSI (Catalogo Strumentale della Sismicità Italiana; Castello et al., 2006) mostra uno schema di distribuzione degli eventi differente rispetto a quello prima commentato per la sismicità storica. In vicinanza dell'area indagata, infatti, la sismicità strumentale è disposta lungo una fascia allungata in direzione NE – SO che dalla zona a nord di Brescia passa a sud del Lago d'Iseo e quindi scende verso la pianura in direzione di Lodi. La profondità ipocentrale degli eventi è in media inferiore a 30 km.

6.2.2 Quadro normativo nazionale

La recente approvazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14 gennaio 2008) ha modificato il classico il concetto di zonazione sismica e, conseguentemente, il criterio di calcolo delle azioni sismiche da utilizzare nella progettazione di edifici e strutture. Per definire le azioni sismiche le Norme Tecniche per le Costruzioni partono da una pericolosità sismica di base (allo stato attuale questa coincide con la pericolosità sismica calcolata dall'INGV, si veda anche Gruppo di Lavoro, 2004) calcolata su una griglia a maglia regolare che copre l'intero territorio italiano (si veda Figura 18).

La mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 è stata approvata con Ordinanza PCM 28 aprile 2006 n. 3519. Questa iniziativa è stata rivolta a soddisfare l'esigenza di una mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche, esigenza formulata dall'Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274, che ne fissa i criteri e scadenze. In particolare:

- ◆ è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9, a partire da un sostanziale ripensamento della precedente zonazione ZS4, alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni acquisite negli ultimi anni. ZS9 è corredata, per ogni ZS, da un meccanismo focale prevalente e da un valore di profondità, determinati nella prospettiva di utilizzo con le relazioni di attenuazione. La nuova ZS9 viene riportata in Figura 19.
- ◆ è stata prodotta una versione aggiornata del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, detta CPTI2 (aggiornato poi a CPTI8), mediante la ricompilazione ex – novo della porzione temporale 1981 – 1992 e la sua estensione al 2008;
- ◆ sono state verificate le relazioni di attenuazione di a_{max} definite a scala nazionale ed europea;
- ◆ sono stati determinati, con approcci storici e statistici, due insiemi di completezza dei dati del Catalogo CPTI2 (aggiornato poi a CPTI8).

La suddivisione dei comuni italiani in 4 classi di pericolosità sismica, precedente all'OPCM 3274/2003, è mantenuta ai soli fini amministrativi (es. obblighi di valutazione della documentazione presso apposite commissioni, ecc.); il comune di Capriate San Gervasio ricade in classe 4 (OPCM 3274/2003 ed DGR VII/14964/2003) a "bassa sismicità". La suddivisione era (è) basata sul parametro a_g corrispondente all'accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabi-

lità di superamento del 10% in 50 anni, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g, secondo la seguente tabella:

Classe	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	> 0,25
2	0,15 – 0,25
3	0,05 – 0,15
4	< 0,05

Tabella 22: Corrispondenza tra Classi ed Accelerazione ricavata dall'OPCM n. 3274/2003.

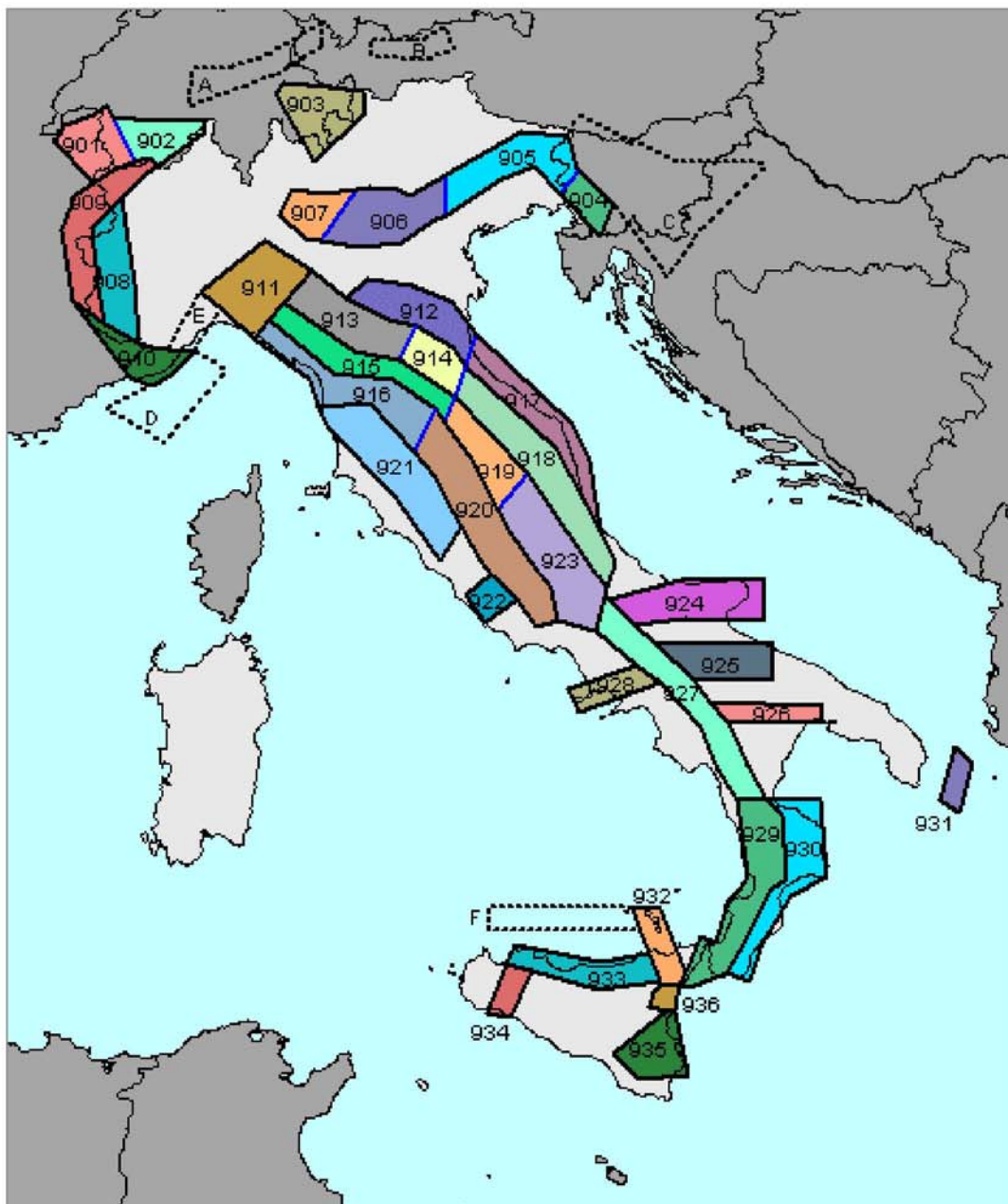


Figura 19: Zonazione Sismogenetica ZS9.

Il comune di Capriate San Gervasio nell'allegato A alle Norme Tecniche per le Costruzioni, denominato "Pericolosità Sismica" è caratterizzato dai parametri a_g , F_0 e T_C riportati in Tabella 23.

In particolare, è interessante osservare il parametro a_g , descrittivo del valore di scuotimento atteso (la sua unità di misura è in frazioni dell'accelerazione di gravità, g) per diversi periodi di ritorno. Il valore di a_g caratterizzato da un periodo di ritorno T_R pari a 475 anni, ovvero contraddistinto da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, corrisponde a 0,095 g .

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,027	2,467	0,193
50	0,035	2,494	0,211
475	0,095	2,458	0,274
975	0,125	2,457	0,281

Tabella 23. Valori dei parametri di a_g , F_0 e T_C^* previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per il comune di Capriate San Gervasio (BG) – I valori sono stati ottenuti impiegando l'applicativo Spettri NTC 1.0.3 disponibile presso il sito web del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Dai valori di scuotimento atteso riportati in Tabella 23, rispetto alla classificazione operata dalla Regione Lombardia di cui alla DGR VII/14964/2003, il comune di Capriate San Gervasio non risulta correttamente inserito in Classe 4 di cui all'OPCM n. 3274/2003 in quanto l'accelerazione attesa è superiore a 0,05 g ; pertanto bisognerà prestare attenzione alla corretta progettazione delle opere sotto il profilo sismico anche se il comune è formalmente classificato in Classe 4.

6.3 ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO: ASPETTI METODOLOGICI

6.3.1 Aspetti generali

Quando una struttura sismogenetica ha accumulato una quantità di energia tale da superare la tensione critica di rottura, si verifica uno spostamento di materia con liberazione di energia e la conseguente formazione e propagazione delle onde sismiche. Queste attraversano il mezzo con modalità diverse e arrivano al sito (il Comune in oggetto) con intensità decrescente, funzione della distanza dall'epicentro, valutata dalle note leggi di attenuazione.

Le onde sismiche però, attraversando gli strati superficiali eterogenei, spesso cambiano caratteristiche (velocità, ampiezza, periodo,..) e provocano effetti diversi anche tra aree molto vicine dello stesso Comune. Pertanto la conoscenza delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei terreni e le loro proprietà fisiche e meccaniche permettono di definire le modifiche che un segnale sismico subisce rispetto a quello di riferimento. Il campo di scuotimento prodotto da un sisma può quindi subire significative variazioni a livello locale in relazione all'assetto geologico e morfologico presente (Kramer, 1996; Bard, 1999).

Le condizioni geologiche locali sono in grado sia di modificare, anche in modo considerevole, le caratteristiche del moto sismico, sia di sviluppare dei fenomeni collaterali allo scuotimento sismico (es. innesco dinamico di frane, fenomeni di liquefazione dei terreni, ecc.) caratterizzati da un elevato tasso di pericolosità. L'evento sismico è un evento complesso capace di generare diverse tipologie fenomeni, e quindi di pericolosità. I principali fenomeni connessi con l'accadimento di un terremoto sono (Kramer, 1996):

- ◆ Scuotimento: il fenomeno più comune
- ◆ Liquefazione
- ◆ Frane
- ◆ Tsunami e seiche
- ◆ Danneggiamento o collasso di edifici
- ◆ Danneggiamento o collasso di strutture di contenimento
- ◆ Danneggiamento o collasso di lifelines e infrastrutture in genere (es. metanodotti, oleodotti, linee ad alta tensione).

Studiare le condizioni geologiche locali nell'ottica sismica significa quindi costruire un quadro di conoscenze utile a prevenire gli effetti di un possibile sisma.

L'obiettivo della microzonazione sismica è quindi l'individuazione delle aree caratterizzate dallo stesso scenario sismico e la verifica della risposta sismica locale con indagini e metodologie affidabili, al fine di prevedere il comportamento dei terreni superficiali interessati dalle costruzioni attuali e future, quando sono sottoposti ad un evento sismico.

La Regione Lombardia ha approvato, con la DGR VIII/7374/2008 una metodologia per la valutazione della risposta sismica locale che deve essere applicata da ciascun comune in fase di realizzazione o aggiornamento dello studio geologico nel PGT. La stessa DGR, oltre alle indicazioni per la fase pianificatoria, prevede indicazioni per la fase progettuale delle costruzioni nelle diverse zone sismiche, in sintonia con le nuove "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008 che disciplinano la progettazione e la verifica delle opere e dei sistemi geotecnici soggetti ad azioni sismiche.

Gli effetti derivanti dalle condizioni locali sono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area (Categorie di sottosuolo).

In funzione della categoria del terreno, si distinguono due grandi gruppi di effetti locali: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli di instabilità.

6.3.1.1 Effetti di amplificazione sismica locale

Interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti

delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

Gli effetti di amplificazione sono di due tipi, che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito:

- ♦ **effetti di amplificazione topografica:** si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto; se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto;

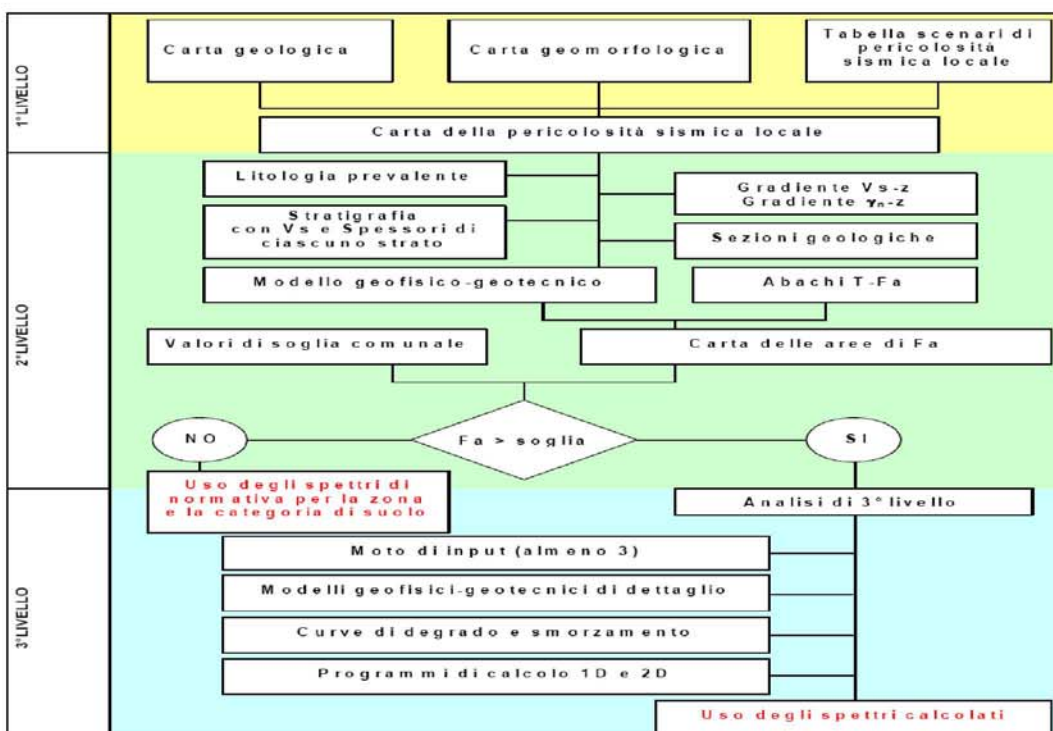


Diagramma 1: Diagramma di flusso dei dati necessari e dei percorsi da seguire nei tre livelli di indagine.

- ♦ **effetti di amplificazione litologica:** si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia etc..) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismi-

che trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

6.3.1.2 Effetti di instabilità

Interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono rappresentati in generale da fenomeni di instabilità consistenti in veri e propri collassi e talora movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture; tali instabilità sono rappresentate da fenomeni diversi a seconda delle condizioni presenti nel sito.

6.3.2 Analisi e valutazione degli effetti sismici secondo la normativa regionale

Nell'allegato 5 della DGR VIII/7374/2008 è riportato il "*Diagramma di flusso dei dati necessari e dei percorsi da seguire nei tre livelli di indagine*", la metodologia e lo schema operativo per la valutazione dell'amplificazione sismica locale riprodotto in Diagramma 1. L'analisi degli effetti sismici di sito finalizzata alla definizione della componente sismica nei PGT in Regione Lombardia si articola quindi su tre distinti livelli di indagine.

Il primo e il secondo livello hanno il compito di fornire orientamenti utili alla pianificazione del territorio mentre lo scopo del terzo livello di indagine è quello supportare la progettazione di strutture ed edifici considerati strategici o rilevanti, oppure ubicati in aree particolarmente sfavorevoli in termini di pericolosità sismica.

6.3.2.1 Primo livello

Il primo livello di approfondimento è obbligatorio per tutti i Comuni, consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono prevedibili, con buona attendibilità, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati cartografici di base, quali la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) ed i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte, che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

Dalle cartografie di base, oltre che da un'analisi morfometrica del territorio comunale, si ricava la:

- ♦ *Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)*: contiene aree delimitate alla luce (1) dei criteri riportati in Tabella 24 e (2) dell'assetto geologico e geomorfologico descritto nella cartografia geologica e geomorfologica.

Sigla zona	Scenario di pericolosità locale	Effetti attesi
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quieti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite – arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio – glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio – lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese 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

Tabella 24 – Scenari di pericolosità sismica locale contenuti nel DGR VIII/7374/2008, allegato 5.

In particolare, la Tabella 24 contiene le cinque principali tipologie di scenario, cioè i cinque contesti nei quali è presumibile attendersi una definita tipologia di fenomeno in caso di scuotimento sismico (es. fenomeni di amplificazione del moto, oppure fenomeni di amplificazione abbinati ad effetti indotti come liquefazione o instabilità dinamica dei versanti). L'occorrenza di un fenomeno in un'area, ovviamente, non preclude il contemporaneo accadere di altri fenomeni.

6.3.2.2 Secondo livello

Il secondo livello di approfondimento è obbligatorio per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3 nei quali si siano individuate, a seguito degli approfondimenti di primo livello, aree con scenari suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) interferenti con l'urbanizzato e/o interferenti con le aree di espansione urbanistica, ad esclusione di quelle considerate inedificabili per situazioni geologiche, geomorfologiche e ambientali o perché sottoposte a vincoli normativi. Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 deve essere applicato solo alle costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della DGR VII/14964/2003 e della DDUO 19904/2003, ferma restando la facoltà del Comune di estenderlo alle altre categorie di costruzioni.

Il valore di F_a si riferisce agli intervalli di periodo tra 0,1 – 0,5 s e 0,5 – 1,5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di F_a sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0,1 – 0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0,5 – 1,5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di II° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di F_a per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo 0,1 – 0,5 s: questa limitazione legata all'implementazione di codici di calcolo di tipo bidimensionale ad elementi di contorno, che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0,5 – 1,5 s.

6.3.2.2.1 Amplificazione litologica

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- ◆ litologia dei materiali presenti nel sito (litologie ghiaiose e litologie argilloso limose);
- ◆ stratigrafia del sito;
- ◆ andamento con la profondità delle V_s fino a valori pari o superiori a 800 m/s; in mancanza del raggiungimento del bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di V_s con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s.
- ◆ spessore, peso di volume e velocità di ciascun strato;
- ◆ sezioni geologiche, conseguente modello geofisico – geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

In funzione della litologia prevalente presente nel sito, del gradiente di velocità V_s e del gradiente del peso di volume naturale con la profondità si sceglie l'abaco di riferimento. In funzione dello spessore e della velocità $V_s^{(2)}$ dello strato super-

² Nel caso il valore di V_s dello strato superficiale risulta pari o superiore ad 800 m/s non si applica la procedu-

ficiale si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s.

Il periodo proprio del sito necessario per l'utilizzo dell'abaco di correlazione deve essere calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^n h_i}{\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}}$$

Dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strati i – esimo. Il valore di Fa determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della nuova normativa sismica.

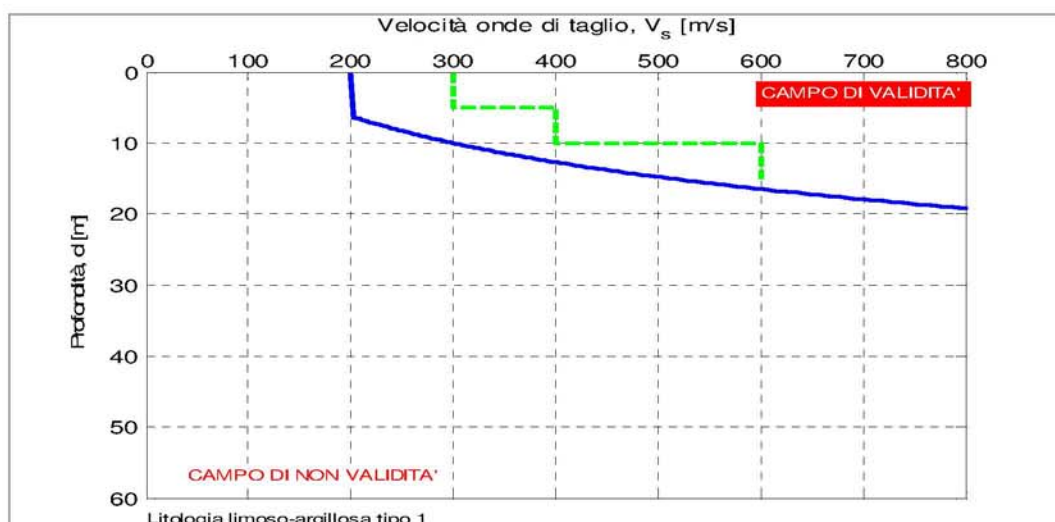


Figura 20. Esempio di scheda di valutazione. La linea blu separa il campo di validità dal campo di non – validità. La linea tratteggiata verde mostra un ipotetico profilo di Vs che rientra completamente nel campo di validità. In questo esempio è possibile quindi applicare le successive fasi di valutazione al fine di stimare il fattore di amplificazione.

La valutazione del grado di protezione è effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun Comune e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0,1 – 0,5 e 0,5 – 1,5 s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati in formato.xls (soglie_lomb.xls) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

ra semplificata per la valutazione del Fa in quanto l'amplificazione litologica attesa è nulla (Fa = 1,0).

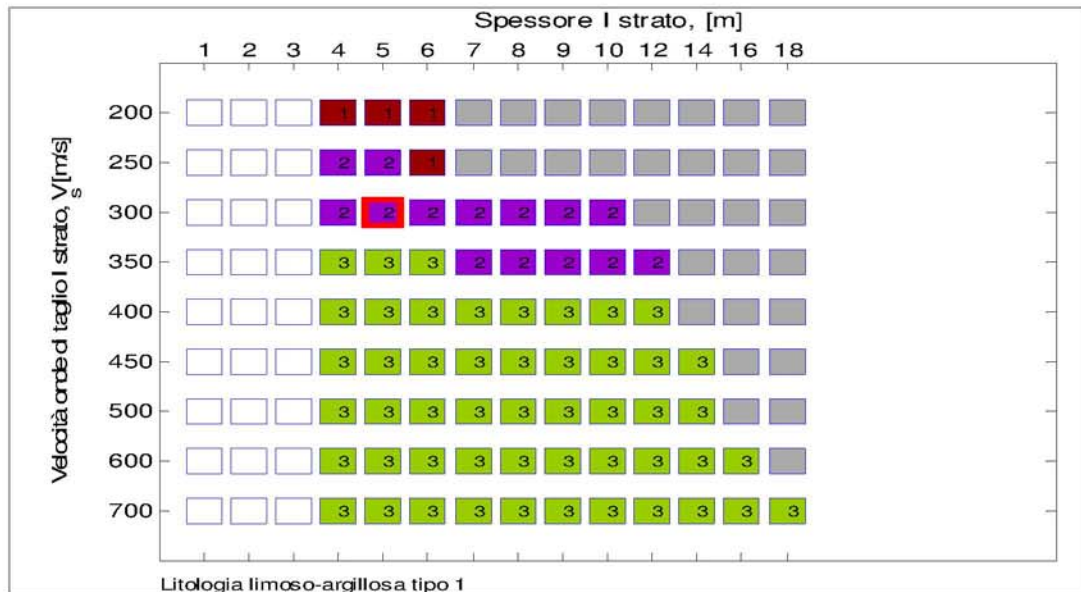


Figura 21. Esempio di scheda per la selezione della tipologia di curva da utilizzare per la determinazione di F_a (intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s). In questo caso la cella selezionata ha indice 2, quindi la curva che mette in relazione il periodo proprio del terreno con il Fattore di Amplificazione $F_{a_{0,1-0,5}}$ da impiegare è la numero 2.

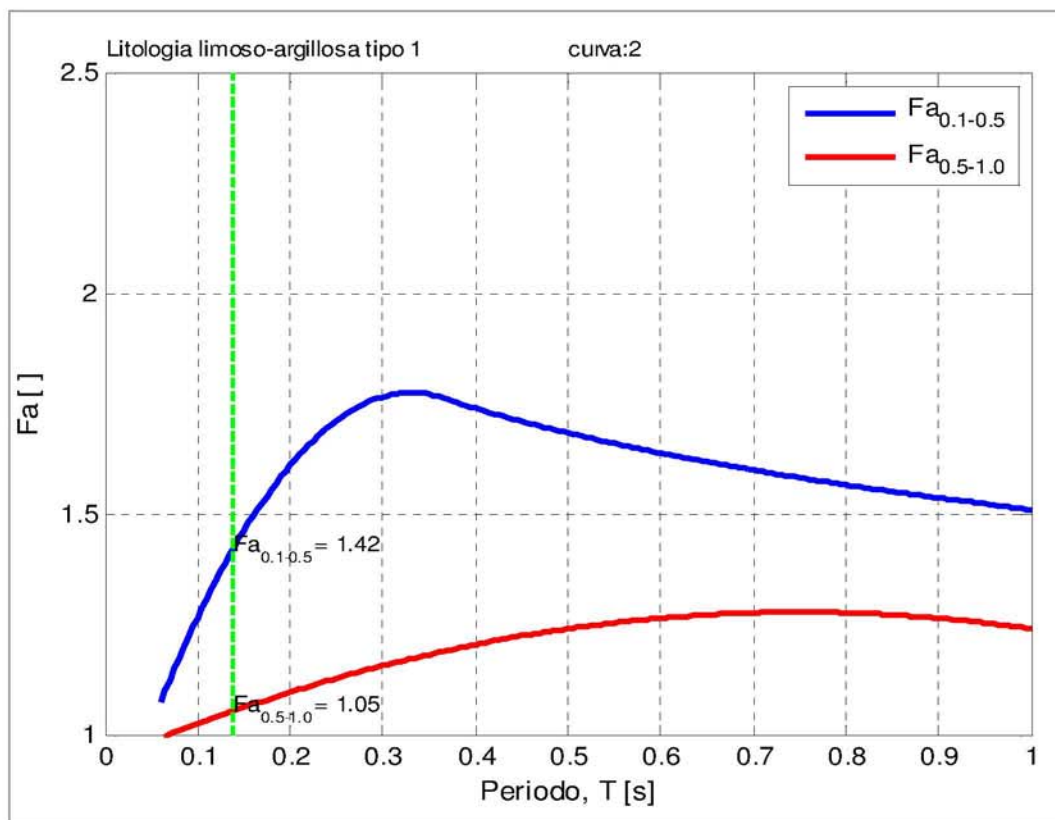


Figura 22. Esempio di un grafico per il calcolo del valore di F_a (negli intervalli di periodi 0,1 – 0,5 s – curva blu – e 0,5 – 1,0 s – curva rossa –).

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di + 0,1 che tiene conto della variabilità del valore di F_a ottenuto.

L'applicazione di questa metodologia richiede quindi l'esecuzione delle seguenti fasi:

1. Scelta della litologia prevalente lungo la verticale indagata, tra le classi litologiche messe a disposizione dalla Regione Lombardia (nella DGR VIII/7374/2008) e quindi verifica della congruità del profilo di propagazione delle onde di taglio con il campo di validità messo a disposizione nelle norme. Se il profilo rientra nel campo di validità si passa al punto 2. Da evidenziare che la Regione Lombardia non indica come operare qualora il profilo non rientra nel campo di validità prestabilito.
2. Selezione della curva da utilizzare per il calcolo del Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s, sulla base di:
 - a) velocità di propagazione delle onde di taglio (V_S) del primo strato (la cui identificazione è incerta, in quanto non è specificato se il primo strato deve essere individuato sulla base della stratigrafia oppure sulla base degli intervalli di velocità V_S individuati)
 - b) profondità del bedrock sismico.
3. Calcolo del Fa (nei periodi 0,1 – 0,5 s e 0,5 – 1,0 s) in relazione al periodo fondamentale del terreno (si veda la Figura 22).

Comune	Intervallo di periodi	B	C	D	E
Capriate San Gervasio	0,1 – 0,5	1,4	1,9	2,2	2,0
Capriate San Gervasio	0,5 – 1,5	1,7	2,4	4,2	3,1

Tabella 25. Valori di soglia di Fa (periodi 0,1 – 0,5 e 0,5 – 1,0) per il comune di Capriate San Gervasio secondo quanto indicato nel file analisi.xls (disponibile presso il portale della Regione Lombardia – [link](#)).

Una volta calcolati i Fa, l'ultimo passo da compiere prevede il loro confronto con dei valori predeterminati dalla Regione Lombardia (in Tabella 25 si riportano i valori forniti dalla Regione per il Comune di Capriate San Gervasio).

Si possono presentare quindi due situazioni:

1. il valore di Fa è inferiore o uguale al valore di soglia corrispondente: la nuova normativa è da considerarsi sufficiente per tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
2. il valore di Fa è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (III° Livello) o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema (punto 1.4.3 della DGR VIII/7374/2008):
 - ◆ anziché lo spettro della categoria B di suolo si utilizzerà quello della cate-

goria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;

- ◆ anziché lo spettro della categoria C di suolo si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- ◆ anziché lo spettro della categoria E di suolo si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Nel caso di presenza contemporanea di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3) si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole (non si prevede quindi di sommare gli effetti delle due condizioni).

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di Vs utilizzati nella procedura di II° livello deve essere opportunamente motivata e a ciascun parametro utilizzato deve essere assegnato un grado di attendibilità, secondo la Tabella 26:

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Tabella 26: Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi.

6.3.2.2.2 Amplificazione topografica

Zona di scarpata (Scenario Z3a)

Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una Vs maggiore o uguale ad 800 m/s. Le analisi di II° Livello in corrispondenza dello scenario di pericolosità sismica Z3a si ritengono inoltre valide, come indicato dalle indicazioni della Regione Lombardia, per condizioni di far – field, ipotizzando le onde sismiche incidenti verticalmente al sito.

Lo scenario di zona di scarpata rocciosa (Z3a) è caratterizzato da irregolarità con fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10°.

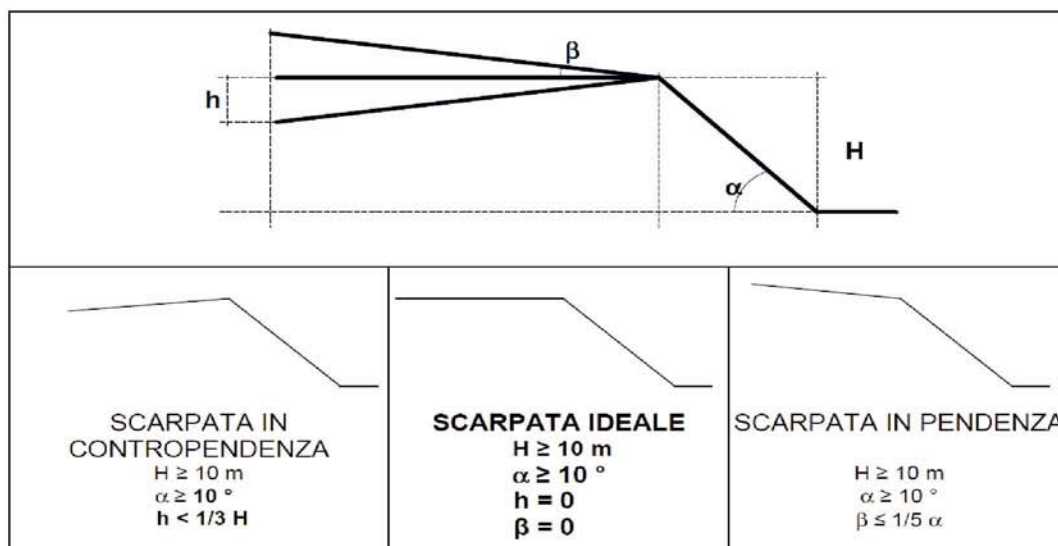


Figura 23: Schemi delle scarpate relative allo scenario Z3a.

In funzione della tipologia del fronte superiore (Figura 23) si distinguono:

- ♦ scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
- ♦ scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso senso del fronte principale;
- ♦ scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nel senso opposto a quello del fronte principale.

La misura dell'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è da definire come distanza 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 m;
- ♦ 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 $\beta > 1/5 \cdot \alpha$ la situazione è da considerarsi pendio);
- ♦ il dislivello altimetrico minimo (h) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq 1/3 \cdot H$ la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

All'interno della Tabella 27 si sceglie, in funzione dell'inclinazione α , il valore di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s.

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_{a,0,1-0,5}$	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	$A_i = 3/4 \cdot H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1,1	$A_i = 2/3 \cdot H$

	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1,2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1,3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1,2	
	$\alpha > 70^\circ$	1,1	

Tabella 27: Determinazione di Fa e dell'area di influenza in caso di scarpate.

Il valore di Fa determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato al ciglio del fronte principale, mentre all'interno della relativa area di influenza (fronte superiore) il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario; lungo il fronte principale tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base del fronte stesso.

Confrontando i valori di Fa ottenuti con il valore di St delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Tale valore St rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo (Scenario Z3b)

La procedura semplificata è valida per lo scenario di zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo (Z3b), caratterizzata da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 10° ; il rilievo è identificato sulla base di cartografie a scala almeno 1:10.000 e la larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche: sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H).

Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una Vs maggiore o uguale ad 800 m/s.

Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni:

- ◆ rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta (l) molto inferiore alla larghezza alla base (L) (cresta appuntita);
- ◆ rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta paragonabile alla larghezza alla base, ovvero pari ad almeno 1/3 della larghezza alla base; la zona di cresta è pianeggiante o subpianeggiante con inclinazioni inferiori a 10° (cresta arrotondata).

Per l'utilizzo della scheda di valutazione si richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

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

In Figura 24, in funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s, in base al valore del coefficiente di forma H/L.

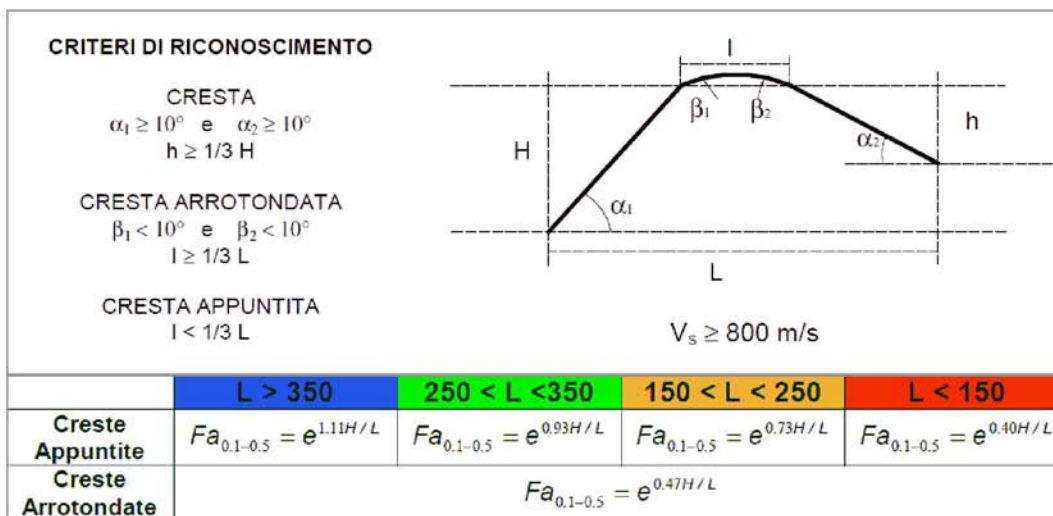


Figura 24: Schemi delle creste relative allo scenario Z3b e modalità di determinazione di Fa.

Il valore di Fa determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta l, mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante. I valori di Fa così ottenuti dovranno essere utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica.

La valutazione del grado di protezione, per ambedue gli scenari (zona di scarpata e zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di Fa ottenuti con il valore di St delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Tale valore St rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede, pertanto, di valutare il valore di Fa con la scheda di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di + 0,1 che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare, quindi, due situazioni:

- ◆ il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- ◆ il valore di Fa è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (III° livello) in

fase di progettazione edilizia.

Nel caso di rilievi morfologici asimmetrici che possono essere rappresentati sia dallo scenario Z3a sia dallo scenario Z3b, a seconda dell'orientazione della sezione, si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole.

Nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, in presenza di scenari Z3a e Z3b, è necessario effettuare analisi più approfondite (III° livello) in fase di progettazione edilizia.

6.3.2.3 Terzo livello

Il III° livello si applica in fase progettuale agli scenari qualitativi suscettibili di instabilità (Z1b e Z1c), cedimenti e/o liquefazioni (Z2), per le aree suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) che sono caratterizzate da un valore di Fa superiore al valore di soglia corrispondente così come ricavato dall'applicazione del II° livello e per le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse (Z5).

Il terzo livello si applica secondo la casistica riportata in Tabella 28.

Zona sismica	1° livello (fase pianificatoria)	2° livello (fase pianificatoria)	3° livello (fase progettuale)
2 – 3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con l'urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	Nelle aree indagate con il II° Livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale. Nelle Zone PSL Z1 e Z2
4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al DDUO 19904/2003 e dal Decreto del Dipartimento della Protezione Civile 3685/2003	Nelle aree indagate con il II° Livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale. Nelle Zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti e, a discrezione del comune, per tutti gli altri edifici

Tabella 28: Livelli di approfondimento e fasi di applicazione.

I risultati delle analisi di III° livello sono poi utilizzati in fase di progettazione al fine di ottimizzare l'opera e gli eventuali interventi di mitigazione della pericolosi-

tà.

6.3.2.3.1 Effetti di instabilità

L'analisi prevede, a seguito della caratterizzazione ed identificazione dei movimenti franosi, la quantificazione della loro instabilità intesa come la valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche e prevede un approccio di tipo puntuale, finalizzato cioè alla quantificazione della instabilità di singoli movimenti franosi.

Le fasi, i dati e le metodologie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni sono distinte per tipologia di movimenti franosi, in particolare per i movimenti franosi tipo scivolamenti (rotazionali e traslazionali) possono essere così schematizzate:

- ◆ individuazione delle sezioni geologiche e geomorfologiche che caratterizzano il corpo franoso, le sue geometrie, gli andamenti delle superfici di scivolamento, dei livelli di falda, finalizzati alla ricostruzione di un modello geologico interpretativo del movimento franoso;
- ◆ individuazione dei parametri geotecnici necessari all'analisi: il peso di volume (γ), l'angolo di attrito (Φ) nei suoi valori di picco e residuo e la coesione (c) nei suoi valori di picco e residuo (nel caso si adotti il criterio di rottura di Mohr – Coulomb);
- ◆ individuazione degli accelerogrammi di input nel caso di analisi dinamiche;
- ◆ analisi numeriche: diversi sono i modelli numerici che possono essere utilizzati per il calcolo della stabilità; tali codici, più o meno semplificati (es. metodo dei conci, metodo ad elementi finiti, ecc.), forniscono la risposta in termini di valori del fattore di sicurezza (F_s) in condizioni statiche, in termini di valori del coefficiente di accelerazione orizzontale critica (K_c) in condizioni pseudostatiche ed in termini di spostamento atteso in condizioni dinamiche. L'applicazione dei diversi modelli dipenderà chiaramente dalle condizioni geologiche del sito in analisi e dal tipo di analisi che si intende effettuare.

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa, forniranno i livelli di pericolosità a cui è sottoposta l'area in esame: in particolare i valori del fattore di sicurezza forniscono indicazioni sulla stabilità dell'area considerando un ben preciso stato del sito di analisi non tenendo in conto la contemporanea variazione di alcuni parametri quali contenuto d'acqua e carichi agenti (pioggia, terremoto, azioni antropiche, ecc); il coefficiente di accelerazione orizzontale critica fornisce invece la soglia di accelerazione al suolo superata la quale l'area stabile diviene instabile in occasione di un terremoto; infine lo spostamento atteso fornisce indicazioni e sull'area di influenza del movimento franoso e una misura di quanto l'accadimento di un evento sismico può modificare la situazione esistente.

Per quanto riguarda i movimenti tipo crolli e ribaltamenti le analisi che possono essere effettuate sono di tipo statico e pseudostatico. Le fasi, i dati e le metodo-

logie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni possono essere così schematizzate:

- ◆ inquadramento geologico di un intorno significativo in scala 1:10.000 e esecuzione di sezioni geologiche e topografiche in scala 1:10.000;
- ◆ individuazione dei parametri dell'input sismico (quali valore del picco di accelerazione, valore del picco di velocità);
- ◆ rilievi geomeccanici per la classificazione degli ammassi rocciosi sorgenti dei distacchi (determinazione delle principali famiglie di discontinuità, prove in sito sugli affioramenti quali martello di Smidth tipo L, pettine di Barton, spessimetro per apertura giunti ecc., prelievo di campioni per esecuzione di Point Load Test e di prove di scivolamento Tilt Test);
- ◆ identificazione dei principali cinematismi di rottura degli ammassi rocciosi su sezioni tipo e, per situazioni particolarmente significative, analisi di stabilità in condizioni statiche e pseudostatiche di singoli blocchi;
- ◆ descrizione e rilievo della pista di discesa e della zona di arrivo, rilievo geologico e, ove possibile, statistica dei massi al piede (dimensioni e distribuzione);
- ◆ costruzione del modello numerico della/e pista/e di discesa e verifiche di caduta massi con vari metodi e statistiche arrivi.

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa, forniranno livelli di pericolosità a cui è sottoposta l'area in esame, in particolare, vengono individuate le possibili piste di discesa, le relative aree di influenza e la statistica degli arrivi.

6.3.2.3.2 Effetti di cedimenti e/o liquefazioni

L'analisi prevede la valutazione quantitativa delle aree soggette a fenomeni di cedimenti e liquefazioni. Con il termine liquefazione si indica la situazione nella quale in un terreno saturo non coesivo si possono avere deformazioni permanenti significative o l'annullamento degli sforzi efficaci a causa dell'aumento della pressione interstiziale. Per il calcolo del potenziale di liquefazione si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura⁽³⁾.

Anche per il calcolo di possibili cedimenti che possono verificarsi sia in presenza di sabbie sature sia in presenza di sabbie asciutte, si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.

6.3.2.3.3 Effetti di amplificazione morfologica e litologica

L'analisi prevede un approccio di tipo quantitativo e costituisce lo studio di maggior dettaglio, in cui la valutazione della pericolosità sismica locale è effettuata ricorrendo a metodologie che possono essere classificate come strumentali o numeriche.

³ Crespellani T., 1991. La liquefazione del terreno in condizioni sismiche. Zanichelli, Bologna, pp 185 ed altre più recenti

La metodologia strumentale richiede l'acquisizione di dati strumentali attraverso campagne di registrazione eseguite in sito con l'utilizzo di strumentazioni specifiche, variabili a seconda del parametro di acquisizione scelto (velocimetri ed accelerometri). Le caratteristiche strumentali, il tipo di acquisizione e la disposizione logistica variano in funzione della complessità geologica dell'area di studio, del metodo di elaborazione scelto e del tipo di risultato a cui si vuole pervenire. Le registrazioni eseguite in un'area di studio possono riguardare rumore di fondo (microtremore di origine naturale o artificiale) o eventi sismici di magnitudo variabile; i dati acquisiti devono essere opportunamente selezionati (ripuliti da tutti i disturbi presenti) e qualificati tramite informazioni sismologiche dell'area in esame e permettono di definire la direzionalità del segnale sismico e la geometria della zona sismogenetica – sorgente. Le tracce dei segnali di registrazione devono essere in seguito processate tenendo conto delle diverse condizioni di installazione degli strumenti e delle diverse condizioni di acquisizione dei dati. Inoltre, nel caso siano utilizzate stazioni equipaggiate con strumentazioni con frequenza propria diversa (caso più frequente) occorre rendere omogenei tra loro i vari segnali attraverso una deconvoluzione per le rispettive risposte spettrali. L'analisi sperimentale può presentare diversi gradi di approfondimento ed affidabilità, in funzione del tipo di strumentazione impiegata, del tipo di elaborazione del dato di registrazione e, soprattutto, in funzione dell'intervallo di tempo dedicato alle misurazioni in sito. I metodi di analisi strumentale più diffusi ed utilizzati sono il metodo di Nakamura (1989) e il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981).

La metodologia numerica consiste nella modellazione di situazioni reali mediante un'appropriata e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica del sito e nella valutazione della risposta sismica locale tramite codici di calcolo matematico più o meno sofisticati (modelli monodimensionali 1D, bidimensionali 2D e tridimensionali 3D), basati su opportune semplificazioni e riduzioni del problema, necessarie ma comunque di influenza abbastanza trascurabile sul risultato finale. I concetti fondamentali su cui si basano i codici di calcolo numerico riguardano la teoria della propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e la teoria del comportamento non lineare e dissipativo dei terreni in condizioni dinamiche. La valutazione della risposta sismica deve tener conto non solo delle variazioni di ampiezza massima del moto sismico di riferimento, ma anche dell'effetto di filtraggio esercitato su di esso dal terreno, cioè delle modifiche nel contenuto in frequenza.

L'applicazione della metodologia numerica richiede una caratterizzazione geometrica di dettaglio del sottosuolo, tramite rilievi specifici, una caratterizzazione geofisica e una caratterizzazione meccanica, tramite accurate indagini geologiche e geotecniche, in grado di determinare i parametri geotecnici statici e dinamici specifici su campioni indisturbati o comunque di alta qualità e in condizioni tali per cui vengano simulate il meglio possibile le condizioni di sito del terreno durante i terremoti attesi. Perciò viene richiesto un programma di indagini geotecniche specifico, i cui risultati saranno da aggiungere a quelli esistenti (I° e II° livello). È inoltre necessaria l'individuazione di uno o più input sismici sotto forma di spettri

di risposta e/o di accelerogrammi.

Le analisi strumentali e numeriche rappresentano due approcci diversi per la valutazione quantitativa dell'amplificazione locale; essi sono tra loro coerenti ma presentano le seguenti differenze:

- ♦ l'analisi numerica ha il vantaggio di essere facilmente applicabile con tempi veloci ma ha lo svantaggio di richiedere alti costi di realizzazione, di considerare modelli semplificati della situazione reale (soprattutto per i codici di calcolo 1D e 2D) e di trascurare l'effetto delle onde superficiali, sottostimando gli effetti ad alti periodi;
- ♦ l'analisi strumentale ha il vantaggio di considerare l'effetto della sollecitazione sismica nelle tre dimensioni spaziali ma ha lo svantaggio di considerare eventi di bassa magnitudo, valutando il comportamento dei materiali solo per basse deformazioni in campo elastico, di richiedere, oltre alle analisi sismologiche di registrazione strumentale, analisi geotecniche dinamiche integrative atte a rilevare il comportamento del bedrock sotto sollecitazione, di effettuare le registrazioni per periodi di tempo che dipendono dalla sismicità dell'area e che possono variare da un minimo di 1 mese ad un massimo di 2 anni.

Per compensare i limiti di un metodo con i vantaggi dell'altro è da valutare la possibilità di integrazione delle due metodologie: in questo modo è possibile effettuare un'analisi quantitativa completa che considera sia l'effetto della tridimensionalità del sito sia il comportamento non lineare dei materiali soggetti a sollecitazioni sismiche.

6.4 ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

La cartografia geologica e geomorfologica allegata suddivide il territorio di Capriate San Gervasio in tre settori omogenei per caratteristiche litologiche e/o geomorfologiche: 1) un settore settentrionale caratterizzato da depositi prewürmiani, profondamente alterati per l'intero spessore dell'unità, poggianti sulla formazione del Ceppo (considerabile come substarto sismico in quanto ha $V_s > 800$ m/s), 2) una centromeridionale caratterizzata da depositi fluvioglaciali e fluviali sciolti (würmiani nella porzione centrale e postwürmiani nella porzione meridionale) di significativo spessore, poggianti solo localmente sulla formazione del Ceppo e 3) il sistema dei terrazzi e delle scarpate dell'Adda in cui è essenzialmente presente la formazione del Ceppo con coperture date da depositi connessi alla gravità. I nuclei abitati si sviluppano nei primi due settori.

6.4.1 Primo livello

Il primo livello d'indagine ha quale obiettivo la costruzione di una mappa della pericolosità sismica locale sulla base delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio indagato.

Analizzando in dettaglio gli "scenari di pericolosità" contenuti nella Tabella 24 alla luce delle condizioni geologiche proprie del territorio indagato:

- ♦ Zone caratterizzate da fenomeni di instabilità dei versanti o potenzialmente

instabili (Z1). Lungo le scarpate dell'Adda sono presenti modestissimi fenomeni connessi alla gravità e coinvolgenti areali modestissimi; pertanto non si sono individuati poligoni con caratteristiche omogenee Z1.

- ♦ Zone caratterizzate dalla presenza di terreni di fondazione particolarmente scadenti (Z2). L'analisi effettuata ha portato ad individuare in corrispondenza di significativi riporti di terreno la presenza di terreni di fondazione con caratteristiche scadenti.
- ♦ Zone esposte a fenomeni di amplificazione topografica (Z3). Il territorio di Capriate San Gervasio presenta una morfologia superficiale piuttosto irregolare lungo le scarpate dell'Adda; pertanto si sono individuate in tali zone delle scarpate.
- ♦ Zone interessate da fenomeni di amplificazione litologica o geometrica del moto sismico (Z4). La superficie del Comune di Capriate San Gervasio è occupata da spesse coltri di materiali di origine fluviale e fluvio-glaciale con caratteristiche meccaniche intermedie. Questa condizione predispone il territorio di Capriate San Gervasio ad amplificazioni del moto sismico.
- ♦ Zone di contatto tra litotipi con caratteristiche meccaniche marcatamente dissimili (Z5). Sulla base delle informazioni geologiche disponibili non s'individua nel comune indagato la presenza di un tale contesto.

Tra gli scenari geologico – morfologici descritti nella Tabella 24, il territorio di Capriate San Gervasio è dominato dagli scenari appartenenti alla categoria Z2, Z3 e Z4. In maggior dettaglio, lo scenario di pericolosità sismica locale principale è lo scenario Z4a definito come "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio – glaciali granulari e/o coesivi". Questo contesto geologico produce effetti di sito caratterizzati da fenomeni di amplificazione del moto dati da presenza in prossimità della superficie topografica di terreni coesivi o sciolti.

6.4.1.1 Cartografia della Pericolosità Sismica Locale

La Tavola 05 mostra la Pericolosità sismica Locale ottenuta per il Comune di Capriate San Gervasio; la carta si presenta molto uniforme poiché il "fenomeno di sito" dominante in questi settori è quello dell'amplificazione del moto legata alla stratigrafia dei depositi superficiali presenti.

6.4.2 Secondo livello

L'indagine di secondo livello, è stata pianificata impiegando le indicazioni emerse dall'indagine di I livello e le informazioni contenute nell'allegata cartografia geologico – geomorfologica. Non si sono valutati in questa sezione quegli scenari che, una volta individuati in Tavola 05, necessitano di approfondimenti di III° livello.

In particolare, dall'analisi di primo livello è emerso che gli effetti di sito di maggiore importanza per l'area indagata sono quelli dati dall'amplificazione stratigra-

fica. Si è quindi ritenuto fondamentale approfondire le indagini in tal senso al fine di comprendere con maggior precisione le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni con la maggior estensione nel territorio indagato e, quindi, il loro comportamento in campo dinamico.

Approfondimenti nelle zone Z3

Come descritto in precedenza, nella mappa di pericolosità sismica locale sono state inserite aree appartenenti agli scenari Z3, con particolare riferimento a elementi Z3a "Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)". Per tali si applica la procedura descritta nella sezione 6.3.2.2.2: in primo luogo, sulla base delle caratteristiche geometriche si è determinato il valore di F_a (relativamente al solo intervallo 0,1 – 0,5 s in quanto unico ritenuto significativo per tale amplificazione) e, successivamente, si è confrontato tale valore con il valore di S_t riportato nelle NTC 08.

Rispetto ai due casi si amplificazione topografica individuati in Tavola 05, si ha:

- ♦ Fattore di Amplificazione $F_a(0.1 - 0.5) = 1,1$ inferiore al valore soglia regionale
- ♦ Fattore di Amplificazione $F_a(0.1 - 0.5) = 1,2$ inferiore al valore soglia regionale

Conseguentemente non è necessario riportare tale scenario sulla cartografia di fattibilità.

Approfondimenti nelle zone Z4

Per ampliare il campo di conoscenze sulle caratteristiche meccaniche dei terreni presenti nel territorio di Capriate San Gervasio è stata pianificata e quindi affidata, una campagna di prove geofisiche per la caratterizzazione dei terreni. Le prove geofisiche sono state concentrate in prossimità delle zone abitate al fine caratterizzare in modo approfondito l'area comprensiva delle zone Z4 contenute nella Carta di PSL. In tavola 05 è riportata l'ubicazione delle prove geofisiche eseguite.

Le metodologie geofisiche di indagine applicate sono di una singola tipologia: due prove MASW (Multispectral Analysis of Surface Waves) eseguite nei pressi di Capriate (Via Pertini Sandro) e in corrispondenza di Crespi (Corso Manzoni Alessandro). Tali prove hanno fornito profili delle velocità di propagazione delle onde di taglio che coprono per un'ampia frazione dei materiali presenti nel territorio di Capriate San Gervasio.

Successivamente si riporta, per ogni prova effettuata, la verifica della compatibilità del profilo di velocità misurato con le tabelle di calcolo predisposte dalla Regione Lombardia (DGR VIII/7374/2008) per il calcolo dell' F_a .

La litologia che caratterizza in larga parte i depositi del territorio di Capriate San Gervasio è di tipo ghiaioso, tuttavia i profili di velocità delle onde di taglio misurati precludono, in numerosi casi, l'utilizzo delle schede relative a questa litologia.

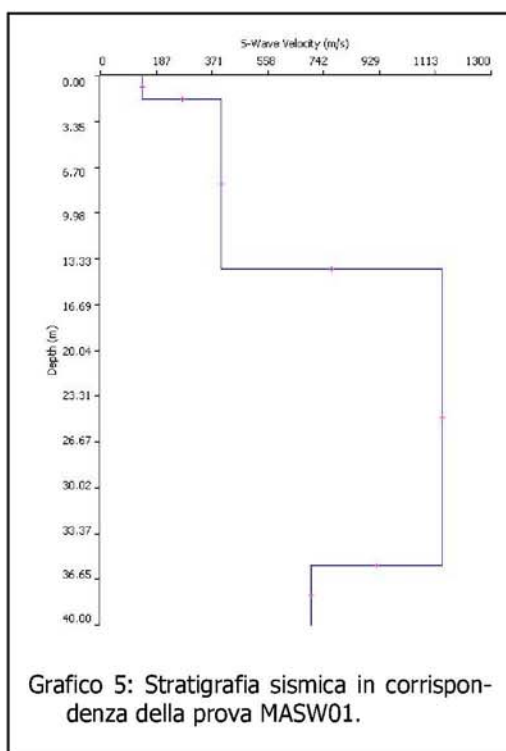
6.4.2.1 Prova MASW01

Litologia prevalente	Il profilo litologico per la prova in que-
----------------------	--

	stione è perlopiù composto di ghiaie e sabbie con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (Prova MASW)
Attendibilità dei dati stratigrafici	BASSA (dati ottenuti estrapolando informazioni riguardanti pozzi limitrofi)
Attendibilità dei dati litologici	BASSA (dati ottenuti estrapolando informazioni riguardanti a pozzi limitrofi)
$V_{S,30}$ (dai risultati della prova geofisica)	634 m/s
Categoria di Suolo (secondo quanto previsto dalle NTC)	B

Tabella 29: Tabella di sintesi della prova

La prova MASW01 è stata eseguita entro i depositi dell'Unità postglaciale. Il profilo sismico ricavato dalla prova è riportato in Grafico 5.



Le verifiche di validità delle schede contenute nel DGR VIII/7374/2008 sono sintetizzate in Figura 25 e Figura 26, per quanto riguarda il profilo di velocità MASW01. Come è possibile osservare il profilo di velocità misurato non rientra nel campo di validità della scheda ghiaiosa (quella ritenuta più adatta a descrivere la litologia del sito indagato).

La scheda nella quale il profilo di velocità rientra completamente nel campo di validità è la seguente: limoso – sabbiosa 2.

Scegliendo la scheda di valutazione per litologie limoso – sabbiosa (tipo 2) e sulla base del profilo sismico riportato nel Grafico 5, la curva da impiegare per il

calcolo dei valori di F_a corrisponde alla numero 3.

I valori di F_a che si ottengono dalle corrispondenti curve sono rispettivamente 2,15 e 0,98 per gli intervalli 0,1 – 0,5 s e 0,5 – 1,5 s.

Nel caso di una classe di terreno di tipo B (classe di terreno cui appartiene il sito in questione), i valori di amplificazione sono rispettivamente SUPERIORI ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia (si veda a questo proposito la Tabella 25) nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e INFERIORI ai valori di soglia forniti dalla Regione per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

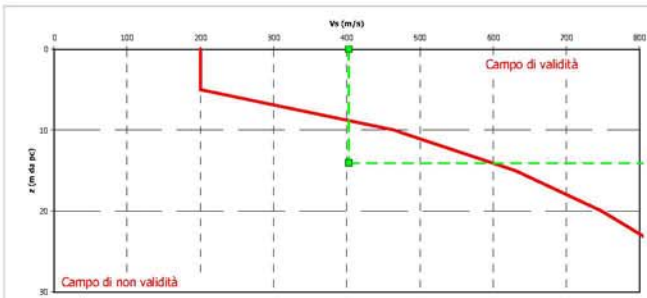


Figura 25. MASW01 – Verifica di validità con la scheda ghiaiosa.

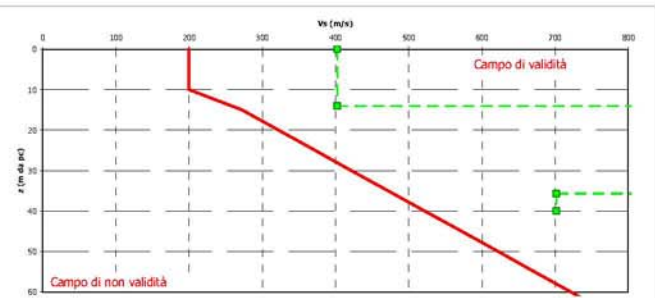


Figura 26. MASW01 – Verifica di validità con la scheda limoso – sabbiosa 2.

6.4.2.2 Prova MASW02

Litologia prevalente	Il profilo litologico nei primi 30 m (quelli campionati dalla prova geofisica) è composto per più di un terzo da ghiaie, sabbie e limi che sono sovrapposti al Ceppo (substrato sismico).
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (Prova MASW)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati da zone limitrofe)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati da zone limitrofe)
$V_{S,30}$ (dai risultati della prova geofisica)	617 m/s
Categoria di Suolo (secondo quanto previsto dalle NTC)	B

Tabella 30: Tabella di sintesi della prova

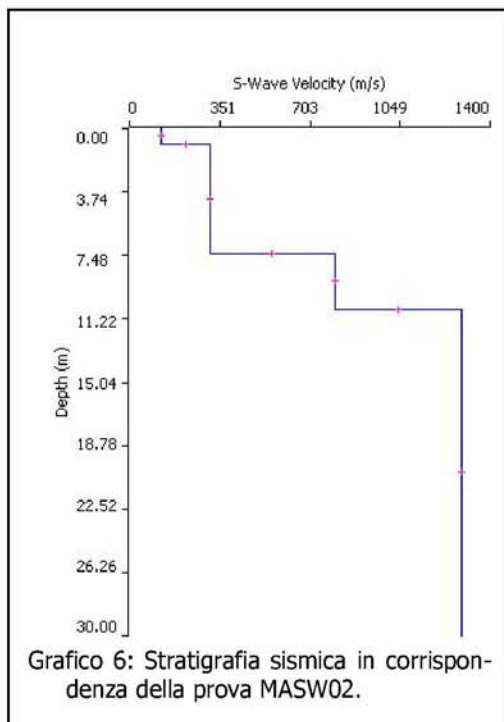


Grafico 6: Stratigrafia sismica in corrispondenza della prova MASW02.

La prova MASW02 è stata eseguita entro i depositi ferrettizzati del pianalto. Il profilo sismico ricavato dalla prova è riportato in Grafico 6.

Le verifiche di validità delle schede contenute nel DGR VIII/7374/2008 sono sintetizzate in Figura 27 e Figura 28, per quanto riguarda il profilo di velocità MASW02. Come è possibile osservare il profilo di velocità misurato non rientra nel campo di validità della scheda ghiaiosa (quella ritenuta più adatta a descrivere la litologia del sito indagato). La scheda nella quale il profilo di velocità rientra completamente nel campo di validità è la seguente: limoso – sabbiosa 2.

Scegliendo la scheda di valutazione per litologie limoso – sabbiosa (tipo 2) e sulla base del profilo sismico riportato nel Grafico 5, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a corrisponde alla numero 3. I valori di F_a che si ottengono dalle corrispondenti curve sono rispettivamente 2,05 e 1,07 per gli intervalli 0,1 – 0,5 s e 0,5 – 1,5 s. Nel caso di una classe di terreno di tipo B (classe di terreno cui appartiene il sito in questione), i valori di amplificazione sono rispettivamente SUPERIORI ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia (si veda a questo proposito la Tabella 25) nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e INFERIORI ai valori di soglia forniti dalla Regione per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

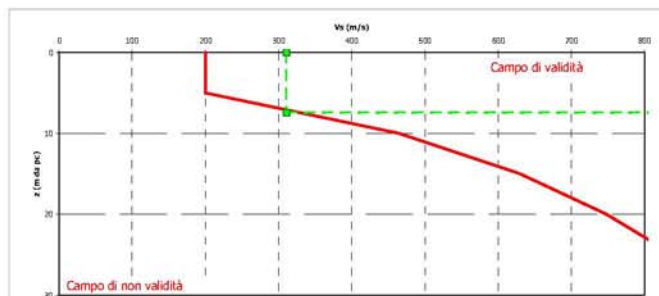


Figura 27. MASW02 – Verifica di validità con la scheda ghiaiosa.

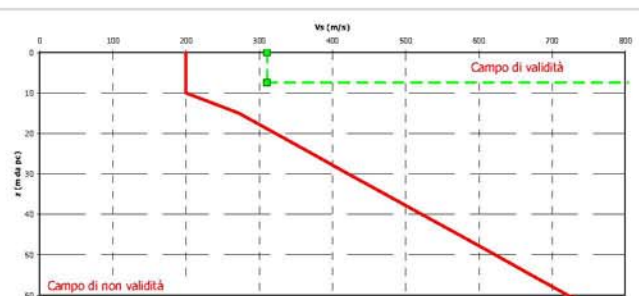


Figura 28. MASW02 – Verifica di validità con la scheda limoso – argillosa 2.

6.4.2.3 Mappa di sintesi

I valori del fattore di amplificazione F_a calcolati per il territorio del Comune di Capriate San Gervasio, quando significativi per la pianificazione, sono riportati sulla cartografia di fattibilità.

Secondo le indicazioni contenute nella DGR VIII/7374/2008, nelle aree in cui i fattori di amplificazione calcolati stanno al di sotto dei valori di soglia le norme sismiche nazionali forniscono valori di scuotimento "sufficienti a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito ...". Al contrario nelle aree in cui i valori del Fattore di amplificazione calcolati sono superiori ai valori di soglia regionali, le possibilità sono di svolgere in fase di progettazione edilizia analisi di III livello oppure di utilizzare uno spettro di normativa con azioni sismiche maggiori.

Considerando quanto riportato nella sezione 6.2.2 riguardo l'incongruenza tra classificazione sismica del territorio comunale (classe 4) e l'accelerazione di base contenuta nelle NT08 che è superiore a quella dei comuni in classe 4, a prescindere dalla zonizzazione sismica effettuata, si auspica per tutti gli interventi una progettazione che consideri gli stati limiti e l'effetto sismico.

7. SINTESI DEI VINCOLI A CARATTERE PRETTAMENTE GEOLOGICO

La sintesi dei vincoli a carattere prettamente geologico è riportata su apposita cartografia (Tavola 06), riguarda tutto il territorio comunale ed in scala 1:5.000.

Sono riportate tutte le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore di contenuto prettamente geologico che, quando presenti, fanno riferimento a:

- 1) Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/1989 (cfr. Parte 2 – Raccordo con gli strumenti di pianificazione sovraordinata) ed in particolare:
 - ◆ Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, approvato con DPCM 24 maggio 2001 (Elaborato n. 8 – Tavole di delimitazione delle Fasce Fluviali);
 - ◆ Piano Stralcio delle Fasce Fluviali approvato con DPCM 24 luglio 1998 (in particolare per quanto riguarda la perimetrazione delle fasce fluviali del fiume Po);
 - ◆ Quadro del dissesto (come presente nel SIT regionale) derivante:
 - dall'aggiornamento effettuato ai sensi dell'art. 18 delle NdA del PAI per i comuni che hanno concluso positivamente la verifica di compatibilità;
 - dall'Elaborato 2 del PAI «Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici» (quadro del dissesto originario) per i comuni che non hanno proposto aggiornamenti e non li propongono con lo studio di cui alla presente direttiva;
 - dalle proposte di aggiornamento trasmesse all'Autorità di Bacino, per i comuni compresi nell'Allegato A alla VII/7365/2001 tramite carta del dissesto elaborata d'ufficio dalla Regione Lombardia sulla base dei contenuti degli studi geologici ritenuti già compatibili con le condizioni di dissesto presente o potenziale, ai sensi dell'art. 18, comma 1, delle NdA del PAI;
 - ◆ Quadro del dissesto proposto in aggiornamento al vigente con lo studio di cui alla presente direttiva, come specificato al paragrafo «Carta del dissesto con legenda unificata a quella del PAI».

Il quadro del dissesto deve essere comprensivo anche delle aree perimetrate negli Allegati 4.1 e 4.2 all'Elaborato 2 del PAI («aree rosse» e «aree verdi»), nonché delle aree a rischio idrogeologico molto elevato introdotte con i successivi aggiornamenti al PS 267.

- 2) Vincoli di polizia idraulica: ai sensi della DGR VII/7868/2002 e successive modificazioni. Sono riportate le fasce di rispetto individuate nello studio finalizzato all'individuazione del reticolo idrico minore.
- 3) Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile: sono riportate le aree di tutela assoluta e di rispetto (comprese le porzioni di aree di salvaguar-

dia relative a pozzi e sorgenti dei comuni limitrofi, qualora ricadano all'interno del territorio del comune in esame), ai sensi del d.lgs 258/2000, articolo 5, comma 4.

Le aree di rispetto individuate con il criterio idrogeologico e temporale ai sensi della DGR VI/15137/1996 diventano efficaci solo a seguito del rilascio del relativo atto autorizzativo da parte dell'Autorità competente; in assenza di tale atto, i relativi vincoli devono essere applicati sull'ambito individuato con criterio geometrico.

- 4) Geositi: devono essere individuati i beni geologici già soggetti a forme di tutela (Allegato 14 della DGR VIII/7374/2008).

Relativamente all'ambito comunale, sono presenti i seguenti vincoli a carattere prettamente geologico:

- 1) Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/1989: sono presenti esclusivamente fasce fluviali lungo il fiume Adda e Brembo.

Nell'allegata Tavola 06 si sono riportate quindi i perimetri della fascia A e della fascia B. Per via della presenza di scarpate di terrazzi od opere di difesa di altezza significativa, i limiti delle fasce spesso si sovrappongono.

- 2) Vincoli di polizia idraulica di cui alla DGR VII/7868/2002 e smi: In ambito comunale sono presenti corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico principale ed al reticolo idrico minore.
- 3) Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile: in ambito comunale sono presenti due pozzi destinati ad uso potabile pubblico. Per tali pozzi si sono definite: fascia di tutela assoluta con raggio di 10 metri dal pozzo e fascia di rispetto, a carattere geometrico, con raggio di 200 metri dal pozzo. In un caso è presente una riperimetrazione dell'area di rispetto.
- 4) Geositi: non sono individuati in ambito comunale emergenze significative a carattere geologico – geomorfologico.

8. CARTOGRAFIA DI SINTESI

La cartografia di sintesi degli elementi di tecnici caratteristici del territorio comunale è stata redatta per tutto il territorio comunale, ad una scala utile per poter rappresentare gli specifici contenuti che la caratterizzano (scala 1:5.000).

La carta di sintesi viene rappresentata aree omogenee dal punto di vista della pericolosità / vulnerabilità riferita allo specifico fenomeno che la genera mediante individuazione di poligoni che definiscono porzioni di territorio caratterizzate da pericolosità geologico – geotecnica e vulnerabilità idraulica e idrogeologica omogenee.

La sovrapposizione di più ambiti determina dei poligoni misti per pericolosità determinata da più fattori limitanti. La delimitazione dei poligoni viene fatta con valutazioni sulla pericolosità e sulle aree di influenza dei fenomeni ricavate da osservazioni ed analisi qualitative o, nei casi previsti dal punto 1.3.1 della DGR VIII/7374/2008, mediante le procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità (Allegati 2, 3 e 4 della medesima DGR).

La sintesi degli elementi di pregiudizio riguardo l'attuazione degli interventi edilizi / trasformazione d'uso del suolo considerati nella sintesi sono:

1. Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti
2. Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico
3. Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico
4. Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche
5. Interventi in aree di dissesto o di prevenzione in aree di dissesto potenziale

Nel dettaglio, gli elementi di pregiudizio per degli interventi edilizi / trasformazione d'uso dei suoli precedentemente riportati, riguardano:

A	Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti⁽⁴⁾
AA	Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo). Da definire in base all'estensione della falda di detrito e alla distanza raggiunta dai massi secondo dati storici (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli);
AB	Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli);
AC	Aree di frana attiva (scivolamenti, colate ed espansioni laterali);
AD	Aree di frana quiescente (scivolamenti, colate ed espansioni laterali);

⁴ Le voci comprendono sia aree interessate da fenomeni di instabilità dei versanti già avvenuti, delimitabili in base a evidenze di terreno e/o in base a dati storici, sia aree che potenzialmente potrebbero essere interessate dai fenomeni.

A	Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti⁽⁴⁾
AE	Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soliflusso);
AF	Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprehensive di aree di distacco e di accumulo);
AG	Aree in erosione accelerata (calanchi, ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli);
AH	Aree interessate da trasporto in massa e flussi di detrito su conoide;
AI	Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza;
AJ	Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza;
AK	Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni e relativo percorso granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprensive delle aree di possibile accumulo;
AL	Aree di percorsi potenziali di colate in detrito e terreno;
AM	Aree a pericolosità potenziale legata alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprensive delle aree di possibile accumulo (aree di influenza);
AN	Aree interessate da valanghe già avvenute;
AO	Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali;
AP	Aree protette da interventi di difesa efficaci ed efficienti;
AQ	Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell'area;
AR	Altre tipologie non classificabili nei punti precedenti.
B	Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico
BA	Aree ad elevata vulnerabilità degli acquiferi definite nell'ambito dello studio o nei piani di tutela di cui al d.lgs. 258/2000 (l'acquifero da indagare è quello sfruttato ad uso idropotabile e quello superficiale nel caso di potenziale connessione o necessità di tutela);
BB	Aree con emergenze idriche (fontanili, sorgenti, aree precedentemente escavate, aree con emergenze della falda);
BC	Aree a bassa soggiacenza della falda o con presenza di falde sospese;
BD	Aree interessate da carsismo profondo con presenza di inghiottitoi e doline;

B	Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico
BE	Aree interessate da intensa fratturazione (faglie, famiglie di fratture,...).
C	Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico
CA	Aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20 – 50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido;
CB	Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche;
CC	Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezza delle strutture di contenimento quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza di depositi di materiale vario in alveo o in sua prossimità ecc.;
CD	aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali desunte dalla ricerca storica – bibliografica;
CE	Aree soggette ad esondazioni lacuali;
CF	Aree protette da interventi di difesa dalle esondazioni, efficienti ed efficaci, per le quali sia stato verificato il corretto dimensionamento secondo l'allegato 4 della DGR VIII/7374/2008;
CG	Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da interventi di difesa;
CH	Aree adiacenti a corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa (in assenza di definizione del regolamento di polizia idraulica di cui alla DGR VII/7868/2001);
CI	Aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza dei conoidi pedemontani di raccordo collina – pianura;
D	Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche
DA	Aree di possibile ristagno, torbose e paludose;
DB	Aree prevalentemente limo – argillose con limitata capacità portante;
DC	Aree con consistenti disomogeneità tessiture verticali e laterali;

D	Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche
DD	Aree con riporti di materiale, aree colmate;
DE	Altro.
E	Interventi in aree di dissesto o di prevenzione in aree di dissesto potenziale
E1	Devono essere individuate sulla cartografia di sintesi (nel caso specifico sono riportate sulla cartografia geomorfologica) le opere realizzate per la mitigazione del rischio evidenziandone, quando possibile, la relativa area di influenza e segnalando quelle opere per le quali la corretta e periodica manutenzione risulta determinante per la definizione della funzionalità.

Tabella 31: Elementi che vanno rappresentati nella cartografia di sintesi. In verde sono evidenziati i fattori riportati nella cartografia di sintesi.

9. CARTA DI FATTIBILITÀ

La cartografia legata alla fattibilità geologica delle azioni di piano, facente parte sia del Piano delle Regole, riporta una zonizzazione del territorio secondo aree omogenee per pericolosità geologica, geomorfologica, geotecnica e vulnerabilità idraulica – idrogeologica, e rappresenta il quadro di riferimento per le scelte di natura urbanistica a scala comunale e sovracomunale.

La carta della fattibilità geologica delle azioni di piano deve essere stata redatta alla stessa scala dello strumento urbanistico (1:2.000) e si riferisce all'intero territorio comunale ((Tavole 08_{a,b,c,d}). Come previsto dal punto 3.1 della DGR VIII/7374/2008, la cartografia di fattibilità è stata prodotta anche in scala 1:5.000 dell'intero territorio comunale al fine di consentire l'aggiornamento del mosaico della fattibilità contenuto nel SIT (Tavola 09).

Per la realizzazione della cartografia di fattibilità sono previste modalità standardizzate di assegnazione della classe di fattibilità agli ambiti omogenei per pericolosità, al fine di garantire omogeneità e obiettività nelle valutazioni di merito tecnico. La carta di fattibilità viene desunta dalla carta di sintesi e dalla carta dei vincoli (per gli ambiti ricadenti entro le fasce fluviali e le aree in dissesto PAI) attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono.

Al mosaico della fattibilità devono essere sovrapposte, con apposito retino «trasparente», le aree soggette ad amplificazione sismica locale desunte dalla carta di pericolosità sismica locale costruita secondo le modalità descritte nella sezione 6. La carta di fattibilità è dunque una carta di pericolosità che fornisce le indicazioni in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio.

Alla carta di fattibilità sono poi associate specifiche norme "Norme geologiche di piano" riportate in allegato al presente documento (prescrizioni per gli interventi urbanistici, studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, opere di mitigazione del rischio, necessità di controllo dei fenomeni in atto o potenziali, necessità di predisposizione di sistemi di monitoraggio e piani di protezione civile).

L'attribuzione della classe di fattibilità avviene attraverso due fasi:

- ♦ prima fase: a ciascun poligono della carta di sintesi, in base al/i fattore/i di pericolosità /vulnerabilità presente/i viene attribuita una classe di fattibilità (valore di ingresso) seguendo le prescrizioni della Tabella 32;
- ♦ seconda fase: il professionista può aumentare o diminuire il valore della classe di fattibilità in base a valutazioni di merito tecnico per lo specifico ambito. La diminuzione della classe di fattibilità rispetto alla classe di ingresso deve essere compiutamente documentata e motivata da ulteriori indagini sulla pericolosità del comparto con piena ed esplicita assunzione di responsabilità da parte del professionista, utilizzando la scheda di cui all'Allegato 15 della DGR VIII/7374/2008. Come specificato dal punto 5.1.2 della DGR, non possono essere variati i valori delle classi di ingresso 4 evidenziate in Tabella 32 con

«asterisco».

Nel caso di declassamento di ambiti precedentemente inseriti in classe 4 di fattibilità, questo può essere effettuato solamente attraverso le procedure previste dal punto 1.3.1 della DGR VIII/7374/2008. Anche gli ambiti con classi di fattibilità desunte dalla Tabella 32 e delimitate in seguito alla zonazione della pericolosità di cui al punto 1.3.1 della DGR VIII/7374/2008, non possono essere variati se non attraverso analisi conseguenti ad interventi di difesa.

Nel caso in cui in un'area omogenea per pericolosità/vulnerabilità vi sia la presenza contemporanea di più fenomeni, deve essere attribuito il valore più alto di classe di fattibilità desunto dalla Tabella 32.

L'efficienza, la funzionalità e la congruità delle opere di difesa idrogeologica presenti contribuiscono alla definizione delle classi di fattibilità. La presenza di opere di difesa ritenute efficaci ed efficienti comporta, infatti, la riduzione del livello di rischio concernente un determinato fenomeno di dissesto. Al contrario, la presenza di opere palesemente non idonee o in cattivo stato di manutenzione può essere influente rispetto al livello di rischio considerato ed in taluni casi può addirittura rappresentare un'aggravante delle condizioni di rischio stesso.

A discrezione del professionista, ogni classe di fattibilità può essere, per maggiore chiarezza, suddivisa in sottoclassi riguardanti ambiti omogenei.

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti		Classe
AA	Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo). Da definire in base all'estensione della falda di detrito e alla distanza raggiunta dai massi secondo dati storici (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli).	4
AB	Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli).	4
AC	Aree di frana attiva (scivolamenti; colate ed espansioni laterali).	4
AD	Aree di frana quiescente (scivolamenti; colate ed espansioni laterali).	4
AE	Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soliflusso).	4
AF	Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprehensive di aree di distacco ed accumulo).	4
AG	Aree in erosione accelerata (calanchi, ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli).	4
AH	Aree interessate da trasporto in massa e flusso di detrito su conoide.	4*
AI	Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza.	4
AJ	Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratifi-	3

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti		Classe
	cazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza.	
AK	Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni.	3
AL	Aree di percorsi potenziali di colate in detrito e terreno.	4*
AM	Aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprensive delle aree di possibile accumulo (aree di influenza).	3
AN	Aree interessate da valanghe già avvenute.	4
AO	Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali.	4
AP	Aree protette da interventi di difesa efficaci ed efficienti.	3
AQ	Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell'area.	3

Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico		Classe
BA	Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile e/o del primo acquifero.	3
BB	Aree con emergenze idriche diffuse (fontanili, sorgenti, aree con emergenza della falda).	4
BC	Aree a bassa soggiacenza della falda o con presenza di falde sospese.	3
BD	Aree interessate da carsismo profondo (caratterizzate da inghiottitoi e doline).	4

Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico		Classe
CA	Aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20 – 50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido.	4
CB	Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua, tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche.	3
CC	Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezze delle strutture di contenimento quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza	4

	di depositi di materiale vario in alveo o in sua prossimità ecc.	
CD	Aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali nelle quali non siano state realizzate opere di difesa e quando non è stato possibile definire un tempo di ritorno.	4
CE	Aree soggette ad esondazioni lacuali.	3
CF	Aree protette da interventi di difesa dalle esondazioni efficaci ed efficienti, dei quali sia stato verificato il corretto dimensionamento secondo l'allegato 3 della DGR VIII/7374/2008 (con portate solido – liquide aventi tempo di ritorno almeno centennale).	3
CG	Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da interventi di difesa.	4
CH	Aree adiacenti a corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa.	4
CI	Aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza dei conoidi pedemontani di raccordo collina – pianura	3

Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche		Classe
DA	Aree di possibile ristagno, torbose e paludose.	3
DB	Aree prevalentemente limo – argillose con limitata capacità portante.	3
DC	Aree con consistenti disomogeneità tessiture verticali e laterali.	3
DD	Aree con riporti di materiale, aree colmate.	3

Tabella 32: Classi di ingresso per l'attribuzione della fattibilità agli ambiti con pericolosità omogenea. In verde sono evidenziati i fattori di pericolosità / vulnerabilità riscontrati in comune di CAPRIATE SAN GERVASIO.

Le porzioni di territorio esterne ai poligoni individuati mediante le procedure precedentemente descritte corrispondono a quelle aree per le quali non sono state individuate limitazioni alla modifica dell'uso dei terreni dal punto di vista geologico (grado di fattibilità 1). Gli interventi edilizi in tali ambiti saranno comunque soggetti all'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Non è richiesta l'individuazione nella carta di fattibilità dei perimetri delle aree di tutela assoluta e di rispetto delle captazioni ad uso idropotabile, nonché dei cimiteri e dei depuratori, in quanto soggette a specifica normativa. L'attribuzione della classe di fattibilità di tali aree deve derivare esclusivamente dalle caratteristiche geologiche delle stesse.

In relazione a quanto riportato in Tabella 32 ed alle necessarie valutazioni del grado di pericolosità/vulnerabilità per l'attribuzione delle classi di fattibilità, si sono operate le seguenti declassamenti rispetto alle classi in ingresso (evidenziati sulla carta di fattibilità con il simbolo " – " meno).

Ambiti declassati	Classe in ingresso	Classe attribuita	Motivazione del declassamento
AK –	3	2	In tali ambiti la problematica è di modestissima entità ed è risolvibile mediante l'attuazione di misure interne al lotto di intervento.
BC –	3	2	In tali ambiti la problematica è risolvibile mediante l'attuazione di misure interne al lotto di intervento.
DC –	3	2	L'eterogeneità litologica risulta alquanto contenuta ed il conseguente riflesso sulle caratteristiche geotecniche è facilmente superabile con accorgimenti costruttivi di non particolare complessità.

Tabella 33: Ambiti per i quali si è operato un declassamento rispetto a quanto riportato in Tabella 32.

10. CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA PAI

Per i comuni compresi nella DGR VII/7365/2001 e nella DGR VIII/7374/2008 che non abbiano concluso l'iter di cui all'articolo 18 delle NdA del PAI riportati nella Tabella 1, Allegato 13 della DGR VIII/7374/2008, la fase di proposta deve comprendere anche la carta del dissesto idrogeologico con legenda uniformata a quella del PAI elaborata al fine di aggiornare l'Elaborato 2 del PAI stesso.

Sono tenuti a produrre una carta del dissesto con legenda uniformata a quella del PAI:

- a) i Comuni già compresi negli allegati B e C della DGR VII/7365/2001 e quelli che risultavano in istruttoria al momento della redazione di tale delibera, nonché i comuni che siano interessati da perimetrazioni nell'inventario dei fenomeni franosi (disponibile sul portale della Regione Lombardia) che non abbiano ancora concluso l'iter per l'adeguamento ai sensi dell'articolo 18 delle NdA del PAI (o qualora le competenti strutture regionali non abbiano ancora formalmente già preso atto della trasmissione di tale elaborato). L'elenco di tali comuni è riportato nella tabella 1 dell'Allegato 13 della DGR VIII/7374/2008
- b) i Comuni che, pur non rientrando tra quelli di cui al punto a) precedente, intendano proporre aggiornamenti al quadro del dissesto sulla base delle risultanze dello studio geologico;
- c) i Comuni che abbiano già provveduto all'adeguamento del proprio quadro del dissesto con attestazione di esonero o di chiusura dell'iter ai sensi dell'articolo 18 delle NdA del PAI, e che intendano proporre ulteriori modifiche.

Capriate San Gervasio non risulta compreso nella DGR VII/7365/2001 e nella DGR VIII/7374/2008 e, pertanto, non è stata predisposta tale cartografia.

11. BIBLIOGRAFIA

BARD, P. Y. (1999). Local effects on strong ground motion: physical basis and estimation methods in view on microzoning studies. In Proceedings of the Advanced Study Course "Seismotectonic and Microzonation techniques in Earthquake Engineering: Integrated Training in Earthquake risk reduction practices", pp 75 – 124.

BERETTA G.P., GALLI A., PEZZERA G. (1989). Influenza della struttura idrogeologica della pianura bergamasca sull'inquinamento da atrazina delle acque sotterranee. *Acque Sotterranee*, fasc. 22, Milano 1989, pagg. 45 – 62.

BERSEZIO R. e FORNACIARI M. (1988). *Tectonic Framenwork of the Lombardy Foothills (Southern Alps) between Brianza and Lago d'Iseo*. Dipartimento Scienze della Terra, Università di Milano. Rendiconti Società Geologica Italiana, pagg. 75 – 78.

CARTON A., CAVALLIN A., FRANCAVILLA F., MANTOVANI F., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., TELLINI C., con la collaborazione di: BINI A., CASTALDINI D., FLORIS B., GIORGI G., MARCHETTI M., SOLDATI M. & SURIAN N. (1993). *Ricerche ambientali per l'individuazione dei beni geomorfologici. Metodi ed esempi*. Una nuova geologia per l'ambiente, Auditorium del Teatro Carlo Felice, Genova, 29 – 30 Giugno 1993.

CASTELLO, B., SELVAGGI, G., CHIARABBA, C., AMATO, A. (2006). CSI Catalogo della sismicità italiana 1981 – 2002, versione 1.1. INGV – CNT, Roma, consultato on – line il 29 – 07 – 2008 (<http://www.ingv.it/CSI/>).

CASTIGLIONI G.B. & CAVALLIN A. (1987). *La carta geomorfologica della Pianura Padana: metodologia, risultati ed applicazioni*. I° convegno Internazionale di Geoidrologia, Firenze 1987, 12 pp.

CASTIGLIONI G.B., BIANCOTTI A., BONDESAN M., CASTALDINI D., CIABATTI M., CREMASCHI M., FAVERO V. (1986). *Criteri informativi del progetto di una carta geomorfologica della Pianura Padana*. «Materiali», Dip. di geog. Univ. Pd, 7/1986, 31 pp.

COMIZZOLI G., DESIO A., GELATI R., PASSERI L.D. (1969). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000* – Foglio 45 e Foglio 46 (Milano e Treviglio). Servizio Geologico It., Ercolano, Napoli, 53 p..

CREMASCHI M. (1987). *Paleosols and Vetusols in the Central Po Plain (Northern Italy)*. Ed. Unicopli, Studi e Ricerche sul Territorio Nr. 28, 306 p..

DESIO A., VENZO S. (1954): Carta geologica d'Italia Foglio 33 «Bergamo». Serv. Geolog. It., Roma.

ERSAL (1992). Progetto Carta pedologica. I suoli dell'Hinterland Bergamasco. Regione Lombardia, Milano, dicembre 1992.

GAETANI M., GELATI R., JADOUL F. (1981). Carta tettonica delle Alpi Meridionali,

Foglio 33 «Bergamo». Pubbl. n. 441 Prog. Finalizzato Geodinamica, CNR, pagg. 174 – 178, Roma.

GRUPPO DI LAVORO (2004). Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 30 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, INGV, Milano – Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

GRUPPO DI LAVORO CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna, consultato on – line il 29 – 07 – 2008 (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>).

HAMILL L. & BELL F.G. (1992). *Ricerca e sfruttamento delle acque sotterranee*. Ed. GEO – GRAPH, 400 pp.

KRAMER, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 654 pp.

LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G. & MILLER J.P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. Ed Freeman and Co., S. Francisco e London, 522 pp.

MARCHETTI M. (1992). Geomorfologia ed evoluzione recente della Pianura Padana Centrale a Nord del Fiume Po. Tesi di dottorato, IV ciclo.

MARCHETTI M., RAVAZZI C., E FONTUGNE M. (1996). Evoluzione geomorfologica e paleoambientale del margine pedemontano lombardo durante l'Olocene: il bacino di Longuelo (Bergamo). *Atti Ticinesi di Scienze della Terra, Serie speciale – vol.4*. Università degli Studi di Pavia. Maggio 1995.

OROMBELLI G. (1971). Concetti stratigrafici utilizzabili nello studio dei depositi continentali quaternari. *Riv. Ital. di Paleont.*, 77 (2), pp. 265 – 291.

PANIZZA M. (1972). *Schema di legenda per carte geomorfologiche di dettaglio*. Boll. Soc. Geol. Ital., 91, (2), pp. 207 – 237.

PINNA M. (1961). Lo studio del trasporto solido dei corsi d'acqua nel quadro delle ricerche dell'erosione del suolo. «Atti XVIII Congresso Geogr. Ital.», Trieste, pp 149 – 169.

PROVINCIA DI BERGAMO, 2000, *Carta Geologica della Provincia di Bergamo. Note Illustrative*, Grafiche Monti, Bergamo, 313 pp.

PROVINCIA DI BERGAMO, 2000a, *Carta Geologica della Provincia di Bergamo*.

SANESI G. (1976). *Guida alla descrizione del suolo*. C.N.R., Firenze.

STELLA A. (1895). Sui terreni quaternari della valle del Po in rapporto alla carta geologica italiana. *Boll. R. Comit. Geol. It.*, s. III, v. VI, 108 – 136, Roma.

STOPPANI A. (1874). *Il mare glaciale ai piedi delle Alpi*. Ricordo del Congresso Geologico di Roma. *Riv. It.*, 3 – 54, Roma.

VENZO S. (1957). Rilevamento geologico dell'anfiteatro morenico del Garda, parte I, tratto occidentale Gardone – Desenzano. *Mem. Soc. It. Sci. Nat.*, 2 (2): 73 – 140.

VENZO S. (1961). Rilevamento geologico dell'anfiteatro morenico del Garda. Parte II, tratto orientale Garda – Adige ed anfiteatro atesino, di Rivoli veronese. Mem. Soc. It. sci. Nat., 13 (1), pp. 1 – 64.