

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3. METEOROLOGIA.....	5
3.1. TEMPERATURA	5
3.2. PRECIPITAZIONI	8
3.3. ALTRI DATI CLIMATICI.....	13
4. GEOLOGIA.....	14
4.1. EVOLUZIONE MORFODINAMICA DELLA PIANURA.....	14
4.2. STRATIGRAFIA	17
5. PEDOLOGIA	21
5.1. CARATTERIZZAZIONE PEDOLOGICA DEL TERRITORIO	21
5.2. CAPACITÀ D’USO DEI SUOLI	24
6. SISMICITÀ.....	26
6.1. CARATTERIZZAZIONE DAL PUNTO DI VISTA SISMICO	26
6.2. STIMA DELL’AMPLIFICAZIONE SISMICA.....	32
6.3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO	35
6.4. VARIAZIONE DELLA RESISTENZA AL TAGLIO.....	37
6.5. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	38
7. GEOMORFOLOGIA	40
7.1. CONFIGURAZIONE GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO	40
7.1.1. Descrizione delle unità morfologiche	41
8. IDROLOGIA.....	44
9. IDROGEOLOGIA	48
9.1. GEOMETRIA DEGLI ACQUIFERI	49

9.2. PIEZOMETRIE	51
9.2.1. Oscillazioni del livello piezometrico.....	52
9.3. PERMEABILITÀ DELLE COPERTURE.....	53
9.4. VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI.....	54
9.4.1. D.R.A.S.T.I.C.....	55
9.4.2. Risultati	58
9.4.3. Elementi di vulnerabilità.....	59
10. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA.....	61
10.1. ZONAZIONE DEL TERRITORIO	62
11. CARTA DI SINTESI.....	65
12. FATTIBILITÀ GEOLOGICA.....	66
12.1. CLASSI DI FATTIBILITÀ	67
12.1.1. Classe 2a	68
12.1.2. Classe 2b	69
12.1.3. Classe 2c	71
12.1.3. Classe 3a	72
12.1.4. Classe 3b	73
12.1.4. Classe 4	74

ALLEGATI

1. Stratigrafie di pozzi idrici
2. Stratigrafie di sondaggio
3. Stratigrafie da scavi
4. Prove penetrometriche dinamiche
5. Normativa di riferimento
D.M. LL.PP. del 11-03-1988 e Circ. M. LL.PP. del 24-09-1988 (testo coordinato)

1. PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Azzano San Paolo ha affidato allo scrivente la stesura dello studio geologico-tecnico per l'intero territorio comunale, a supporto della pianificazione urbanistica ai sensi della L.R. 41/97.

L'incarico ha richiesto una prima fase di consultazione dei dati bibliografici riguardanti il territorio comunale e le zone limitrofe, mediante la quale sono state acquisite informazioni di carattere generale sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche, e una seconda fase di rilevamento diretto del territorio e di analisi dei dati provenienti da studi geologici specifici.

La redazione della presente relazione è stata realizzata in conformità con la normativa regionale e nazionale vigente:

- D.M. 11-3-1988 - "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- D.G.R. n. 5/36147 del 18 maggio 1993 - "Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale";
- L.R. 41/1997 - "Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti".
- D.G.R. n. 7/6645 del 29 ottobre 2001 - "Approvazione direttive per la redazione dello studio geologico ai sensi dell'art. 3 della L.R. 41/97";

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Comune di Azzano San Paolo è situato circa 5 km a sud di Bergamo, alla quota di 235 metri s.l.m., per un'estensione territoriale di 4,21 km².

Confina a nord con il comune di Bergamo, ad est con Orio al Serio, a sud con Stezzano e Zanica, a ovest con Stezzano. L'unico limite fisico è rappresentato dal corso del Torrente Morla che segna parzialmente il confine con Bergamo.

Il territorio comunale è intensamente urbanizzato ad uso residenziale e produttivo ed è attraversato dalle seguenti vie di comunicazione:

- Autostrada A4 "Milano-Venezia" all'estremità settentrionale;
- Ex Strada Statale n. 591 "Cremasca" nel centro del territorio comunale con direttrice nord-sud;
- Strada Statale n. 342/591 "Nuova Cremasca" nel settore orientale con direttrice nord-sud;
- Strada Provinciale n. 115 nella parte meridionale del territorio comunale con direttrice ovest-est.

L'area in esame è compresa nelle tavole della Carta Tecnica Regionale con sigla C5b3 e C5b4.

3. METEOROLOGIA

Il territorio di Azzano San Paolo rientra nella fascia pedemontana della Bergamasca, cui Gavazzeni (1957) ha attribuito un clima di "tipo prealpino" di transizione fra il clima temperato continentale della Pianura Padana e quello di tipo alpino. I caratteri climatici fondamentali del territorio di Azzano San Paolo s'inseriscono nei più generali lineamenti della medio-alta Pianura Bergamasca e del margine collinare.

Oltre a fattori importanti per le classificazioni climatiche (come temperatura e precipitazioni), è importante, per finalità di prevenzione del rischio geologico la rilevazione delle piogge più intense con lo scopo di definire una pioggia di progetto.

L'analisi delle precipitazioni, delle temperature e degli altri elementi climatici caratteristici di Azzano San Paolo, si basa sulle rilevazioni di durata quarantennale registrate alla stazione di Bergamo dall'Ufficio Idrografico del Po e alla stazione di Orio al Serio (aeroporto). Le stazioni di riferimento (Bergamo e Orio al Serio) sono particolarmente significative per la definizione dei lineamenti climatici del comune di Azzano San Paolo, avendo simili condizioni morfologiche, geografiche, altimetriche e di esposizione.

3.1. TEMPERATURA

La temperatura dell'aria dipende dalla radiazione solare, dai movimenti terrestri ed atmosferici.

Nei grafici seguenti sono visualizzate le temperature medie registrate a Bergamo e Orio al Serio. Se ne ricava un massimo nel mese di luglio con valore da 22,6° a 24,0° e un minimo a gennaio variabile da 2,0° a 3,4°. Nel valutare la differenza che si riscontra fra le due stazioni si deve tener conto del diverso arco d'anni durante il quale sono state effettuate le misurazioni.

La tabella 3 indica che non occorrono solitamente giorni di ghiaccio (massima e minima inferiore a 0°) mentre in dicembre e gennaio sono probabili giorni di gelo (una temperatura inferiore a 0°).

Tabella 1: temperature medie mensili (Stazione di Bergamo anni 1951 - 1991)

	Temperatura media (°C)
gen	3,4
feb	4,9
mar	8,6
apr	12,7
mag	17,3
giu	21
lug	24
ago	23
set	19,9
ott	14,5
nov	8,3
dic	4,8
Anno	13,5

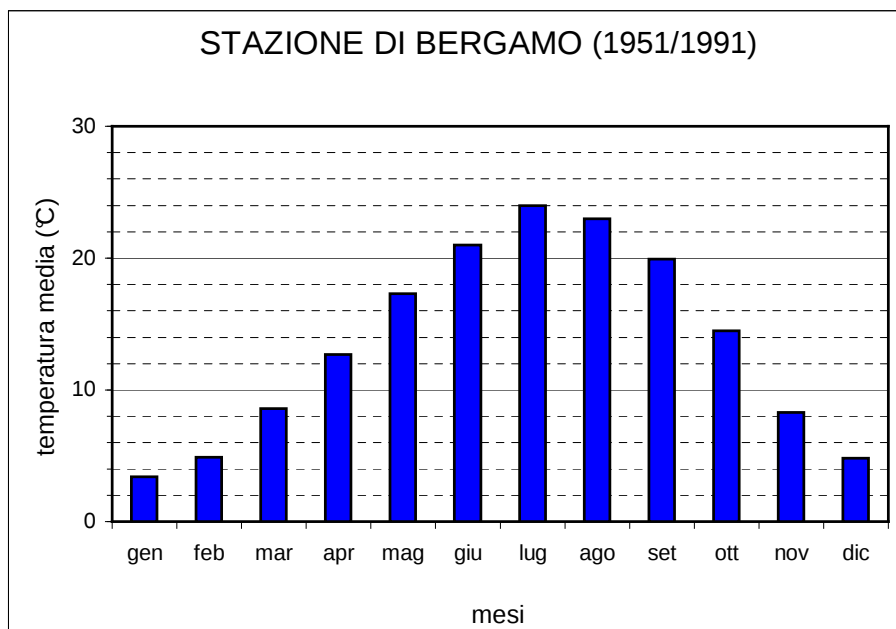


Tabella 2: Temperature medie mensili (Stazione di Orio al Serio anni 1960 - 1982)

	Temperatura media (°C)
gen	2,0
feb	4,3
mar	8,0
apr	11,8
mag	15,8
giu	20,3
lug	22,6
ago	21,9
set	18,5
ott	13,4
nov	7,5
dic	3,2
Anno	12,4

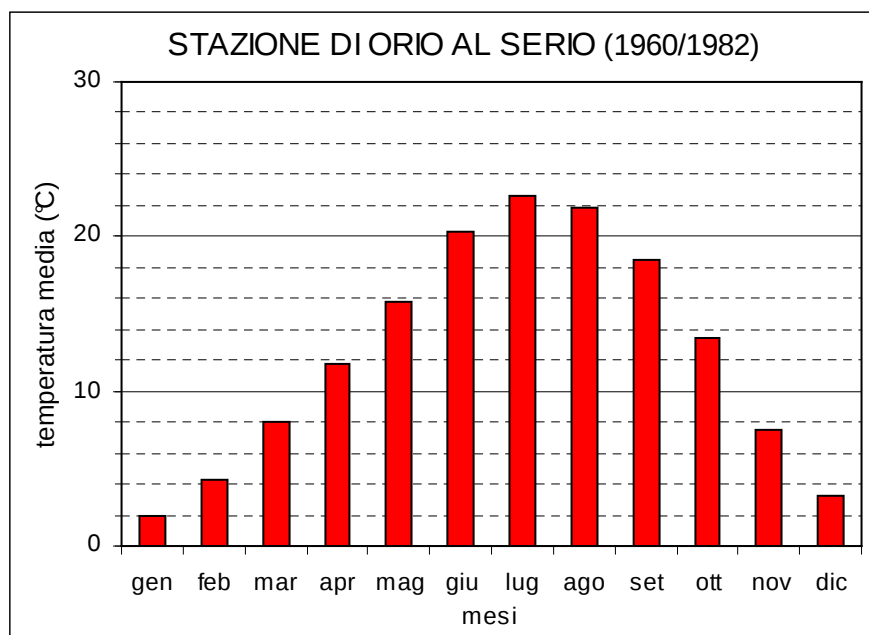


Tabella 3: Temperature medie mensili (Stazione di Orio al Serio anni 1960 - 1982)

	Temperatura medie (°C)			Temperatura estreme (°C)	
	massima	media	minima	massima	minima
gen	5,9	2,0	-1,4	15,2	-7,7
feb	8,1	4,3	0,4	16,2	-5,1
mar	12,4	8,0	3,7	19,8	-2,4
apr	16,2	11,8	6,8	23,2	0,5
mag	21,3	15,8	11,1	27,9	4,6
giu	25,5	20,3	15,0	32,1	9,0
lug	28,0	22,6	17,1	35,3	11,3
ago	26,9	21,9	16,8	33,6	11,7
set	23,5	18,5	13,8	29,6	8,1
ott	17,6	13,4	9,2	24,8	2,5
nov	11,1	7,5	3,9	19,4	-2,6
dic	6,7	3,2	-0,3	14,1	-6,9
Ann o	16,9	12,4	8,0	35,3	-7,7

3.2. PRECIPITAZIONI

Per la definizione delle caratteristiche pluviometriche si deve tener conto sia delle precipitazioni medie mensili e annuali che posso dare indicazioni sul regime climatico, sia sulle piogge più intense, utili in fase di determinazione di piogge di progetto.

La suddivisione stagionale, in base all'anno meteorologico (con inizio dell'autunno il 1 settembre) è la seguente:

Tabella 4: stazione di Bergamo

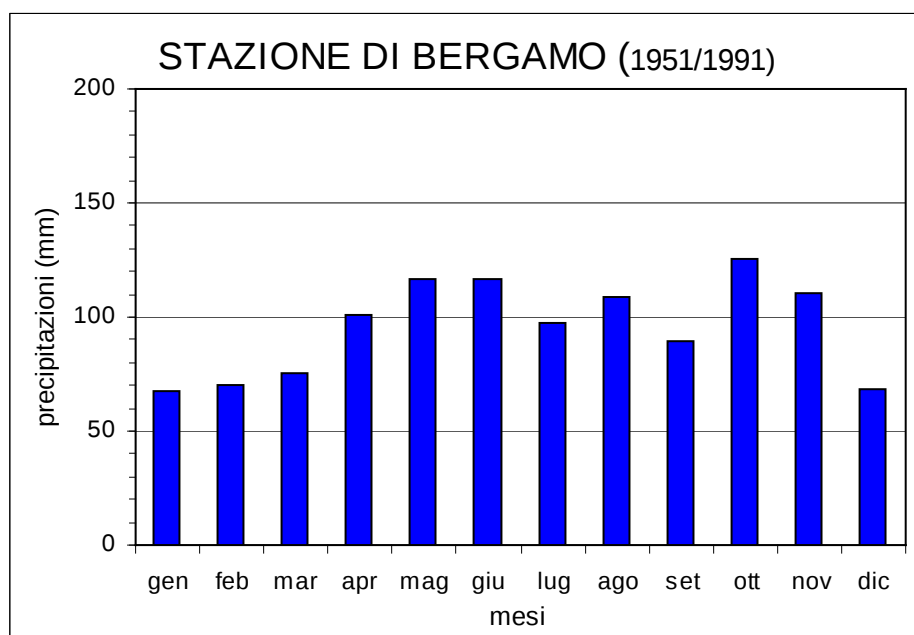
inverno	207,1 mm
primavera	293,5 mm

estate	323,9 mm
autunno	325 mm

I dati a disposizione (tabelle 5 e 6) indicano un andamento stagionale, caratterizzato dalla presenza di due massimi: il primo, assoluto, in autunno e il secondo, relativo, tardo primaverile. Il periodo meno piovoso si colloca nel periodo invernale anche se non si riconosce un vero e proprio periodo di siccità. La particolarità che si evidenzia dall'analisi delle precipitazioni a Bergamo e, in misura maggiore, a Orio al Serio, è rappresentata dal periodo piovoso agostano che annulla quasi del tutto il classico periodo asciutto estivo, caratteristico del clima continentale padano.

Tabella 5: Stazione di Bergamo – Precipitazioni mensili (anni 1951 - 1991)

	Precipitazioni (mm)
gen	67,9
feb	70,6
mar	75,3
apr	101,2
mag	117
giu	117,1
lug	97,7
ago	109,1
set	89,3
ott	125,6
nov	110,1
dic	68,6
Anno	1149,5

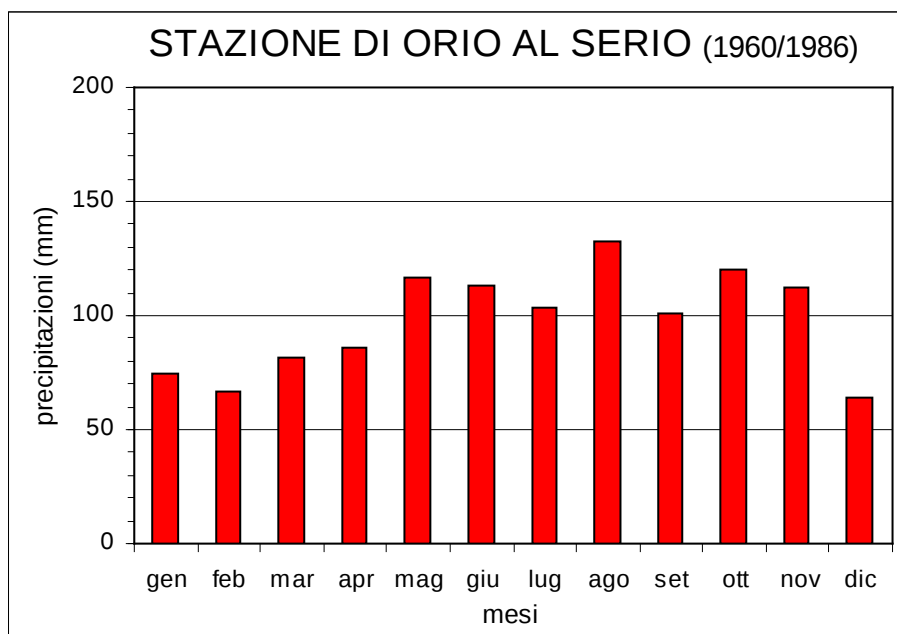


La stazione di Orio al Serio, oltre a indicazioni sulla piovosità media in generale dà indicazioni sulle altre precipitazioni, suddivise secondo lo schema seguente. Le precipitazioni liquide (piogge) o solide (neve, grandine, brina e rugiada) sono

misurate in millimetri. Ogni millimetro corrisponde ad un litro d'acqua per metro quadrato e ogni centimetro di neve equivale ad un millimetro d'acqua.

Tabella 6: Stazione di Orio al Serio - Dati climatici (anni 1960 - 1986)

	Precipitazioni (mm)	Altre precipitazioni (giorni)						
		neve	rovesci	temporali	grandine	brina	rugiada	nebbia
gen	74,2	3,1	0,0	0,0	0,0	6,6	0,0	18,9
feb	66,4	2,1	0,0	0,1	0,0	4,7	0,0	11,5
mar	81,5	1,4	0,3	0,8	0,0	1,0	0,2	3,9
apr	85,6	0,2	0,3	3,2	0,0	0,1	0,9	3,0
mag	117,0	0,0	0,9	6,4	0,0	0,0	0,4	0,3
giu	113,2	0,0	0,6	8,3	0,5	0,0	0,2	0,1
lug	103,5	0,0	0,3	9,3	0,5	0,0	0,1	0,0
ago	132,4	0,0	0,5	8,7	0,4	0,0	1,0	0,2
set	100,8	0,0	0,4	4,6	0,2	0,0	3,7	0,6
ott	120,2	0,0	0,4	1,6	0,1	0,3	7,0	4,9
nov	112,3	0,6	0,0	3,2	0,0	3,8	1,7	15,0
dic	63,8	2,9	0,0	0,0	0,0	9,9	0,4	16,7
Anno	1170,9	10,3	3,8	46,4	1,8	26,4	15,4	75,1



Per una prima stima della valutazione delle piogge più intense si riporta una carta tratta da "1° programma regionale di previsione e prevenzione di protezione civile" a cura della Regione Lombardia. I dati così ricavabili vanno intesi in forma puramente indicativa, mentre per valutazioni di progetto su piogge della durata di 1- 3 – 6 – 12 – 24 ore, si dovrà ricorrere a valutazioni statistiche sulle serie storiche dei massimi annuali delle precipitazioni.

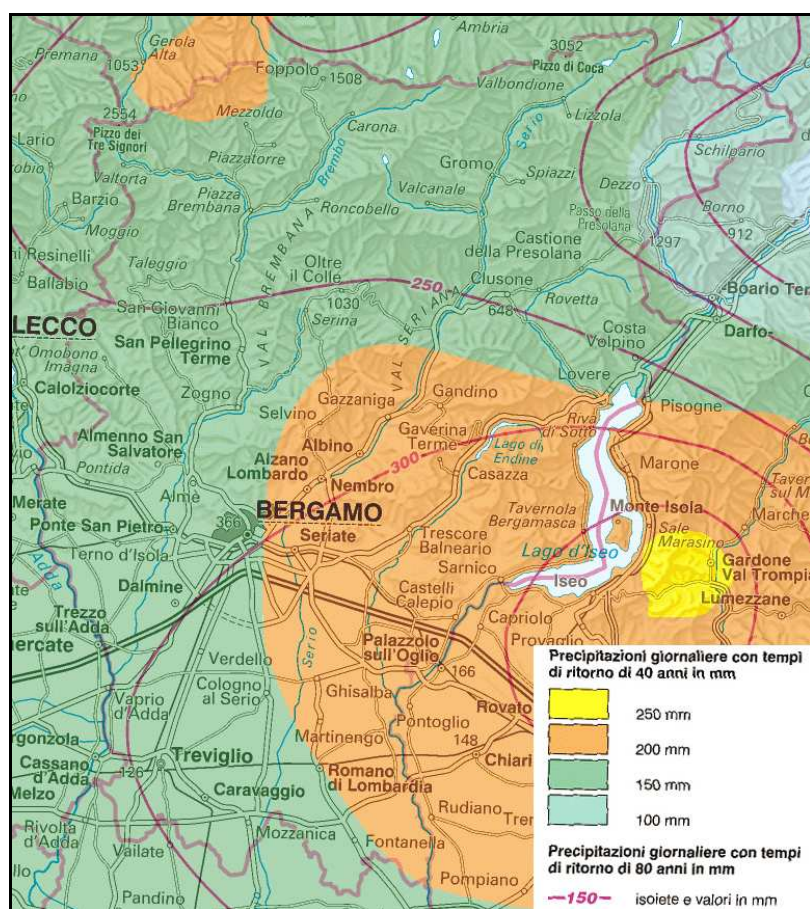
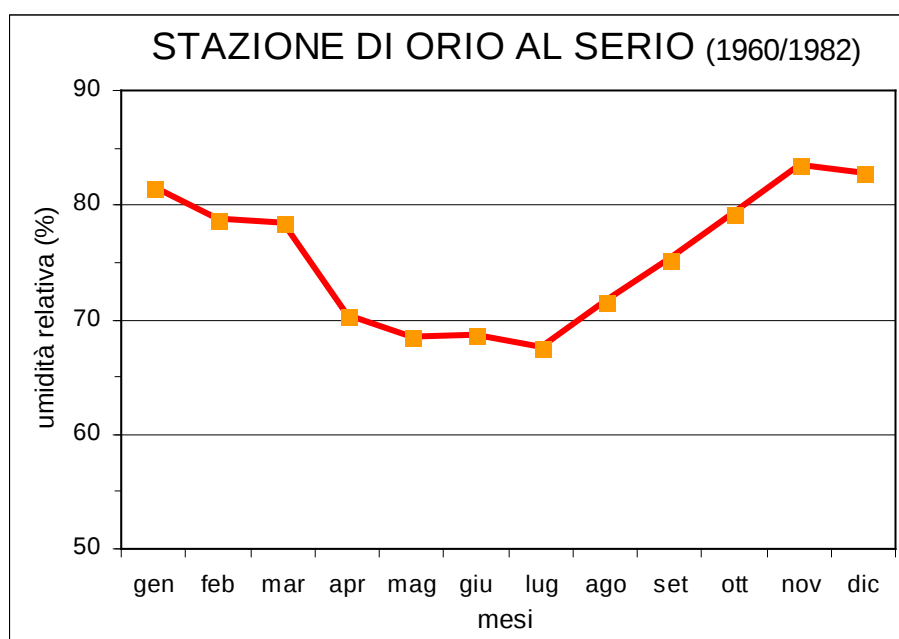


Figura 1: Precipitazioni giornaliere (da "1° programma regionale di previsione e prevenzione di protezione civile")

3.3. ALTRI DATI CLIMATICI

Tabella 7: Stazione di Orio al Serio - Dati climatici (anni 1960 - 1982)

	Pressione (mbar)	Umidità rel. (%)		Stato cielo		
		media	massima	sereno	misto	coperto
gen	1018,54	81,6	100,0	9,3	7,1	14,6
feb	1016,58	78,8	99,9	8,5	7,6	12,2
mar	1015,68	78,4	98,9	8,8	9,1	13,1
apr	1014,06	70,4	99,0	7,0	11,4	12,6
mag	1015,66	68,5	98,6	6,0	13,0	12,0
giu	1015,53	68,7	98,0	5,8	14,3	9,9
lug	1015,78	67,6	98,4	9,8	15,0	6,2
ago	1015,82	71,7	98,4	8,9	14,6	7,5
set	1017,73	75,4	98,3	9,0	12,2	8,8
ott	1017,85	79,4	98,3	10,6	9,8	10,6
nov	1017,53	83,5	100,0	7,3	8,4	14,3
dic	1016,89	82,8	100,0	10,4	7,9	12,7
Anno	1016,47	75,6	99,0	8,5	10,9	11,2



4. GEOLOGIA

Nel territorio comunale non sono presenti affioramenti rocciosi ma esclusivamente depositi sedimentari sciolti di età recente o attuale. Per una migliore comprensione delle litologie presenti nel territorio di Azzano San Paolo e della loro variabilità verticale e orizzontale si dà un cenno agli ambienti originari di deposizione.

4.1. EVOLUZIONE MORFODINAMICA DELLA PIANURA

La Pianura Padana è un ampio bacino colmato da ingenti spessori sedimentari d'età pliocenico-quadernaria e di origine prevalentemente fluviale. Il bacino s'individua probabilmente già dal Miocene medio, quando il sollevamento della catena appenninica formò un'ampia depressione sede di processi deposizionali.

L'evoluzione recente può essere riassunta in fasi ben distinte:

- fase messiniana, legata al disseccamento del Mar Mediterraneo e al conseguente abbassamento del livello di fondo; è caratterizzata da intensa attività erosiva degli alvei nelle valli già impostate;
- fase pliocenica, caratterizzata da morfologia a rias con sedimentazione di argille, limi e depositi sabbiosi;
- fase sedimentaria che va dal Pliocene superiore al Pleistocene inferiore, caratterizzata da depositi continentali, prevalentemente deltizi e di piana costiera (fino a 700.000 anni fa);
- fase sedimentaria pleistocenica durante i periodi glaciali (Gunz, Mindel, Riss e Würm) e i periodi interglaciali (da 700.000 a 10.000 anni fa);
- fase erosiva e sedimentaria olocenica, caratterizzata dalla formazione di depositi fluviali, cui si accompagna, nei tempi storici, l'intervento antropico.

Da un punto di vista morfologico e morfostratigrafico è consuetudine distinguere alcuni grandi sistemi fisiografici.

Presso il margine alpino e principalmente allo sbocco delle principali vallate prealpine si trovano i depositi glaciali che costituiscono gli apparati morenici del limite alpino (per esempio gli archi morenici dei laghi di Como, Lecco, Iseo, Garda). Questo sistema è composto da una notevole varietà di sedimenti di origine glaciale, proglaciale (fluvioglaciale, glaciolacustre, ecc.) ed eolica, depositisi durante le glaciazioni del Pleistocene, quando i ghiacciai alpini si spingevano fino al margine della pianura trasportando e depositando materiali erosi nelle Alpi. Vi si trovano morfologie relitte e inattive, che testimoniano condizioni morfodinamiche, climatiche e ambientali non in equilibrio con il sistema attuale. Depositi e forme sono databili al Pleistocene; i meglio rappresentati sono quelli relativi all'ultima espansione glaciale, il cosiddetto Würm, che raggiunse il suo massimo all'incirca 18.000 anni fa. Su questi depositi si sono sviluppati, dal momento del ritiro dei ghiacciai fino ad oggi, suoli derivanti dall'azione di processi di alterazione pedogenetica. Si tratta, nella maggior parte dei casi, di suoli profondi e discretamente alterati, essendo stati interessati da evoluzione continuata almeno negli ultimi 15.000 anni circa.

La porzione centrale della Pianura Padana è occupata dal sistema dei depositi alluvionali che costituisce la pianura alluvionale vera e propria, caratterizzata da una tipica sequenza evolutiva dai margini verso il centro. Presso il settore prealpino è presente un sistema di conoidi, raccordato con le morene würmiane e che, procedendo verso l'area centro-padana, forma un ampio terrazzo rilevato rispetto agli alvei dei principali corsi d'acqua di provenienza alpina (fa eccezione il Serio). Questo terrazzo è tradizionalmente indicato dalla letteratura come "Livello Fondamentale della Pianura" (L.F.d.P.) e presenta una superficie lievemente ondulata da una serie di dossi. Il L.F.d.P. è formato da depositi che variano gradualmente dalle ghiaie grossolane e ciottoli fino alle sabbie e ai limi spostandosi dal margine pedecollinare verso l'asse depocentrale rappresentato dalla Valle del Po.

Dal punto di vista topografico, il L.F.d.P. evolve da una sottoclasse con gradiente medio, formata da conoidi alluvionali giustapposte caratterizzate da paleoalvei di

tipo braided¹, situata nella zona prossimale agli sbocchi vallivi, fino a una sottoclasse pianeggiante caratterizzata da paleoalvei meandriformi. La posizione geografica situa l'intero territorio di Azzano San Paolo nella prima sottoclasse, sulla paleoconoide del Fiume Serio. L'unità risale al Pleistocene superiore.

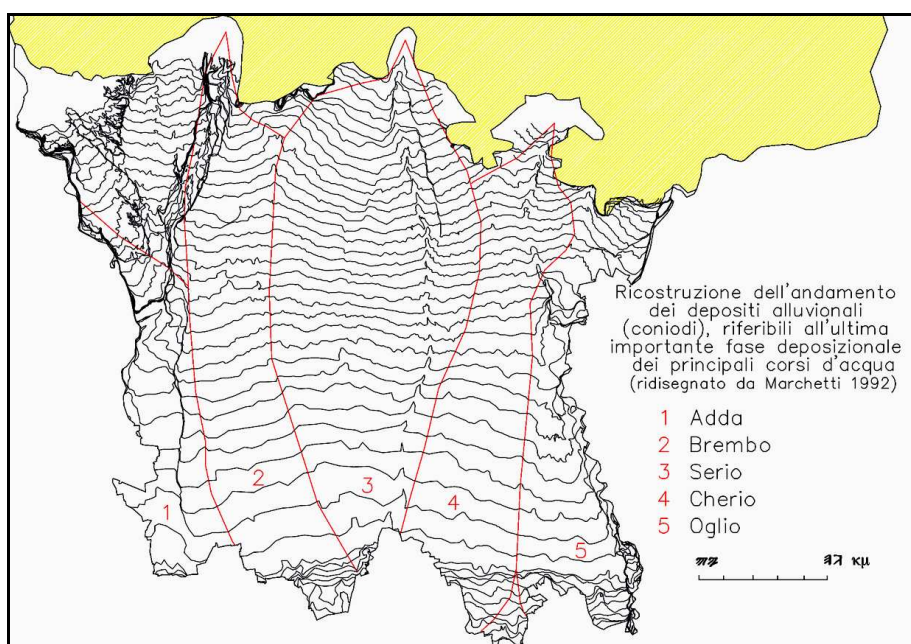


Figura 2: disposizione delle paleoconoidi pedemontane in provincia di Bergamo (da "Monitoraggio delle acque sotterranee della provincia di Bergamo")

Procedendo verso sud, si giunge al limite meridionale dei terrazzi pleistocenici, e si entra nella tratto attivo della pianura in aree ad elevata subsidenza e con continuo apporto di sedimenti.

L'assetto fisiografico e stratigrafico della pianura riflette i caratteri dell'evoluzione morfologica quaternaria. Il modello evolutivo più recente ritiene, in linea generale, che il L.F.d.P. rappresenti l'ultima grande fase di riempimento del bacino padano

¹ Questa sottoclasse viene definita "Sandúr prossimale" ed è caratterizzata da gradienti topografici compresi fra 1% e 0,5-0,6%.

terminata alla fine del Tardiglaciale. Successivamente, nell'Olocene iniziale un'intensa fase erosiva portò i corsi d'acqua di provenienza alpina ad incidere linearmente i depositi del L.F.d.P. dando origine alle valli attuali. Per questo motivo la superficie del L.F.d.P., isolata dai fenomeni fluviali delle valli attive, si trova in una situazione di sostanziale stabilità geomorfologica, soggetta ai soli processi pedogenetici e, in linea di massima, senza significativi fenomeni di sedimentazione.

Ai processi naturali, in tempi più recenti, si è sommato il fattore evolutivo legato alla presenza dell'uomo. Le tappe dell'evoluzione antropica del territorio passano per:

- comparsa dell'agricoltura e dell'allevamento (Neolitico);
- comparsa della metallurgia e disboscamento (Eneolitico);
- centuriazione (età romana) con suddivisione in parcelle a maglia quadrata regolare, disboscamento, irragimentazione dei corsi d'acqua, creazione di irrigazione artificiale e messa a coltura.
- edilizia moderna i cui effetti più importanti sono l'asportazione del suolo e, talvolta, la formazione di un microrilievo artificiale.

4.2. STRATIGRAFIA

Dal punto di vista granulometrico, i terreni presenti nel territorio di Azzano San Paolo sono costituiti per lo più da sedimenti sciolti quaternari, incoerenti, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi di origine fluvioglaciale e fluviale.

La suddivisione in unità litologiche permette di riconoscere le seguenti unità.

UNITÀ DI COMUN NUOVO (LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA)

Quest'unità, in letteratura geologica, ha numerosi sinonimi come: *fluvioglaciale ghiaioso*, *fluvioglaciale Wiirm/Riss* e *Diluvium recente*.

Si tratta di ghiaie poligeniche da medio-grossolane a molto grossolane con locale presenza di massi, mediamente selezionate, a supporto clastico, da subarrotondate ad arrotondate e discoidali in matrice sabbiosa calcarea. La cementazione è scarsa e localizzata. In superficie è caratterizzata da suoli che raggiungono spessore massimo di 1 metro con copertura loessica assente. Si tratta di depositi fluvioglaciali con stratificazione suborizzontale grossolana, gradazione diretta ed embricatura a basso angolo. Sono frequenti strati sabbiosi e lenti a laminazione orizzontale, localmente incrociata planare. Nel settore nord occidentale, in due lembi, sono presenti coperture di limi o limi argillosi d'esondazione.

L'Unità di Comun Nuovo rappresenta una fase di deposizione abbastanza modesta, nettamente distinta pedologicamente e morfologicamente dalle altre fasi deposizionali. Nel complesso mostra spessori non superiori a 6-8 m, che si riducono a 4/4,5 metri nel settore ovest del comune (vedi sondaggi 2, 3, 4 e prove penetrometriche H-3, H-4, H-5, H-8, H-9, H-10).

Copre in continuità morfologica l'Unità di Torre Boldone (Complesso di Ponte della Selva) ed è coperta, a sud di Azzano San Paolo, dall'Unità di Cologno (Complesso del Serio). I dati stratigrafici e pedologici, unitamente all'assenza di copertura eolica, differenziano nettamente quest'unità da quelle ritenute più antiche, ma anche da quelle più recenti. L'età può essere Pleistocene superiore.



Figura 3 (scala 1:20 circa): nell'immagine di sinistra si osserva il profilo tipico dell'Unità di Comun Nuovo avente copertura pedogenizzata con spessore di circa 40 cm; nell'immagine di destra si osserva il profilo tipico dei settori caratterizzati da copertura a limi di esondazione (circa 1 m) cui seguono ghiaie. Si vedano, rispettivamente, Scavo 3 e 2 in allegato alla relazione.

Nella Tavola 1 (Carta Geolitologica) è stata suddivisa in due sottounità sulla base dei dati delle indagini geognostiche disponibili. I limiti fra le sottounità sono stati tracciati in

modo presunto sulla base dei dati geomorfologici e dall'analisi del modello tridimensionale del comune di Azzano San Paolo (vedi Tavola 2).

UNITÀ DI TORRE BOLDONE (LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA)

Quest'unità non affiora nel territorio di Azzano San Paolo, tuttavia riveste una notevole importanza poiché lo spessore ridotto della soprastante Unità di Comun Nuovo (6-8 metri massimo) fa in modo che l'Unità di Torre Boldone possa interferire con scavi o opere di fondazione.

È costituita da ghiaie a supporto di matrice limoso-argillosa, da grossolane a molto grossolane, moderatamente selezionate, da arrotondate a discoidali, poligeniche con numerosi elementi cristallini. Mancano totalmente i clasti calcarei. Localmente sono presenti strati di conglomerato a debole cementazione. L'unità presenta una consistente copertura loessica, fortemente pedogenizzata, ben riconoscibile nelle stratigrafie e nei grafici delle prove penetrometriche in allegato.

Dalle stratigrafie dei pozzi idrici sembra che l'Unità di Torre Boldone presenti un consistente strato argilloso con ghiaia o di ghiaia con argilla a profondità comprese fra 13 e 25 metri, poggiante direttamente sui sottostanti conglomerati plio-pleistocenici (ceppo). Questo membro argilloso è caratterizzato da spessore variabile da punto a punto.

5. PEDOLOGIA

I dati relativi alle caratteristiche pedologiche del territorio di Azzano San Paolo sono stati tratti dalla pubblicazione "I suoli dell'Hinterland bergamasco", edita dall'ERSAL sulla base del rilevamento di semi-dettaglio (scala 1:50.000) eseguito nell'ambito del "Progetto Carta Pedologica della Lombardia". Nella tavola 1 è riportato un estratto della carta pedologica ingrandito alla scala 1:10.000 e adattato alle topografie disponibili oltre che all'evoluzione urbanistica più recente.

In questo elaborato i suoli sono suddivisi in unità cartografiche omogenee dal punto di vista tassonomico e gestionale. La classificazione tassonomica si basa sul sistema della Soil Taxonomy Classification dell'U.S.D.A. (United States Department of Agriculture).

5.1. CARATTERIZZAZIONE PEDOLOGICA DEL TERRITORIO

I suoli riconosciuti nello studio dell'ERSAL sono di seguito elencati e descritti.

ALFISUOLI

Si tratta di suoli evoluti, tipici del L.F.d.P., sviluppatasi in condizioni di stabilità su superfici antiche. Sono caratterizzati dalla presenza di un orizzonte "argillico" profondo d'origine illuviale. Tendono a svilupparsi sulle superfici più stabili del territorio, dove non sono attivi, parzialmente o totalmente, processi di ringiovanimento. Nel complesso gli Alfisuoli sono piuttosto produttivi per l'agricoltura poiché l'umidità del suolo è generalmente sufficiente e le basi sono ancora presenti.

Sono state riscontrate le seguenti famiglie:

- **Typic Hapludalfs fine-loamy, mixed, mesic (STZ1)** – Suoli profondi 80-100 cm caratterizzati dalla presenza del 50-60% di sabbia nel fine degli orizzonti diagnostici. Nell'area di Azzano San Paolo hanno profondità di 90 cm, scheletro frequente, franco limosi o franco sabbiosi e ben drenati. Dal punto di vista

chimico sono saturi con pH da subacido a neutro. Il substrato è costituito da ghiaia e ciottoli calcarei non alterati con locali lenti sabbiose.

- **Typic Hapludalfs loamy-skeletal, mixed, mesic (MNS1)** – Suoli con profondità di 80-100 cm dotati di orizzonte argillico brunificato molto ricco in scheletro, franco, franco-argilloso nell'orizzonte argillico. Sotto l'orizzonte argillico si rinviene direttamente il substrato ghiaioso-ciottoloso. Nell'area di Azzano San Paolo sono ben drenati, profondi circa 70 cm, ricchi di scheletro, franco negli orizzonti arati e franco-argilloso nell'orizzonte argillico. Chimicamente sono saturi e con pH neutro, con tendenza al subacido in superficie. Il substrato è composto principalmente da ghiaie e ciottoli calcarei non alterati.

INCEPTISUOLI

Sono suoli mediamente evoluti la cui pedogenesi produce il caratteristico orizzonte diagnostico detto "cambico". La granulometria è solitamente inferiore a quella della sabbia dei suoli franchi e il profilo contiene vari minerali degradabili.

È stata riconosciuta solo la presenza della seguente famiglia:

- **Fluventic Eutrochrepts fine-silty, mixed, mesic (FNT2)** - Sono suoli privi di scheletro legati a fenomeni fluvio-colluviali. Presentano fenomeni di idromorfia dovuta a difficoltà interne di drenaggio. Nella zona di Azzano San Paolo sono caratterizzati da pH subacido in superficie e tendente al subalcalino in profondità, saturi, presentano tessitura variabile all'interno del profilo.

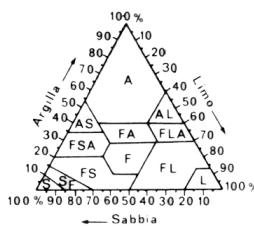
ENTISUOLI

Si tratta di suoli poco evoluti, tipici di ambienti in evoluzione morfodinamica e sono caratterizzati dall'assenza di orizzonti pedogenetici distinti. L'unica famiglia presente è la seguente:

- **Alfic Udarents fine-loamy over sandy skeletal, carbonatic, mesic (TAG1)** – Sono suoli sottili calcarei tipici dei terrazzi fluviali. Ad Azzano San Paolo questi suoli sono

profondi mediamente 50 cm, ricchi di scheletro calcareo, con tessitura franca o franco-sabbiosa, neutri e saturi, con scarsa presenza di carbonati. Il substrato è costituito da ghiaie e ciottoli prevalentemente calcarei, non alterati.

Tabella 8: Classi utilizzate per la descrizione dei suoli in legenda

PROFONDITÀ (cm)		SATURAZIONE (%)		CARBONATI TOTALI (%)	
<25	Molto sottili	<35	molto bassa	0-0,5	Non calcarei
25-50	Sottili	35-50	bassa	0,5-5	Scarsamente calcarei
50-100	Moderatamente profondi	50-75	media	5-10	Moderatamente calcarei
100-150	Profondi	>75	elevata	10-20	Calcarei
>150	Molto profondi			>20	Molto calcarei
REAZIONE (pH)		SCHELETRO (%)		DRENAGGIO	
<4,5	Molto acidi	<1	assente	rapido	
4,5-5,5	Acidi	1-5	scarso	buono	
5,5-6,6	Subacidi	5-15	comune	mediocre	
6,7-7,3	Neutri	15-35	frequente	lento	
7,4-8,2	Subalcalini	35-70	abbondante	molto lento	
>8,2	Alcalini	>70	molto abbondante	impedito	
TESSITURA (S=sabbiosa, L=limosa, A=argillosa, F=franca)					
		S e SF	grossolana		
		FS grossolana, FS, FS fine	moderatamente grossolana		
		FS molto fine, F, FL, L	media		
		FSA, FA, FLA	moderatamente fine		
		A, AS, AL	fine		

5.2. CAPACITÀ D'USO DEI SUOLI

In base alle caratteristiche chimico-fisiche (pedologiche) e climatiche è possibile definire la capacità d'uso dei suoli con lo scopo di tutelare i suoli più pregiati dal punto di vista agro-silvo-pastorale e di ridurre il rischio di degradazione dei suoli.

Il metodo maggiormente usato è la "Land Capability Classification" elaborata dal Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti (USDA). Questo sistema è stato interpretato e adottato dall'ERSAL in funzione del "Progetto Carta Pedologica".

Nel territorio di Azzano San Paolo sono presenti suoli che non presentano limitazioni all'uso agricolo-forestale, legate a caratteristiche intrinseche dei suoli, quali la moderata profondità, l'abbondante presenza di scheletro o di pietrosità superficiale, il drenaggio rapido, ecc.

Nel dettaglio, alle quattro famiglie di suoli individuate nella carta pedologica, corrispondono altrettante unità di capacità d'uso secondo lo schema della tabella seguente. In essa sono riportati tre ordini tassonomici (classe, sottoclasse e unità) con precisi significati, giacché a suoli di una stessa classe corrisponde una capacità d'uso simile per intensità ma non per tipo di limitazione, alla sottoclasse corrisponde un determinato tipo di limitazione, all'unità corrispondono suoli simili dal punto di vista gestionale, tali da poter ospitare le stesse colture o richiedere gli stessi interventi conservativi.

Tabella 9: capacità d'uso dei suoli [II e III – suoli adatti all'agricoltura con alcune limitazioni facilmente controllabili (II) con severe limitazioni (III); S: limitazioni pedologiche, W: eccesso idrico]

SIMBOLO CARTOG.	CLASSE	SOTTOCLASSE	UNITÀ	TIPO DI LIMITAZIONE D'USO
STZ1	II Suoli con alcune limitazioni che riducono la scelta delle colture arboree e che richiedono moderate pratiche di conservazione	S	1	Suoli con spessore non ottimale (80-100 cm)
MNS1			3	Suoli con spessore non ottimale, elevata frazione limoso-argillosa nell'orizzonte arato e scheletro abbondante in profondità (35-70%)

FNT2	III Suoli con severe limitazioni che riducono la scelta delle colture impiegabili e richiedono precise pratiche di conservazione.	W	1	Suoli con drenaggio lento
MNS1-TAG1	II-III	S	1	Suoli con spessore non ottimale o moderato

6. SISMICITÀ

Prima di affrontare la valutazione degli effetti sismici sul territorio, si dà una breve definizione dei fattori di seguito elencati:

- **pericolosità sismica di base e locale:** misura dello scuotimento al suolo atteso in un dato sito, è legata alle caratteristiche sismotettoniche, alle modalità di rilascio dell'energia alla sorgente, al percorso di propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito e alla loro interazione con la geologia e la geomorfologia locale; pertanto è valutata indipendentemente dalla presenza di manufatti o persone;
- **vulnerabilità sismica:** propensione di un edificio a subire un danneggiamento a seguito di un evento sismico, è legata alle caratteristiche costruttive dell'edificio stesso;
- **rischio sismico:** in maniera analitica può essere espresso come il prodotto della pericolosità sismica, della vulnerabilità sismica e della quantificazione economica delle realtà danneggiate; è dipendente, per un evento sismico di caratteristiche prefissate, dall'estensione e dalla tipologia della zona interessata dall'evento, dal valore dei beni esposti e dal numero di persone coinvolte.

L'analisi della sismicità prevede i seguenti passi che saranno analizzati nei paragrafi successivi:

- definizione della massima intensità macrosismica prevedibile;
- definizione dell'amplificazione sismica locale;
- stima di fenomeni di liquefazione;
- stima di fenomeni di dilatanza.

6.1. CARATTERIZZAZIONE DAL PUNTO DI VISTA SISMICO

Gli studi sismologici e geologici sviluppatisi dopo i terremoti del 1976 in Friuli e del 1980 in Irpinia hanno portato alla definizione di una proposta di classificazione sismica. In particolare, il decreto ministeriale del 5 marzo 1984, a titolo "Dichiarazione

di sismicità di alcune zone della regione Lombardia", classificava e vincolava come sismiche alcune zone della regione Lombardia, ai sensi e per gli effetti della legge n.64 del 2 febbraio 1974.

L'ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, che propone l'adozione di un sistema normativo coerente con l'Eurocodice 8, oltre a una riclassificazione sismica del territorio, definisce il grado di sismicità con riferimento ai valori di accelerazione del suolo.

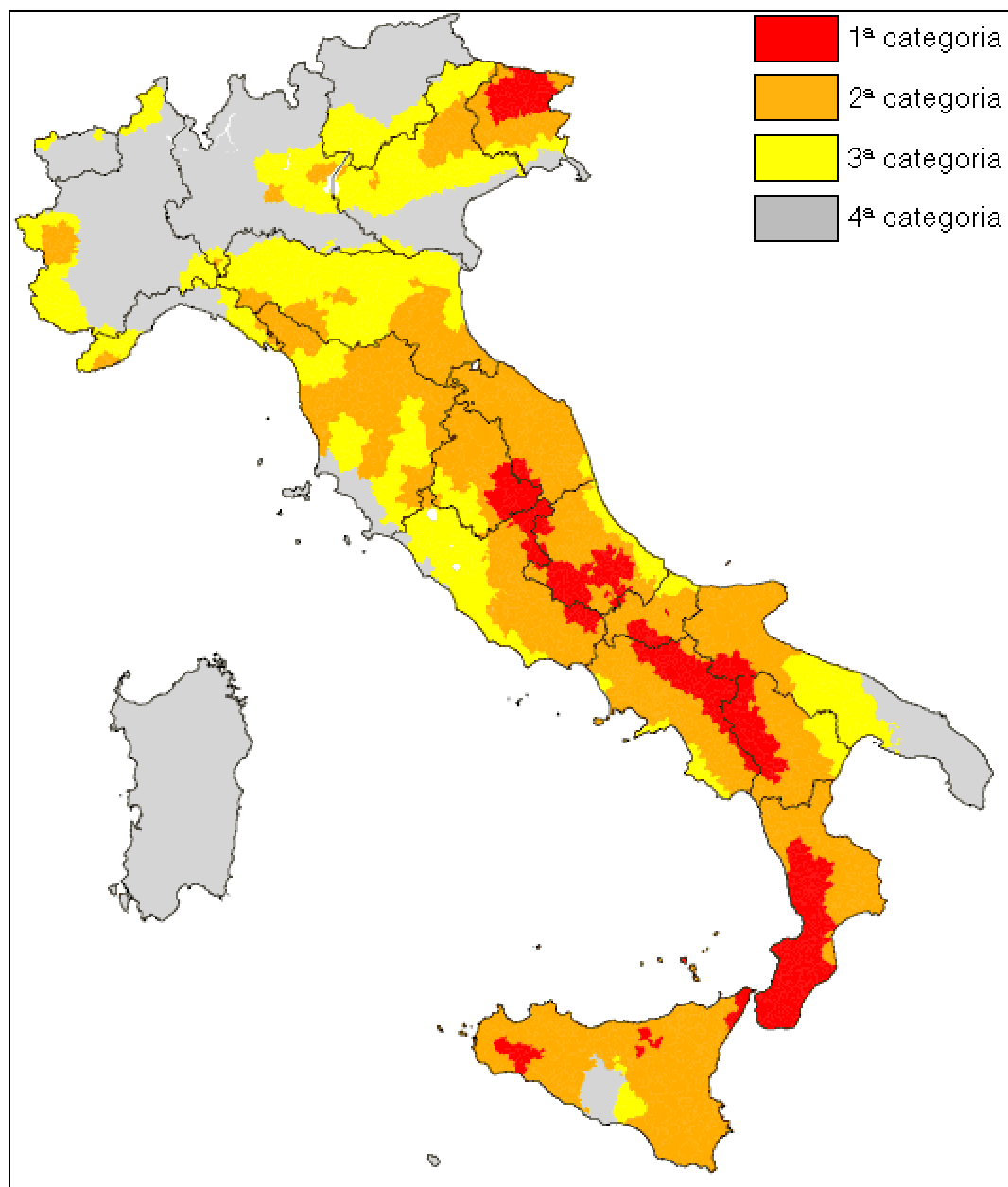


Figura 4: classificazione sismica del 2003

Secondo la nuova zonazione proposta, il comune di Azzano San Paolo è inserito in zona 3 (bassa sismicità), cui corrisponde un valore di a_g (accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A) di 0,15 g.

Denominazione	Categoria (L. 2-2-74 n. 64)	Categoria (proposta del GdL - 1998)	Zona (2003)
Azzano San Paolo	N.C.	III	3

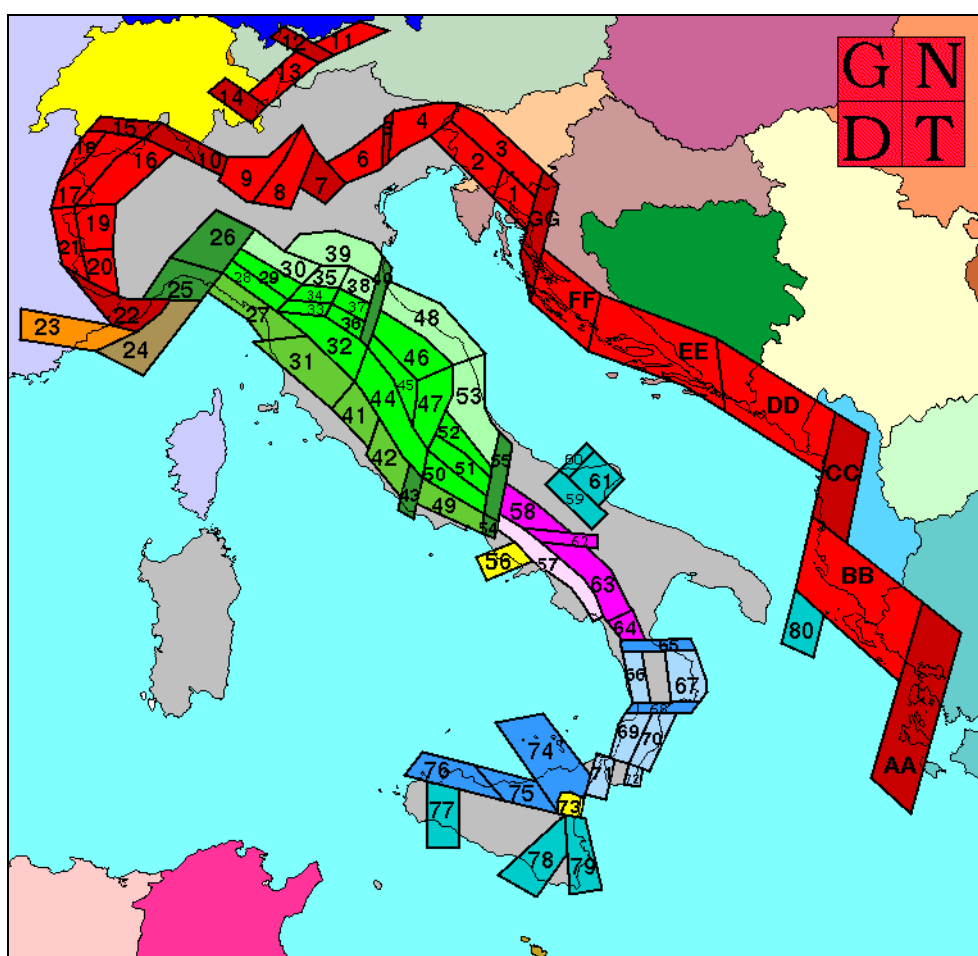


Figura 5: zonazione simogenetica del territorio nazionale secondo Gruppo Nazionale di Difesa dei Terremoti

La proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale, elaborata dal Gruppo Nazionale di Difesa dei Terremoti in base al continuo aggiornamento dei cataloghi storici e alla revisione dei modelli sismici, oltre a considerare un catalogo di

registrazioni storiche contenente 2.488 eventi sismici, opera una zonazione sismogenetica secondo la quale il comune di Azzano San Paolo ricade nella regione 9.

Tabella 10: massima intensità macrosismica registrata nel territorio di Azzano San Paolo

Re	Pr	Com	Latitudine	Longitudine	Imax
3	16	16	45.66189	9.67221	7

Nella tabella 11 si riportano le osservazioni sismiche disponibili per Bergamo, secondo la banca dati macrosismici del GNDT e i dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA. Mentre la tabella 12 riporta i dati del Catalogo Sismico relativi alla zona sismogenetica 9.

Tabella 11: Osservazioni sismiche per Bergamo (45,694° ; 9,67° - marzo 1996)

Data e (ora)	Effetti Is (MCS)	Area epicentrale	Int. max Ix	Magnitudo Ms
26-12-1396	70	BERGAMO	70	50
3-9-1295	65	COIRA	85	59
8-3-1593	65	BERGAMO	65	47
22-8-1606	65	BERGAMO	65	47
13-6-1642 (22.00)	65	BERGAMO	65	47
3-1-1117 (13.00)	D	VERONESE	90	64
25-12-1222 (11.00)	55	BRESCIANO	80	59
30-10-1901 (14.49)	55	SALO`	80	55
28-7-1276	45	CREMONESE	60	47
27-2-1882 (6.30)	45	ROVETTA	65	47
7-6-1891	45	VERONESE	80	55
7-4-1786	40	PIACENZA	70	47
29-6-1873 (3.55)	40	BELLUNESE	100	64
13-1-1909 (0.45)	40	BASSA PADANA	65	54
27-10-1914 (9.22)	40	GARFAGNANA	70	58
18-10-1936 (3.10)	40	BOSCO CANSIGLIO	90	58
15-7-1971 (1.33)	40	PARMENSE	80	54

25-10-1972 (21.56)	40	PASSO CISA	50	47
12-9-1884	35	PONTOGLIO	60	44
23-2-1887	35	LIGURIA OCC.	100	64
26-10-1914 (3.45)	35	TAVERNETTE	70	49
20-4-1929 (1.09)	35	BOLOGNESE	75	54
11-1-1975 (15.54)	35	GARDA	55	38
25-12-1810 (0.45)	F	NOVELLARA	70	50
4-3-1898	30	CALESTANO	70	47
7-12-1913 (1.28)	30	NOVI LIGURE	50	44
9-12-1917 (21.40)	30	ALTA ENGADINA	70	47
17-9-1873	25	LIGURIA ORIENTALE	65	47
27-11-1894	25	FRANCIACORTA	65	47
24-4-1918 (14.21)	NC	LECCESE	60	47
25-4-1907 (4.52)	110	BOVOLONE	60	45
25-11-1913 (20.55)	NF	VAL DI TARO	50	47

Tabella 12: Catalogo Sismico, eventi con epicentro ricadente all'interno della zona sismogenetica 9 (rif. schema proposto dal G.N.D.T.)

Anno	Località	Latitudine	Longitudine	Intensità
1065	BRESCIA	45,550	10,220	70
1197	BRESCIA	45,550	10,220	65
1396	MONZA	45,580	9,270	75
1471	BRESCIA	45,544	10,214	55
1521	BRESCIANO	45,550	10,217	60
1540	BRESCIA	45,533	10,217	60
1576	BERGAMO	45,667	9,667	60
1593	BERGAMO	45,694	9,670	65
1606	BERGAMO	45,694	9,670	65
1642	BERGAMO	45,694	9,670	65
1683	V, GIUDICARIE	46,024	10,864	65
1771	SARNICO	45,667	10,000	60
1781	CARAVAGGIO	45,497	9,644	65
1783	VAL DI LEDRO	45,878	10,808	65

1802	VALLE DELL'OGLIO	45,420	9,850	80
1826	SALO'	45,600	10,517	55
1851	GIUDICARIE	45,938	10,561	60
1879	GARGNANO	45,607	10,536	55
1882	ROVETTA	45,878	9,926	65
1884	PONTOGLIO	45,570	9,856	60
1892	GARDA OCC,	45,591	10,482	65
1898	SALO'	45,636	10,458	55
1901	SALO'	45,580	10,500	80
1918	LECCHESI	45,778	9,631	60
1918	SALO'	45,326	10,438	40
1919	BRESCIANO	45,656	10,245	40
1931	GIUDICARIE	45,973	10,665	60
1934	PISOGNE	45,800	10,100	55
1942	ARCO	45,916	10,882	60
1947	GARDONE TROMPIA	45,700	10,200	60
1948	BAZENA	45,900	10,400	50
1960	GIUDICARIE	45,806	10,625	60
1961	CAPRINO BERGAMASCO	45,717	9,567	60
1970	GAVARDO	45,650	10,450	60
1976	RIVA DEL GARDA	45,894	10,799	70
1979	TREZZO SULL'ADDA	45,617	9,467	
1987	GARDA	45,722	10,661	60

6.2. STIMA DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA

Fattori geomorfologici e stratigrafici locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico, filtrando le onde nel passaggio dal bedrock (o dal bedrock-like) alla superficie..

Una prima valutazione può essere fatta con il metodo degli scenari di Barosh (1969), il quale rientra fra quelli di livello I secondo la definizione data nel Manuale Internazionale TC4. Si tratta di una metodologia semplificata che fornisce una valutazione esclusivamente qualitativa basata sulle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito.

Il metodo propone ventisei scenari geologici, scelti fra i più diffusi, distinti in base alle loro caratteristiche litologiche, idrogeologiche e geomorfologiche. Ad ognuno di loro corrisponde un intervallo d'incremento d'intensità sismica.

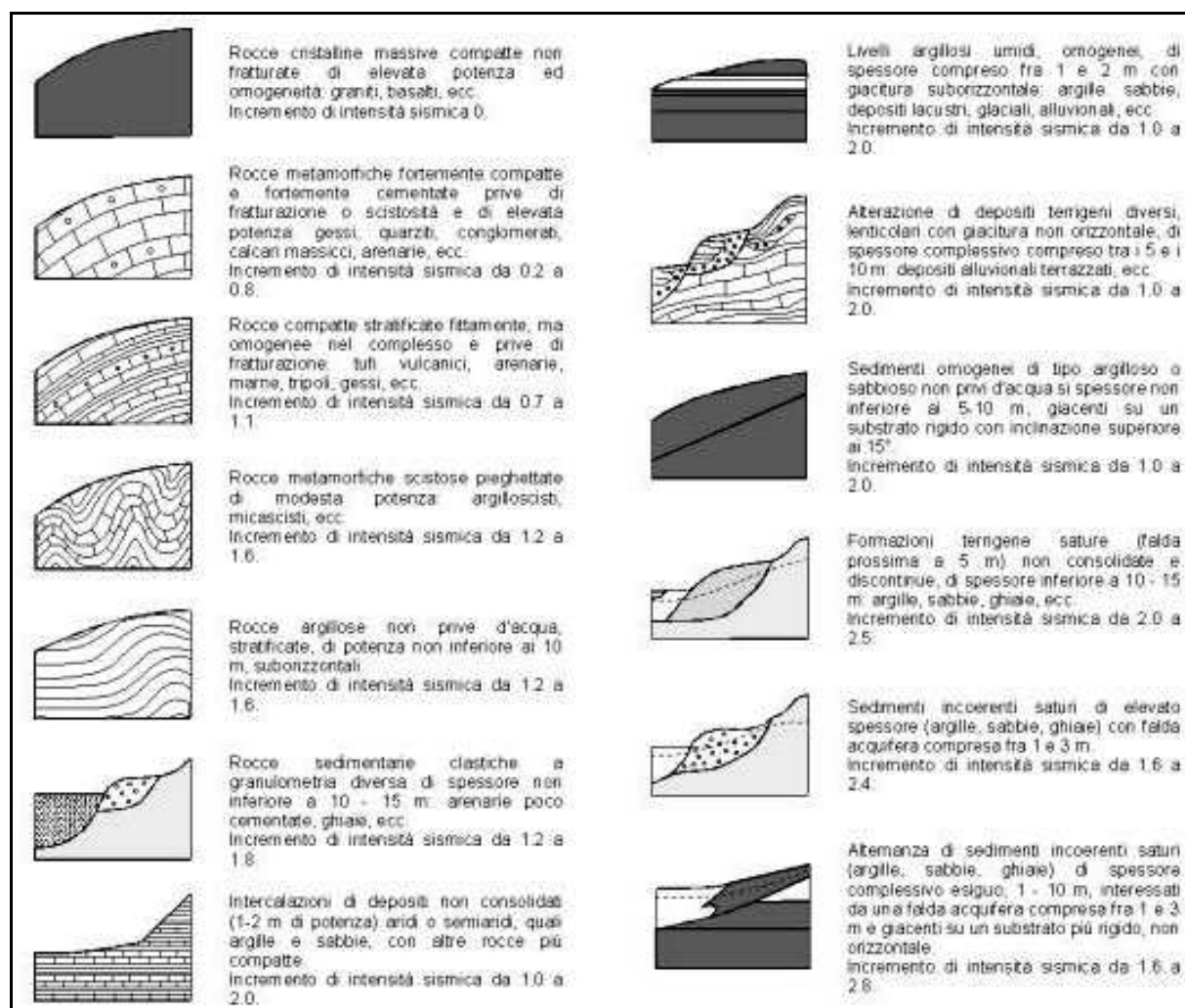


Figura 6: scenari di Barosh

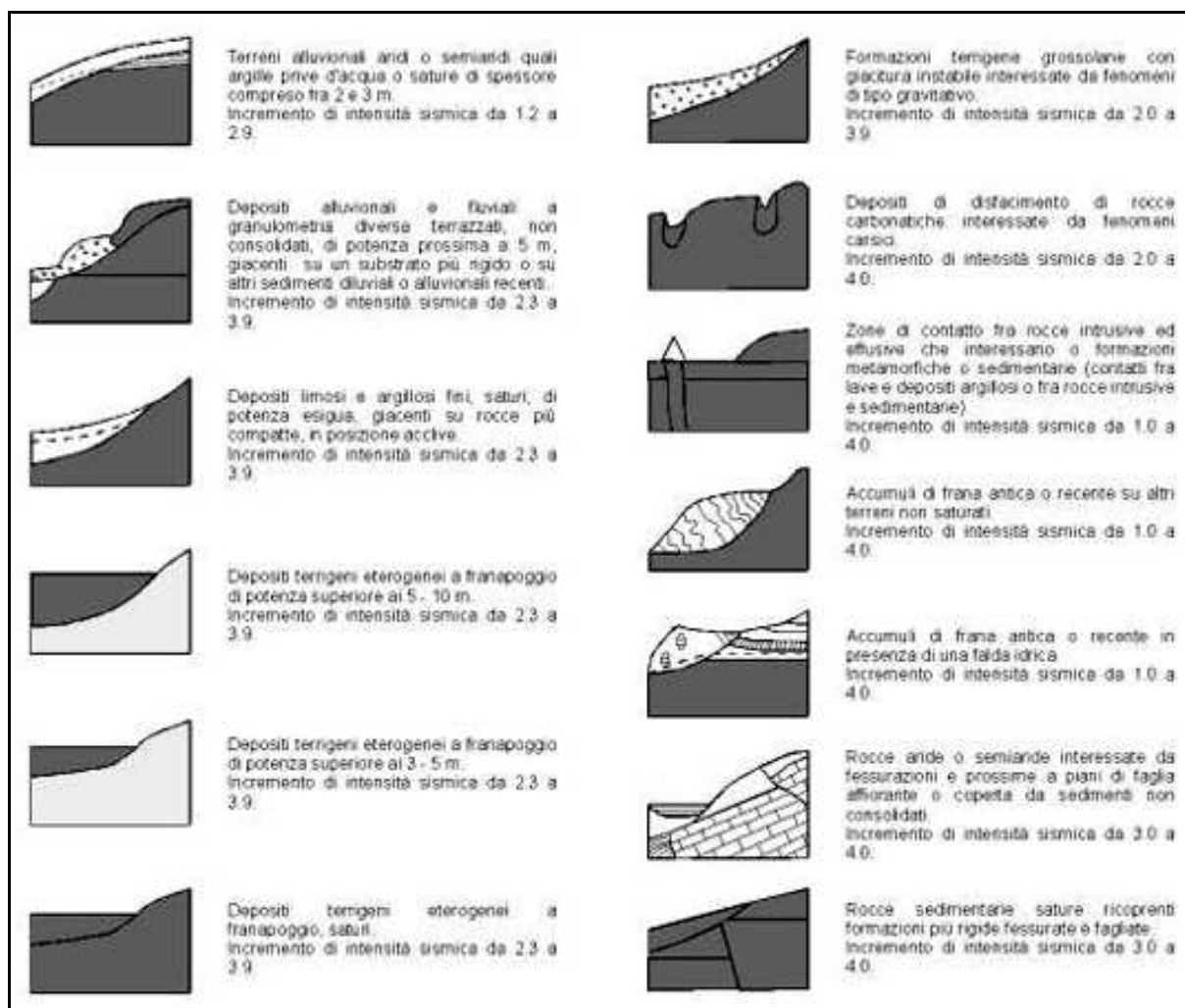


Figura 7: scenari di Barosh

La stratigrafia di Azzano prevede terreni di copertura ghiaioso-sabbiosi, con intercalazioni limoso-argillose nei pressi della superficie, fino a 20/25 metri di profondità cui seguono conglomerati più o meno cementati. Piccole variazioni si riscontrano nel settore nord-ovest per la presenza di limi d'esondazione.

Le leggere differenze riscontrabili non sono tali da determinare una zonazione del territorio, il quale rientra interamente nello scenario delle "rocce sedimentarie clastiche a granulometria diversa di spessore non inferiore a 10-15 m; arenarie poco

cementate, ghiaie, ecc." cui corrisponde un incremento d'intensità sismica variabile da 1,2 a 1,8.

Queste considerazioni sono puramente orientative della situazione generale del territorio comunale. Qualsiasi stima dell'amplificazione sismica locale finalizzata all'esecuzione di strutture dovrà basarsi su misurazioni strumentali della Vs media per i primi 30 metri secondo quanto previsto dall'Ordinanza 3274.

6.3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO

Le unità litologiche presenti nel comune di Azzano sono, secondo il lavoro "Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia" (1996), elaborato dal Settore Ambiente ed Energia del Servizio Geologico della Regione Lombardia e dall'Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico del C.N.R.:

- Depositi alluvionali sciolti a prevalente tessitura ghiaioso-sabbiosa, con orizzonti più o meno cementati;
- Depositi prevalentemente limosi, o limoso-sabbiosi, o limosi debolmente argillosi, con intercalazioni sabbiose, sabbioso-ghiaiose o argillose;
- Depositi limoso-argillosi.

Secondo tale elaborato, a queste unità corrispondono i parametri elencati nelle tabelle seguenti.

Tabella 13: principali caratteristiche geotecniche attribuibili alle unità litotecniche individuate (Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia" - 1996)

Unità litotecnica	peso di volume γ (kN/m ³)	densità relativa D_r (%)	angolo di resistenza al taglio ϕ' (°)	resistenza al taglio non drenata C_u (kN/m ²)	modulo di Young E_{50}/E_u (bar)
Ghiaie e ghiaie sabbiose	19-20	80-100	40-48		400-800
Terreni misti (granulari e coesivi)	18-19	40-100	28-38		150-300

Terreni coesivi (F1)					
da 0 a 10 m	18-19	-	-	30-100	200-600
profondità > 10 m	18-19	-	-	100-200	600-800

Tabella 14: valori di velocità delle onde longitudinali V_p e delle onde di taglio V_s (Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia" - 1996)

unità litotecnica	Velocità onde longitudinali V_p (m/s)	velocità onde di taglio V_s (m/s)
Ghiaie e ghiaie sabbiose	1.600-2.500	400-800
Terreni misti (granulari e coesivi)	800-1.800	250-500
Terreni coesivi (F1): a) da 0 a 10 m b) profondità > 10 m	500-1.000 1.200-2.200	150-300 250-500

6.4. VARIAZIONE DELLA RESISTENZA AL TAGLIO

In terreni incoerenti molto addensati ($D_r > 70\%$) sottoposti, in conseguenza di un'azione sismica, a sollecitazioni di taglio si può verificare un aumento di volume (dilatanza) accompagnato da diminuzione della densità relativa e dell'angolo d'attrito (ϕ).

In terreni di fondazione parzialmente o totalmente coesivi, è stato dimostrato (Carrol, 1963) che l'azione sismica non produce variazioni negative nelle caratteristiche meccaniche.

Nel territorio comunale sono presenti terreni suscettibili di fenomeni di dilatanza, secondo quanto appena descritto, ad esclusione delle sottili coperture loessiche presenti nel settore nord-ovest. Considerando che le opere di fondazione, in linea di massima, andranno ad insistere sui sottostanti livelli incoerenti in tutto il territorio, dovrà essere valutata caso per caso.

6.5. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Si tratta di un fenomeno che interessa i depositi sabbiosi saturi.

Durante una sollecitazione sismica sono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie. Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione quando la scossa sismica produce un numero di cicli tale che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento.

In un terreno si può verificare liquefazione quando sussistono le seguenti condizioni:

- sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile generalmente dallo 0 al 25%;
- presenza di falda;
- scarso o medio addensamento;
- profondità relativamente bassa (di solito inferiore ai 15 metri).

Poiché la prima falda freatica in Azzano si trova a profondità superiori a 50 metri, si può escludere che questo fenomeno si possa verificare, salvo il caso, valutabile volta per volta, di presenza locale di falde sospese a bassa profondità.

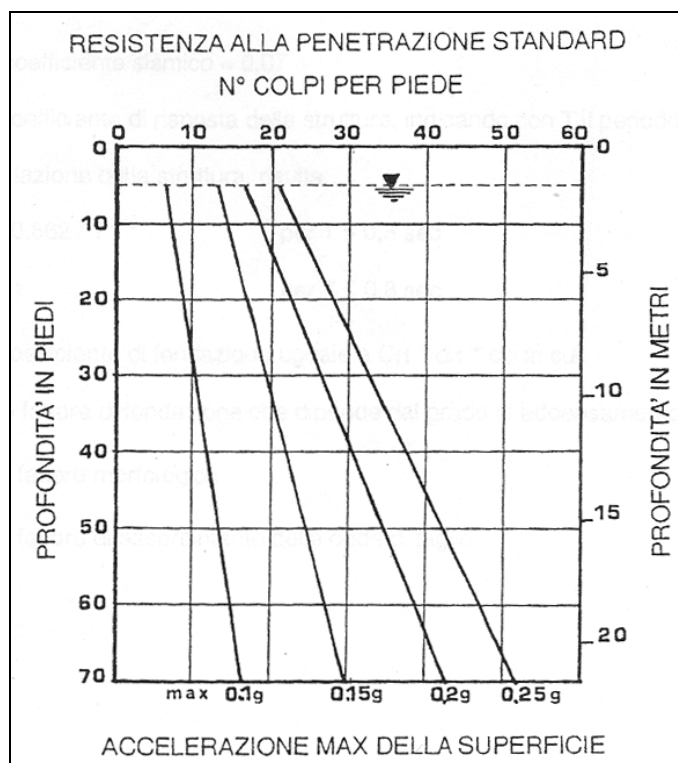


Figura 8: valore della resistenza alla penetrazione standard al di sopra del quale è improbabile che si verifichi la liquefazione (Seed & Idriss)

7. GEOMORFOLOGIA

Il territorio di Azzano San Paolo appartiene alla Pianura Bergamasca, in un'area stabile situata a ovest dei terrazzi fluviali del fiume Serio.

Per quanto riguarda i criteri adottati per la stesura della Carta Geomorfologica, alla scala 1:5.000, la lavorazione ha richiesto le seguenti fasi:

- ricerca bibliografica;
- rilevamento sul terreno delle emergenze morfologiche;
- analisi dei dati topografici disponibili (CTR, rilievi aerofotogrammetrici dei comuni di Bergamo e Azzano San Paolo): ciò ha permesso, considerando che i rilievi sono stati eseguiti a distanza di oltre 10 anni, di evidenziare il recente impatto antropico fra cui gli scavi e i rinterri;
- elaborazione digitale dei punti quotati del rilievo aerofotogrammetrico comunale, impiegando come interpolatore il kriging, e producendo una mappa contour (con equidistanza di 1 metro) e una shadow relief map.

7.1. CONFIGURAZIONE GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO

La geomorfologia della zona rispecchia le differenti dinamiche morfogenetiche che si sono succedute nei tempi geologici. L'impronta principale è dovuta ai processi fluviali e fluvioglaciali che hanno modellato l'intera superficie durante il Quaternario fino al periodo attuale.

Sono presenti alcuni dossi fluviali, prevalentemente nel settore est, ben spiegabili con il modello genetico descritto nel capitolo relativo alla geologia del territorio. In effetti, i dossi rappresentano le "isole" che si trovavano fra i vari rami degli scaricatori fluvioglaciali rappresentati da paleoalvei di tipo "braided". Si tratta evidentemente di forme relitte, identificabili solamente attraverso l'analisi digitale.

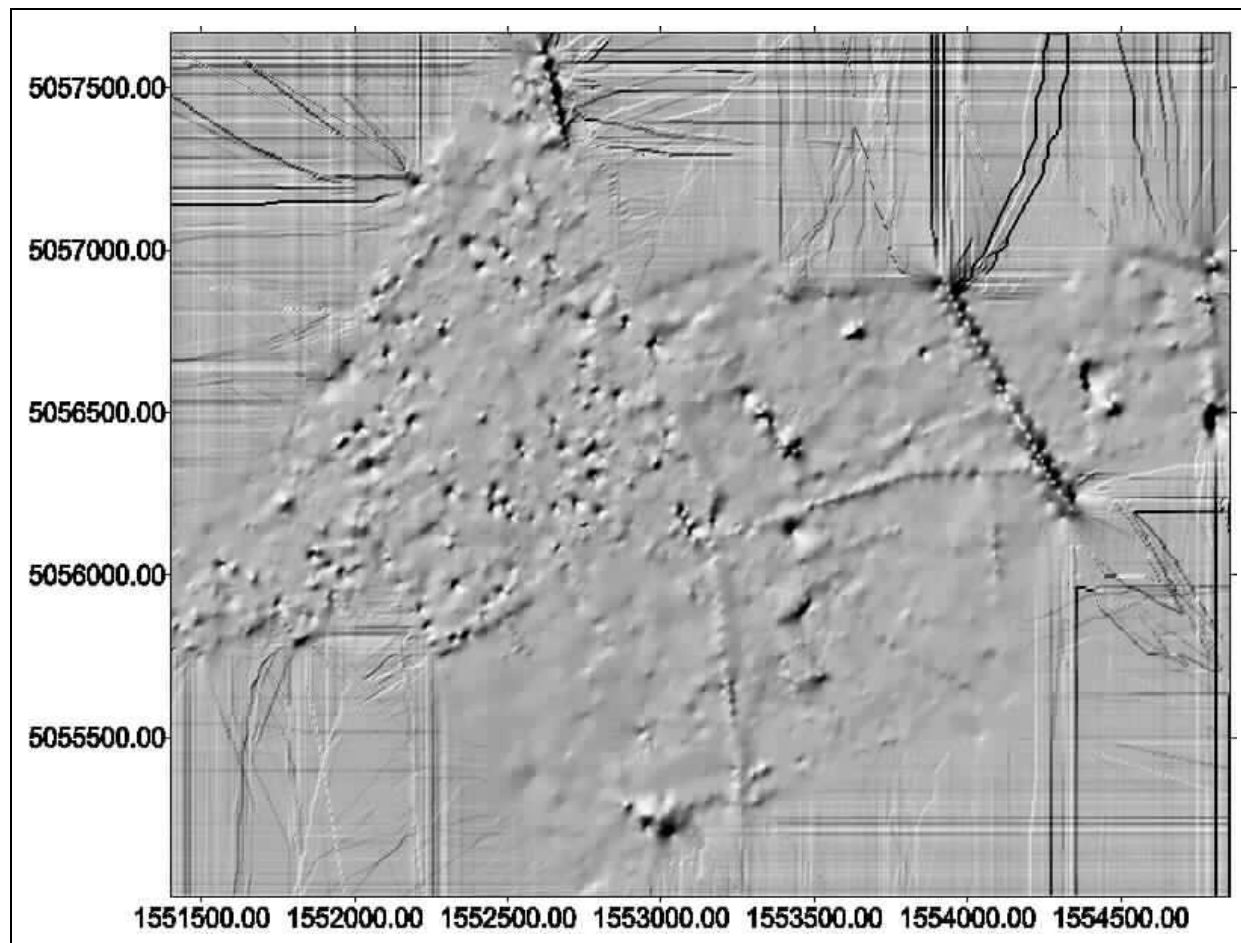


Figura 9: modello tridimensionale del comune di Azzano San Paolo

7.1.1. Descrizione delle unità morfologiche

Il territorio comunale è stato suddiviso in aree, ognuna delle quali è caratterizzata da un processo evolutivo prevalente. Ovviamente, ciò non esclude che, in forma minore, possano essere attivi anche processi diversi da quello caratterizzante.

AREE URBANIZZATE

Sono ubicate su gran parte del settore a destra del Torrente Morla (centro abitato) e nelle aree produttive a sinistra del torrente stesso. Diversi sono i fattori intervenuti, o tuttora attivi, di modificazione del territorio di Azzano San Paolo.

Predominano i fattori antropici fra cui si indicano:

- irregimentazione delle acque mediante rogge e piccoli canali;
- espansione edilizia con asportazione del suolo, cancellazione totale o parziale dei lineamenti morfologici naturali (piccole scarpate o dossi), tombinatura della rete idrica per lunghi tratti;
- formazione di microrilievo dovuto ad accumulo di materiale di riporto, formazione di depressioni per scavi, messa in opera di terrapieni per rilevati stradali.

AREE DI PERTINENZA FLUVIALE

In quest'unità è stato inserito, per intero, l'inciso del Torrente Morla. Si tratta di una fascia depressa di 4/5 metri rispetto alle aree circostanti, all'interno della quale si verificano processi morfogenetici caratteristici.

L'area è delimitata da scarpate d'erosione molto acclivi, colonizzate dalla vegetazione, per alcuni tratti rivestite. Non si verificano fenomeni di erosione spondale, considerato la bassa velocità della corrente fluviale, le moderate portate e, soprattutto, l'andamento planimetrico pressoché rettilineo che favorisce il mantenimento del filo della corrente a centro alveo.

In alcuni punti la scarpata è suddivisa in due ordini di terrazzo almeno parzialmente legati ai lavori di irregimentazione e derivazione delle acque.

In corrispondenza della Chiesa dei Morti, il profilo longitudinale del torrente è interrotto da un piccolo salto artificiale del fondo, avente altezza di circa 1 metro.

All'interno di questa fascia si verificano attualmente moderati fenomeni di trasporto al fondo di materiale avente dimensione massima delle ghiaie.

AREE STABILI

Si tratta di tutte le aree non comprese nella fascia fluviale e attualmente non urbanizzate. Sono collocate soprattutto nella parti sud ed est del territorio comunale.

Sono aree stabili dove non sono attivi fattori morfologici dominanti. Appartenendo al L.F.d.P. sono sede esclusivamente di forme relitte, residuo dell'attività degli scaricatori fluvioglaciali pleistocenici.

Si riscontra la presenza di dossi, piccole ondulazioni e aree intermedie fra i dossi fluviali che rappresentavano le antiche tracce degli scaricatori. La direzione dei lineamenti individuati è NNE-SSO.

La presenza di tracce di centuriazione, rinvenibili nei settori scarsamente antropizzati, è un'ulteriore prova della notevole stabilità di queste aree negli ultimi 2.000 anni.

8. IDROLOGIA

Il territorio comunale di Azzano San Paolo è attraversato da un reticolo idrografico ben sviluppato prevalentemente artificiale. I corsi d'acqua hanno subito nel tempo importanti interventi di regimazione, tombinatura e rettifica.

In linea di massima va evidenziato che la portata di tutti i corsi d'acqua, naturali o artificiali, è di difficile definizione perché fortemente influenzata dagli scarichi urbani eventualmente immessi e, per le rogge, dai consistenti prelievi durante la stagione irrigua.

TORRENTE MORLA

È l'unico corso d'acqua naturale presente e rappresenta il principale asse di drenaggio del territorio comunale. Attraversa il territorio da nord a sud segnando, per un tratto, il confine orientale. Nasce dal versante sud del Monte Canto Alto, in un contesto ricco di alimentazioni sorgentizie, dall'unione della Valle Baderen e della Valle Morla e, dopo aver attraversato la città di Bergamo con lunghi tratti tombinati, entra nel territorio di Azzano San Paolo.

La stima della lunghezza dell'asta torrentizia e dell'area del bacino sotteso è ardua, a causa della difficile definizione dei tratti tombinati nel comune di Bergamo e dell'incerta definizione degli spartiacque nel settore di pianura. Tuttavia si indica, per la sezione di ingresso nel comune di Azzano San Paolo, un bacino imbrifero di circa 25,3 Km² (Tempo di corrivazione secondo Giandotti = 2,47 ore). I principali parametri morfometrici del corso d'acqua sono riassunti nella seguente tabella.

Tabella 15: parametri morfometrici del bacino del Torrente Morla

BACINO	Quota massima	1146 m s.l.m. (Monte Canto Alto)
	Quota minima	216 m s.l.m. (Villaggio Sereno)
ASTA	Lunghezza	14,9 Km (in entrata di Azzano S.P.) 17,4 Km (in uscita di Azzano S.P.)
TRATTO IN AZZANO S.P.	Dislivello	16,9 m
	Inclinazione media	3,8‰

Relativamente al regime delle portate, dopo la realizzazione, all'inizio degli anni novanta, del canale scolmatore delle acque a sud dell'abitato di Bergamo, il Torrente Morla convoglia portate dell'ordine di 10 m³/s, compatibili con le caratteristiche idrauliche dell'alveo.

La tabella 16 è ricavata da "La qualità dei corsi d'acqua della Provincia di Bergamo", integrandola con rilevazioni successive.

Tabella 16: parametri Torrente Morla (stazione di Bergamo)

CAMPAGNA	PORTATA (l/s)	TEMP. ACQUA (°C)	TEMP. ARIA (°C)	SOLIDI SEDIMENTABILI (ml/l)	SOLIDI SOSPESI (mg/l)
Mag-94	2585	13,9		< 0,1	
lug-94	210	20,6		0,1	
ott-94	2160	11,9		0,2	
dic-94	1061	9,4		0,2	
dic-95	565	6,6	6	< 0,1	6,8
Apr-96	2187	8,7	8	0,1	32,1
lug-96	907	17,2	25	< 0,1	< 1
set-96	576	12,9	18	< 0,1	3
dic-96	1490	6	7,8	< 0,1	2
Apr-97	1551	9,9	12,6	0,1	22
lug-97	1053	13,9	21,3	< 0,1	< 10
set-97	217	13,2	15,8	< 0,1	< 10
dic-97	123	7,4	4,1	< 0,1	< 10
apr-98	1795	7,2	8,4	< 0,1	15
lug-98	1213	16,2	22,5	< 0,1	< 10
set-98	304	12	14	0,2	17
dic-98	582	5,9	3,5	< 0,1	< 10
apr-99	239	10,6	12,8	< 0,1	< 1
lug-99	1048	15,4	22,4	< 0,1	2

ott-99	619	10,5	12,2	< 0,1	9
nov-99	1004	5,5	7,2	< 0,1	7

Dai dati si ricava il seguente grafico, il quale evidenzia un marcato andamento stagionale delle portate con un evidente massimo primaverile. Va comunque tenuto presente che si tratta di una valutazione, dal punto di vista quantitativo, di scarsa attendibilità statistica a causa del ridotto numero di misure disponibili.

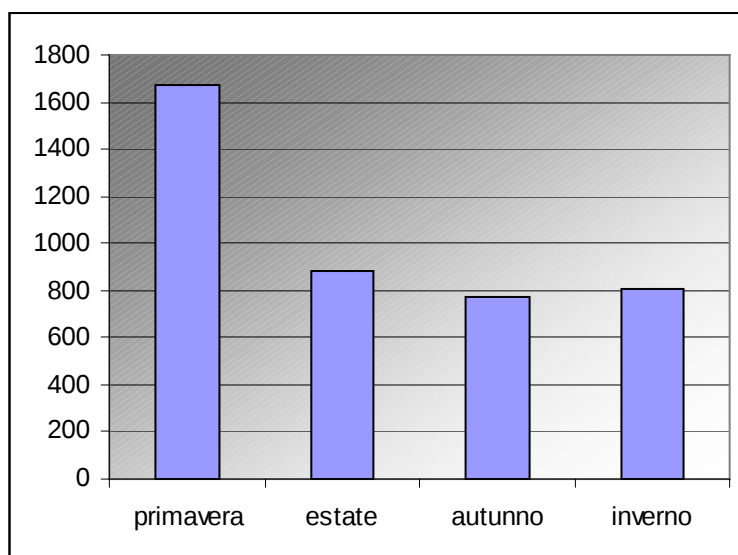


Figura 10: andamento stagionale delle portate del Torrente Morla (Bergamo)

LE ROGGE

Il territorio comunale è attraversato da una rete di canali d'irrigazione, di cui i più importanti sono i seguenti:

- Roggia Guidana nel settore ovest del comune;
- Roggia Vecchia lungo il confine con Orio al Serio e in corrispondenza del centro abitato;

- Roggia Nuova divisa in alcuni rami, di cui una segna il confine a nord con Bergamo, uno scorre alla sinistra del Morla, un altro alla destra del Morla, e un altro ancora nel settore di Cascina Portico;
- Roggia Urgnana lungo il confine est con Zanica.

I corsi d'acqua non presentano in genere situazioni critiche dal punto di vista idraulico. Da *"Rilievo e verifica della rete di fognatura e dei corsi d'acqua naturali"* del comune di Azzano, eseguita dallo Studio Associato di Ingegneria Borra e Locatelli di Bergamo, si ricavano i seguenti elementi:

- le rogge Guidana e Nuova svolgono anche la funzione di ricettori delle acque meteoriche di alcune tombinature e stradali;
- la Roggia Nuova sottopassa a sifone la Roggia Guidana in corrispondenza dell'incrocio tra la S.S. Cremasca e via Bergamo, ciò richiede interventi di manutenzione per evitare reciproche interferenze con rischio di esondazioni;
- la Roggia Vecchia potrebbe creare problemi di esondazione lungo viale Papa Giovanni qualora venissero superate le portate massime di immissione in corrispondenza dell'incrocio con il Torrente Morla dove viene sfiorato l'eventuale supero;
- la Roggia Urgnana non presenta particolari problematiche idrauliche.

Il reticolo idrografico è completato da fossi irrigui derivati dalle rogge principali.

9. IDROGEOLOGIA

L'indagine delle caratteristiche idrogeologiche del territorio di Azzano San Paolo ha richiesto l'analisi di:

- dati bibliografici e cartografici esistenti;
- misurazione dei livelli di falda nei pozzi accessibili;
- valutazione finale dei risultati.

Va segnalato che il ridotto numero di pozzi censiti sul territorio comunale, o in prossimità dello stesso, non permette una valutazione di dettaglio delle piezometrie: acquistano quindi importanza gli studi di inquadramento reperibili nella bibliografia geologica.

Tabella 17: pozzi nel territorio comunale

Numero	Titolare	Via	Uso	m ³ /anno	Contatore	Stratigrafia	Note
1	Azienda Agricola F.lli Camozzi	per Grassobbio 11	Irriguo	9.633	SI	SI	
2	Azienda Orticola Fenili Carla & Figli s.s.	Don Gonella 14	Irriguo	20.000	NO	SI	
3	Azienda Agricola Rota Giovanni e Roberto	Cascina Portichetto 9	Irriguo/allev.	5.000	NO	SI	
4	Vini Pergreffi	Trieste			SI	SI	Chiuso
5	Ing. Gotti Claudio	Cremasca 100	Domestico			SI	
6	Tastex S.p.A.	Stezzano 18	Domestico	6.877	NO	SI	
7	Azienda Agricola Milesi Roberto e Claudio	I Maggio 23	Irriguo	1.266	SI	SI	

9.1. GEOMETRIA DEGLI ACQUIFERI

Dalla bibliografia è possibile definire la struttura geologica della Pianura Bergamasca, secondo la successione delle quattro unità geologiche di seguito schematizzate.

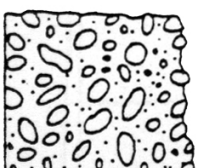
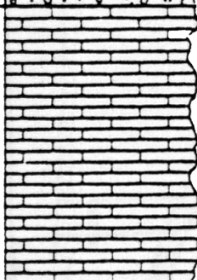
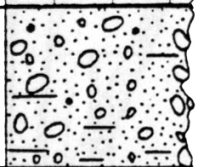
LITOLOGIA		TIPO DI FALDA
Ghiaia e sabbie		Libera
Conglomerati		Libera
Ghiaie e sabbie		In pressione
Argille		In pressione

Figura 11: serie idrogeologica tipo

Si distinguono:

1. Unità ghiaioso-sabbiosa, costituita da alluvioni recenti e attuali e da sedimenti fluvioglaciali würmiani. Si tratta di un mezzo permeabile che consente l'infiltrazione verso gli acquiferi profondi.

2. Unità a conglomerati con arenarie, ghiaie sciolte e sabbie (Ceppo). Presenta un acquifero molto produttivo (con valori di trasmissività anche dell'ordine di 40/50 l/s·m), il quale determina l'andamento piezometrico regionale.
3. Unità a ghiaie e sabbie, alternate con conglomerati e argille. È presente con discontinuità ed è interessata da falde in pressione.
4. Unità a prevalenti argille e limi con rare lenti di ghiaie e sabbie (Unità Villafranchiana). Costituisce una base impermeabile e contiene acquiferi profondi in pressione. La produttività è mediamente bassa, solitamente dell'ordine di 1 l/s·m.

In generale l'alimentazione degli acquiferi è situata nei settori più a nord fino agli apici delle conoidi, anche se per le falde libere sono presenti apporti per infiltrazioni diretta dalla superficie e scambi fra i corsi d'acqua e il relativo materasso alluvionale.

La geometria degli acquiferi presenti ad Azzano San Paolo è stata ricostruita attraverso due sezioni idrogeologiche la cui traccia è riportata sulla Carta Idrogeologica (Tavola 3).

SEZIONE A-A'

Si sviluppa in direzione nord-sud dall'Istituto di Arti Grafiche, nel comune di Bergamo fino al comune di Zanica.

Per l'intera sezione l'unità superficiale ghiaioso-sabbiosa ha spessore di circa 25 metri. Presenta frequenti intercalazioni di strati conglomeratici e argillosi, in rapide alternanze di litologie diverse, si nota, inoltre che gli strati argillosi acquistano particolare consistenza verso sud. L'unità conglomeratica ha spessori consistenti di 30/40 metri ed è seguita dall'unità a ghiaie e sabbie al cui interno si riconoscono alternanze di conglomerati e argille. Quest'ultima unità presenta spessori di 15/20 metri ed è caratterizzata da forte discontinuità laterale degli strati. Alla base della sezione appare l'unità ad argille e limi prevalenti.

SEZIONE B-B'

Si sviluppa da ovest ad est, dal comune di Stezzano fino al settore est del comune di Azzano San Paolo.

La prima unità idrogeologica ha spessore di circa 20 metri fino a un massimo di 25. I livelli argillosi diventano consistenti a profondità superiori a 13/15 metri come si può osservare in corrispondenza dei pozzi 1 e 6. Anche in questa sezione l'unità conglomeratica presenta spessori importanti, ma mostra una significativa diminuzione di spessore spostandosi da ovest verso est. L'unità a ghiaie e sabbie alternate con conglomerati e argille pur presentando spessori significativi (pozzo Stezzano) è marcatamente discontinua, fino a mancare completamente in corrispondenza del pozzo 6. Nella sezione è inoltre osservabile il notevole sviluppo della sottostante unità a prevalenti argille e limi, infatti nel pozzo 6 raggiunge spessori superiori a 75 metri.

9.2. PIEZOMETRIE

La Carta Idrogeologica ricostruisce le isopieze in base ai dati pubblici disponibili per questo settore della pianura.

Non è stato possibile elaborare un andamento locale delle curve isofreatiche a causa del limitato numero di pozzi presenti nel territorio comunale e della mancata accessibilità ad alcuni di loro, tanto che nel corso dei sopralluoghi è stato possibile misurare la soggiacenza solamente nei pozzi 3 e 5.

Tabella 18: livelli piezometrici (23 aprile 2003)

Pozzo	Soggiacenza	Quota piezometrica
3 (Azienda Agricola Rota)	63,08	159,5
5 (Ing. Gotti)	60,50	158,9

Le isopieze indicate nella Carta Idrogeologica sono tratte dai dati disponibili in letteratura su scala provinciale, si tratta perciò di dati puramente indicativi che non possono sostituire misurazioni dirette.

Gli elementi che si possono notare sono:

- il flusso idrico sotterraneo regionale è orientato grossomodo verso sud;
- la soggiacenza è superiore a 50 metri, oscillante in funzione degli apporti meteorici.

9.2.1. Oscillazioni del livello piezometrico

Nel grafico seguente sono correlati i valori di soggiacenza del pozzo 3 con le precipitazioni mensili rilevate alla stazione di Stezzano dell'Istituto Sperimentale di Cerealicoltura.

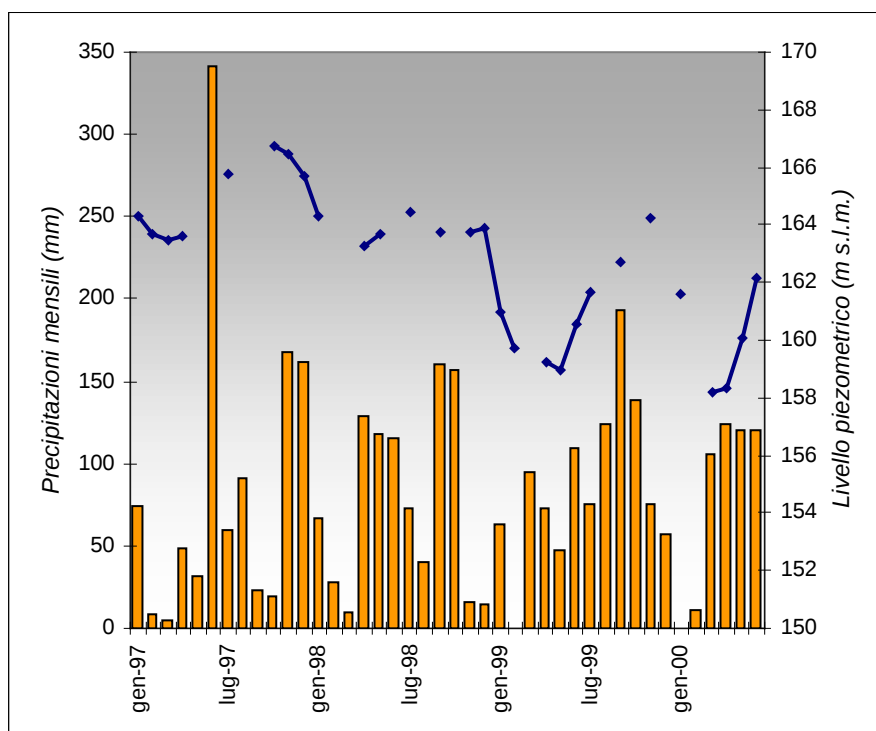


Figura 12: livello del pozzo 3 (linea discontinua blu) in relazione alle precipitazioni atmosferiche (istogramma)

Nel periodo considerato le variazioni del livello appaiono in chiara relazione con il regime pluviometrico. Il ritardo con cui si manifesta l'innalzamento della falda rispetto ai picchi pluviometrici potrebbe essere dovuto all'estensione fino al margine pedecollinare del bacino d'alimentazione. La soggiacenza varia da un minimo di 56,75 m (ottobre 1997) ad un massimo di 65,31 m (marzo 2000). L'escursione massima registrata è stata di 8,56 metri, mentre nel corso dell'anno ha raggiunto i 5,26 metri (1999).

9.3. PERMEABILITÀ DELLE COPERTURE

La Carta Idrogeologica riporta una stima della permeabilità dell'immediato sottosuolo. Questa si basa su una prova a carico variabile in pozzetto superficiale (1) e su una misurazione indiretta ricavata dalla granulometria contenuta nella relazione tecnica per l'ampliamento del cimitero (2). Successivamente, in base ai caratteri tessiturali dei terreni, sono stati estesi, in modo qualitativo, i risultati delle prove all'intero territorio comunale. È evidente che la stima della permeabilità è una valutazione di larga massima, non applicabile ai singoli casi, dove potrà essere utile eseguire delle prove specifiche in situ.

Tabella 19: prove di permeabilità

Misura	Permeabilità (m/s)
1	$1,75 \cdot 10^{-3}$
2	$2,21 \cdot 10^{-2}$

Dati ulteriori provengono dalle prove di portata eseguite in fase di collaudo dei pozzi 1 e 2. Queste hanno permesso una stima dei principali indici idrogeologici dei terreni profondi, i cui risultati sono riassunti nella tabella successiva.

Tabella 20: indici ricavati dalle prove di portata dei pozzi idrici

Pozzo	Permeabilità (m/s)	Tramissività (m ² /s)
1 (12-4-01)	$4,26 \cdot 10^{-3}$	0,012
2 (2-99)	$6,7 \cdot 10^{-4}$	0,014

In linea generale si tratta comunque di terreni a permeabilità medio-elevata di natura prevalentemente ghiaiosa. Sono presenti limitate coperture di limi o limi-argillosi di esondazione a permeabilità bassa, tuttavia queste coperture hanno spessore variabile da pochi decimetri fino a un massimo di 1,5 metri. A questi seguono terreni ghiaiosi che assicurano un buon drenaggio delle acque.

Va notato che l'Unità di Comun Nuovo ha matrice sabbiosa, ciò permette valori di K decisamente maggiori dell'Unità di Torre Boldone (a matrice limoso-sabbiosa), come confermano i risultati indicati nelle tabelle.

9.4. VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero esprime la facilità con cui un inquinante idroveicolato raggiunge la falda partendo dalla superficie topografica. La valutazione della vulnerabilità richiede la conoscenza di diversi elementi: le geometrie ed i parametri idraulici delle unità costituenti il sottosuolo; i meccanismi di alimentazione delle falde; i processi di interscambio tra l'inquinante, il non saturo, l'acquifero e le falde.

Basandosi su elementi non sempre di facile acquisizione e la cui importanza può essere variamente stimata, alcuni autori hanno proposto metodologie di calcolo

basate su pochi parametri significativi. Fra queste è stato scelto il metodo D.R.A.S.T.I.C., tenendo presente che la pochezza dei dati disponibili per alcuni parametri impiegati fa in modo che la definizione delle classi di vulnerabilità abbia valore di inquadramento.

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

Il metodo impiegato è un modello empirico sviluppato negli anni ottanta (Aller et alii 1987), noto con la sigla D.R.A.S.T.I.C. Prende il nome dalle iniziali dei sette parametri idrogeologici utilizzati per la valutazione della vulnerabilità dell'acquifero:

- soggiacenza (Depth to water table), dove una bassa soggiacenza dà elevata possibilità che il contaminante raggiunga la falda;
- alimentazione (net Recharge), rappresenta la quantità d'acqua per unità d'area che percola fino all'acquifero: maggiore è la ricarica maggiori sono le possibilità di contaminazione;
- tessitura del saturo (Aquifer media), determina la mobilità del contaminante attraverso il terreno: un incremento del tempo di necessario all'inquinante per muoversi nel terreno attenua l'effetto contaminante;
- tessitura del suolo (Soil media), le sue caratteristiche influenzano la quantità d'acqua che percola fino all'acquifero, infatti suoli argillosi o limosi hanno la capacità di trattenere l'acqua incrementando il tempo di raggiungimento dell'acquifero;
- acclività (Topography slope), maggiore è l'acclività minori sono le possibilità d'infiltrazione;
- tessitura del non saturo (Impact of the vadose zone), influenza il tempo necessario al contaminante per raggiungere l'acquifero;
- conducibilità idraulica (Conductivity hydraulic of the aquifer), determina la velocità con cui l'acqua si muove nell'acquifero.

La soggiacenza e l'alimentazione sono considerati parametri dinamici essendo mutevoli nel tempo, mentre l'acclività, descrivendo la morfologia del territorio, la tessitura del saturo, del suolo, del non saturo e la conducibilità idraulica, descrivendo proprietà fisiche del terreno, sono parametri statici.

A ogni fattore si assegna un valore (variabile da 1 a 10) e un peso basato sul suo relativo significato nel potenziale d'inquinamento (variabile da 1 a 5).

Tabella 21: peso dei valori per l'indice D.R.A.S.T.I.C. (condizioni normali, senza uso di prodotti chimici, condizioni agricole con uso di diserbanti e pesticidi)

Parametro	condizioni normali	condizioni agricole
Soggiacenza (D)	5	5
Alimentazione (R)	4	4
Tessitura del saturo (A)	3	3
Tessitura del suolo (S)	2	5
Acclività (T)	1	3
Tessitura del non saturo (I)	5	4
Conducibilità idraulica (C)	3	2

L'indice D.R.A.S.T.I.C. è ottenuto dalla somma dei prodotti di ogni valore per il relativo peso. Maggiore è l'indice ricavato, maggiore è la vulnerabilità. La formula è la seguente:

$$D.R.A.S.T.I.C. = Dr \cdot Dw + Rr \cdot Rw + Ar \cdot Aw + Sr \cdot Sw + Tr \cdot Tw + Ir \cdot Iw + Cr \cdot Cw$$

dove:

Dr = Valore per la soggiacenza

Dw = Peso assegnato alla soggiacenza

Rr = Valore per l'alimentazione

Rw = Peso per l'alimentazione

Ar = Valore assegnato per la tessitura dell'acquifero

Aw = Peso assegnato alla tessitura dell'acquifero

Sr = Valore per la tessitura del suolo

Sw = Peso per la tessitura del suolo

Tr = Valore per l'acclività

Tw = Peso assegnato all'acclività

Ir = Valore assegnato alla tessitura del non saturo

Iw = Peso assegnato alla tessitura del non saturo

Cr = Valore per la conducibilità idraulica

Cw = Peso per la conducibilità idraulica.

DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI

Tessitura del suolo: è stata ricavata dalla carta pedologica dell'ERSAL attribuendo i valori del seguente schema.

Unità cart.	Tessitura	Valore
STZ1	Franco limoso	4
	Franco sabbioso	6
MNS1	Franco/franco argilloso	4
MNS1/TAG1	Franco/franco sabbioso	6
FNT2	Franco	5
V	Assente	10

Tessitura del non saturo e del saturo: è stata valutata dalle stratigrafie disponibili secondo lo schema: Limo/argilla: 2-6; Sabbia e ghiaia con fine significativo: 4-8; Sabbia e ghiaia: 6-9.

Acclività: è stata valutata in base ai dati desumibili dalle carte topografiche, attribuendo 10 a pendenze inferiori al 2% e 1 alle aree di scarpata.

Conducibilità idraulica: ricavata in base a grafici disponibili in letteratura e applicando la formula di Thiem-Dupuit. È stato attribuito un valore univoco di 8.

Soggiacenza: ricavata dalla Carta Idrogeologica, essendo sempre superiore a 50 metri, ha dato come risultato 10.

Alimentazione dell'acquifero freatico: valutando mediante la formula di Turc l'evapotraspirazione reale, si è stimato un valore di 6 esteso all'intero territorio comunale.

9.4.2. Risultati

Sono presenti le classi medio-alta, medio-bassa e bassa, sia si prendano in considerazione le condizioni normali, sia nel caso di uso di pesticidi. La loro distribuzione è determinata principalmente dalle caratteristiche tessiturali del suolo o dall'assenza di esso e dalle condizioni topografiche. In effetti la massima vulnerabilità si ha laddove l'intensa urbanizzazione ha provveduto ad eliminare il fattore di protezione dato dalla copertura limosa o limoso argillosa superficiale.

La classe medio-alta è presente nelle aree urbanizzate, ad eccezione del settore nord-ovest, dove sono presenti limi di esondazione con spessore tale da assicurare una maggiore protezione. Hanno vulnerabilità medio-bassa i rimanenti settori pianeggianti con presenza di suoli sottili e medio-grossolani e con tessitura del non saturo ghiaiosa. Piccoli lembi con vulnerabilità intrinseca bassa si trovano in corrispondenza delle scarpate maggiormente estese.

Poiché il principale elemento discriminante è l'azione protettiva del suolo, le opere superficiali hanno effetto sugli acquiferi in funzione della classe locale di vulnerabilità, mentre opere profonde (per es. pozzi idrici) faranno risentire i loro effetti indipendentemente dall'area in cui si trovano.

Ovviamente, questa suddivisione in classi di vulnerabilità intrinseca è suscettibile di cambiamenti in funzione delle attività antropiche che possono modificare rapidamente uno o più parametri impiegati nell'indice D.R.A.S.T.I.C.

9.4.3. Elementi di vulnerabilità

La valutazione della vulnerabilità integrata considera, oltre alle caratteristiche intrinseche citate nei paragrafi precedenti, la pressione antropica e soprattutto la presenza di produttori reali o potenziali d'inquinamento. Pertanto, in carta sono stati rappresentati i seguenti elementi:

- **condotte fognarie:** rappresentano dei centri di pericolo per l'eventuale presenza di perdite accidentali dovute a deterioramento dell'impermeabilizzazione del fondo o per cattiva esecuzione di tratti della rete;
- **distributori di carburanti:** possibilità di sversamenti accidentali o di perdite per cattiva tenuta delle cisterne interrate;
- **strade di grande traffico:** potenzialmente inquinanti per sversamenti accidentali in caso d'incidente e per l'utilizzo di sale e sabbia con funzione antighiaccio che causa un aumento della concentrazione dei cloruri nelle acque sotterranee;
- **aree con riduzione del non saturo:** la riduzione dello spessore della zona non satura e la completa mancanza di suolo, possono favorire l'infiltrazione di inquinanti idroveicolati.

Ulteriori elementi di vulnerabilità sono rappresentati da insediamenti produttivi, fra cui ritenuti a rischio sono:

- officine meccaniche, carpenterie metalliche, galvaniche, elettromeccaniche, fonderie;
- chimiche, farmaceutiche ed assimilabili;
- autotrasporti, depositi automezzi;
- depositi carburanti, autolavaggi;
- autofficine, carrozzerie, rottamazione;
- tintorie tessuti, candeggio, pelletterie;
- lavorazioni carni;
- litografie, stamperie;

- allevamenti zootecnici e aziende agricole;
- falegnamerie.

Le analisi idrochimiche rilevate dall'Assessorato Ecologia della Provincia di Bergamo (settore acque) (dal 1970 al 1990) e del Dipartimento per la Provincia di Bergamo dell'A.R.P.A. (fino a gennaio 2002, indicano la presenza di un pennacchio interessato da inquinamento della falda nel settore ovest del territorio comunale. Quest'area ha andamento grossomodo nord-sud, secondo l'andamento delle linee di flusso regionali, ed è rappresentata nella Carta Idrogeologica con apposita campitura.

10. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

La classificazione del territorio su base geologico-tecnica si basa su dati derivanti da:

- scavi edili in corso;
- stratigrafie di pozzi idrici;
- indagini geognostiche disponibili.

Tabella 22: indagini geognostiche e stratigrafie disponibili

Località	Area	Indagini
Cimitero (comune di Bergamo)		S1, H1, H2, Granulometria
Tastex S.p.A.	Li1	Pz6
Via delle Pezze alle Murere	Li1	S2, S3, S4
Scuola materna	Li1	H3, H4, H5, H6
Semaforo via Trieste	Gh	H7, H8, H9, H10
Vinicola Pergreffi (via Trieste)	Gh	Pz4
Via Galilei	Li1	Sf2
Azienda Agricola F.lli Camozzi	Gh	Pz1
Azienda Orticola Fenili	Gh	Pz2
Azienda Agricola Rota	Gh	Pz3
Ing. Gotti Claudio	an	Pz5
Azienda Agricola Milesi	Gh	Pz7
Via Folzoni	Gh	Sf1
Via Cremasca	Gh	S5
Via Murere e Bettolino	Gh	Sf3
Via per Grassobbio	Gh	H11, H12

La sovrapposizione dei dati geologico-tecnici alle carte geolitologica e pedologica permette di elaborare la Carta Geologico-tecnica, compilata alla scala 1:2.000, con finalità geologico applicative. Questo elaborato rappresenta tutti gli elementi che hanno influenza sulle condizioni di stabilità del territorio esaminato. I dati rappresentati riprendono gli elementi delle carte di inquadramento aggiungendo alcuni dettagli non cartografabili a scala minore.

Gli elementi rappresentati sono: elementi geomorfologici significativi, substrato e copertura distinti su base litologica, caratteristiche geotecniche fondamentali e ubicazione delle indagini svolte.

10.1. ZONAZIONE DEL TERRITORIO

L'elaborazione dei dati a disposizione ha permesso la definizione di cinque aree con caratteristiche morfologiche, litologiche e geotecniche omogenee.

AREE AN

Caratteri morfologici: sono formate da consistenti accumuli antropici con formazione di microrilievo artificiale; non sono presenti fenomeni di instabilità.

Litologia: non è possibile definire una litologia prevalente, derivando da accumulo di materiale di risulta di scavi o di edilizia.

Aspetti geologico-tecnici: in generale non è presente materiale coesivo, di conseguenza le caratteristiche di resistenza dipendono dallo stato di addensamento dei grani costituenti.

AREE FL

Caratteri morfologici: si tratta dell'area di pertinenza del Torrente Morla e, pertanto, è caratterizzata da scarpate acclivi che limitano uno stretto solco; il corso d'acqua ha andamento pressoché rettilineo e non presenta significativi fenomeni di erosione

spondale avendo tratti regimati e sezione circa costante; in prossimità della Chiesa dei Morti è presente un piccolo salto di fondo.

Litologia: sono presenti lenti discontinue con spessore solitamente inferiore a un metro di ghiaie discretamente selezionate prive di matrice; dove non sono presenti depositi fluviali affiorano le stesse litologie delle aree pianeggianti circostanti.

Aspetti geologico-tecnici: i depositi fluviali sono ghiaie sciolte, irrilevanti dal punto di vista geotecnico, considerato lo spessore complessivo raggiunto.

AREE LI1

Caratteri morfologici: piana fluvioglaciale con morfologia a dossi appena accennati, l'intensa urbanizzazione tende ad obliterare quasi completamente le forme originarie.

Litologia: in superficie è presente una copertura di limi d'esondazione con spessore generalmente non maggiore di 2 metri, decrescente verso sud, la cui litologia prevede limi argillosi rossicci inglobanti ghiaia; seguono strati di ghiaia in matrice sabbiosa con una certa componente limosa bruna, sono tuttavia presenti a diverse profondità strati limosi, sabbiosi e conglomeratici.

Aspetti geologico-tecnici: il materiale superficiale ha comportamento parzialmente coesivo e bassa resistenza meccanica, il comportamento dei livelli inferiori varia da luogo a luogo in funzione della profondità, dello spessore e della resistenza delle numerose intercalazioni.

AREE LI2

Caratteri morfologici: piana fluvioglaciale situata in corrispondenza di un dosso fluviale relitto;

Litologia: in superficie è presente una copertura di argilloso-limosi con spessore variabile da 1,5 a 2,5 metri; inferiormente sono presenti ghiaie ben addensate con strati conglomeratici più o meno continui; i dati disponibili non permettono di

stabilire la presenza di strati fini coesivi al di sotto dei primi livelli ghiaiosi. Possibile presenza di un paleosuolo a profondità comprese fra 3/3,5 metri e 10 metri derivante dalla pedogenesi dell'Unità di Torre Boldone.

Aspetti geologico-tecnici: il materiale superficiale ha comportamento prevalentemente coesivo e bassa resistenza meccanica, al di sotto le ghiaie presentano elevata resistenza meccanica e sono presenti livelli conglomeratici che, se dotati di continuità laterale e spessore sufficiente si possono comportare da platea naturale. Possibile presenza di strati a bassa resistenza a situati a profondità interagenti con le opere di fondazione.

AREE GH

Caratteri morfologici: piana fluvioglaciale con rari dossi.

Litologia: sotto suoli mediamente sottili, presenza di ghiaie con matrice sabbiosa, fino a una profondità di circa 6/8 metri, successivamente ghiaie in matrice limosa; sono presenti frequentemente strati di conglomerato; i dati disponibili non permettono di stabilire la presenza di strati fini coesivi al di sotto dei primi livelli ghiaiosi. Possibile presenza di un paleosuolo a profondità comprese fra 3/3,5 metri e 10 metri derivante dalla pedogenesi dell'Unità di Torre Boldone.

Aspetti geologico-tecnici: ghiaie con elevata resistenza meccanica, gli strati di conglomerato contribuiscono alla resistenza mobilitata dal terreno sotto sollecitazione. Possibile presenza di strati a bassa resistenza a situati a profondità interagenti con le opere di fondazione.

Nella Carta Geologico-tecnica sono stati cartografati i punti e le aree oggetto d'indagine e segnalando, con apposite campiture, dove è stata verificata la presenza di strati conglomeratici o fini-coesivi nei primi dieci metri da piano campagna.

11. CARTA DI SINTESI

Nella Carta di Sintesi sono riportate, limitatamente al territorio comunale, le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità riferita allo specifico fenomeno che la genera. Pertanto, tale carta è costituita da una serie di poligoni ognuno dei quali definisce una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di dissesto idrogeologico in atto o potenziale o da vulnerabilità idrogeologica. La sovrapposizione di più ambiti determina poligoni misti per pericolosità determinata da più fattori limitanti.

Tale elaborato cartografico fornisce una visione d'insieme delle problematiche presenti nel territorio in oggetto ed è propedeutica alla definizione della fattibilità mediante classi di entrata per i poligoni così definiti.

Nel territorio comunale è stata riscontrata la presenza di:

- aree con sottile copertura a granulometria medio-fine;
- detriti antropici;
- aree di pertinenza dei corsi d'acqua;
- fasce di rispetto (5 metri) del reticolo idrico minore;
- aree a vulnerabilità moderatamente alta del primo acquifero.

12. FATTIBILITÀ GEOLOGICA

I dati raccolti ed elaborati consentono, mediante l'analisi incrociata dei vari elementi, di suddividere il territorio in settori a maggiore o minore vocazione urbanistica. La Carta di Fattibilità è, quindi, una carta di pericolosità che fornisce indicazioni sulle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio, sulle prescrizioni per gli interventi urbanistici, sugli studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, sulle opere di mitigazione del rischio e la necessità di controllo dei fenomeni in atto o potenziali. Ciò al di là di ogni considerazione di carattere economico o amministrativo, ma esclusivamente in funzione degli elementi emersi nel corso dell'indagine.

La Carta della Fattibilità Geologica è stata redatta alla scala 1:2.000 e viene desunta attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono definito dalla Carta di Sintesi. La classificazione delle aree a diversa fattibilità è pertanto avvenuta in ottemperanza alla nuova normativa (DGR n. 7/6645 del 29 ottobre 2001 – Approvazione direttive per la redazione dello studio geologico ai sensi dell'art. 3 della L.R. 41/97). Le indicazioni della delibera prescrivono che la classificazione debba basarsi sul numero di fattori penalizzanti individuati e dell'importanza attribuita a ciascuno di essi ciò al fine di ridurre la discrezionalità del geologo nell'attribuzione delle classi.

L'attribuzione della classe di fattibilità è stata fatta mediante un valore di ingresso, secondo la tabella della DGR n. 7/6645, esclusivamente per le aree con materiale di riporto, automaticamente inserite in classe 3. Per le altre aree, non essendo comprese nella tabella, è stata attribuita una classe di fattibilità in funzione di considerazioni locali.

Nel territorio di Azzano San Paolo non sono state rilevate situazioni per le quali la presenza contemporanea di più fenomeni abbia richiesto, come indicato dalla normativa, di aumentare la classe di fattibilità rispetto al valore d'ingresso.

12.1. CLASSI DI FATTIBILITÀ

La Carta di Fattibilità Geologica rappresenta lo strumento tecnico su cui compiere le scelte progettuali di gestione e destinazione d'uso del territorio in quanto esprime le principali limitazioni alle azioni antropiche. Fornisce, infatti, prescrizioni di tipo geologico da inserire nelle Norme Tecniche di Attuazione del P.R.G.

Nel territorio comunale non sono state riscontrate situazioni penalizzanti per le destinazioni d'uso, se si escludono le aree di pertinenza fluviale.

Considerando quanto proposto dalla normativa regionale in materia di pianificazione territoriale, sono state adottate le quattro classi di fattibilità di seguito descritte.

Classe 1 (bianca) - Fattibilità senza particolari limitazioni - La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni a variazioni di destinazione d'uso e per le quali, tuttavia, saranno applicati il D.M. 11.03.88 e la successiva C.M. 30483 del 24.09.88.

Classe 2 (gialla) - Fattibilità con modeste limitazioni - La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni.

Classe 3 (arancione) - Fattibilità con consistenti limitazioni - La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso delle aree per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate.

Classe 4 (rossa) - Fattibilità con gravi limitazioni - L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni per la modifica delle destinazioni d'uso delle aree. Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti saranno consentiti esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti

dall'ari. 31, lettere a), b), e) della L. 457/1978. Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico potranno essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e dovranno comunque essere puntualmente valutate in funzione della tipologia e del grado di rischio presente. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, dovrà essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di rischio.

Gli elementi raccolti durante la stesura del presente lavoro hanno escluso la presenza di terreni attribuibili alla classe 1.

12.1.1. Classe 2a

Fattibilità con modeste limitazioni connesse a possibili eterogeneità litostратigrafiche locali.

Principali caratteristiche e problematiche	Terreni granulari più o meno addensati del L.F.d.P. Aree di pianura alluvionale ad andamento pianeggiante, impostate su substrato prevalentemente ghiaioso-sabbioso con sottili coperture pedogenizzate. Possibile presenza di intercalazioni limose e conglomeratiche a media profondità.
Parere sull'edificabilità	Favorevole, ma condizionato a verifiche locali di carattere geotecnico.
Opere ammissibili	Sono ammissibili tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali.
Fondazioni compatibili	Di tipo diretto, superficiali o profonde, sia continue sia isolate in funzione delle risultanze dell'analisi geotecnica.
Documentazione richiesta	1. Per edifici monofamiliari con un solo piano in rilevato, che non incidono sulla stabilità del complesso terreno-struttura e opere di ristrutturazione che non determinino aumenti volumetrici e variazioni dei carichi trasmessi al terreno non è necessaria documentazione geologica/geotecnica. 2. Ogni intervento su opere più rilevanti, quali piani di lottizzazione, edifici con più di un piano rilevato, plurifamiliari e produttivi, opere infrastrutturali dovrà essere corredato da una specifica indagine geotecnica nel rispetto della

	normativa vigente (D.M. 11/3/88), che definisca con precisione la portanza del substrato e il calcolo dei cedimenti, le tipologie compatibili di fondazione, nonché le prescrizioni esecutive cui dovrà essere assoggettata l'edificazione. Tale approfondimento è obbligatorio, ai sensi delle norme vigenti (D.M. 11 marzo 1988) per tutte le opere pubbliche. 3. Nel caso di scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei fronti di scavo. 4. Per pozzi idrici, si dovrà definire la circolazione idrica sotterranea e le condizioni di vulnerabilità dell'acquifero. La relazione ai punti 2 e 3 deve contenere indicazioni sulla situazione litostratigrafica locale, lineamenti geomorfologici; schema della circolazione idrica superficiale relativamente all'area d'intervento.
Indagini	Per i punti 2 e 3, si richiede la caratterizzazione del sito mediante indagini puntuali come assaggi con escavatore, prove geotecniche in sito (per es.: prove penetrometriche) o in laboratorio.
Cautele da adottare e accorgimenti costruttivi	Nel caso di scavi dovranno essere messi in opera sistemi di regimazione delle acque meteoriche per evitare la percolazione sui fronti e all'interno dello scavo.

12.1.2. Classe 2b

Fattibilità con modeste limitazioni dovute ad eterogeneità litostratigrafiche e presenza di coperture limose superficiali.

Principali caratteristiche e problematiche	Terreni granulari più o meno addensati del L.F.d.P. con presenza di terreni fini superficiali, con qualità geotecniche mediocri, fino alla profondità di 1,5÷2 m. Drenaggio delle acque superficiali moderatamente difficoltoso per permeabilità medio-bassa dei terreni.
Parere sull'edificabilità	Favorevole per qualunque intervento edificatorio ed infrastrutturale con modeste limitazioni legate alle caratteristiche di portanza dei terreni.
Opere ammissibili	Sono ammissibili tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali.

Fondazioni compatibili	Di tipo diretto, superficiali o profonde, sia continue sia isolate in funzione delle risultanze dell'analisi geotecnica.
Documentazione richiesta	1. Per edifici monofamiliari di piccola dimensione che non incidono sulla stabilità del complesso terreno-struttura e ristrutturazioni che non determinino aumenti volumetrici e variazioni dei carichi trasmessi al terreno non è necessaria documentazione geologica/geotecnica. 2. Ogni intervento per opere più rilevanti, quali piani di lottizzazione, edifici plurifamiliari e produttivi, opere infrastrutturali dovrà essere corredato da una specifica indagine geotecnica nel rispetto della normativa vigente (D.M. 11/3/88), che definisca con precisione la portanza del substrato e il calcolo dei cedimenti, le tipologie compatibili di fondazione, nonché le prescrizioni esecutive cui dovrà essere assoggettata l'edificazione. Tale approfondimento è obbligatorio, ai sensi delle norme vigenti (D.M. 11 marzo 1988) per tutte le opere pubbliche. 3. Nel caso di scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei fronti di scavo. 4. Per pozzi idrici, si dovrà definire la circolazione idrica sotterranea e le condizioni di vulnerabilità dell'acquifero. 5. Nel caso di opere disperdenti le acque meteoriche nel sottosuolo, dovrà essere valutata la stratigrafia locale e la permeabilità dei principali strati drenanti. La relazione ai punti 2 e 3 deve contenere indicazioni sulla situazione litostratigrafica locale, lineamenti geomorfologici; schema della circolazione idrica superficiale relativamente all'area d'intervento.
Indagini	Per i punti 2 e 3, si richiede la caratterizzazione del sito mediante indagini puntuali come assaggi con escavatore, prove geotecniche in sito (per es.: prove penetrometriche) o in laboratorio. Per il punto 5, la permeabilità potrà anche essere valutata in modo speditivo con prove in pozzetto superficiale.
Cautele da adottare e accorgimenti costruttivi	Nel caso di scavi dovranno essere messi in opera sistemi di regimazione delle acque meteoriche per evitare la percolazione sui fronti e all'interno dello scavo

12.1.3. Classe 2c

Fattibilità con modeste limitazioni dovute a vulnerabilità degli acquiferi medio elevata, con asportazione parziale o totale del suolo.

Principali caratteristiche e problematiche	Terreni granulari più o meno addensati del L.F.d.P. Sono possibili moderati fenomeni d'inquinamento della prima falda acquifera.
Parere sull'edificabilità	Favorevole per qualunque intervento edificatorio ed infrastrutturale con modeste limitazioni legate alle caratteristiche di portanza dei terreni.
Opere ammissibili	Sono ammissibili tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali.
Fondazioni compatibili	Di tipo diretto, superficiali o profonde, sia continue sia isolate in funzione delle risultanze dell'analisi geotecnica.
Documentazione richiesta	1. Per edifici monofamiliari con un solo piano in rilevato, che non incidono sulla stabilità del complesso terreno-struttura e opere di ristrutturazione che non determinino aumenti volumetrici e variazioni dei carichi trasmessi al terreno non è necessaria documentazione geologica/geotecnica. 2. Ogni intervento su opere più rilevanti, quali piani di lottizzazione, edifici con più di un piano rilevato, plurifamiliari e produttivi, opere infrastrutturali dovrà essere corredato da una specifica indagine geotecnica nel rispetto della normativa vigente (D.M. 11/3/88), che definisca con precisione la portanza del substrato e il calcolo dei cedimenti, le tipologie compatibili di fondazione, nonché le prescrizioni esecutive cui dovrà essere assoggettata l'edificazione. Tale approfondimento è obbligatorio, ai sensi delle norme vigenti (D.M. 11 marzo 1988) per tutte le opere pubbliche. 3. Nel caso di scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei fronti di scavo. 4. Per pozzi idrici, si dovrà definire la circolazione idrica sotterranea e le condizioni di vulnerabilità dell'acquifero. 5. Ogni intervento di canalizzazione deve approfondire la compatibilità idrogeologica (anche dal punto di vista chimico-fisico) nel caso che non sia assicurata la tenuta delle stesse. La relazione ai punti 2 e 3 deve contenere indicazioni sulla situazione litostratigrafica locale, lineamenti geomorfologici; schema della circolazione idrica superficiale relativamente

	all'area d'intervento.
Indagini	Per i punti 2 e 3, si richiede la caratterizzazione del sito mediante indagini puntuali come assaggi con escavatore, prove geotecniche in sito (per es. prove penetrometriche) o in laboratorio. Per il punto 5, la permeabilità potrà anche essere valutata in modo speditivo con prove in pozzetto superficiale.
Cautele da adottare e accorgimenti costruttivi	Nel caso di scavi dovranno essere messi in opera sistemi di regimazione delle acque meteoriche per evitare la percolazione sui fronti e all'interno dello scavo

12.1.3. Classe 3a

Fattibilità con consistenti limitazioni dovute alla presenza di terreni di riporto (detrito antropico).

Principali caratteristiche e problematiche	Aree con accumulo di materiale di riporto. Per esse può sussistere rischio dovuto alla presenza di materiali litologicamente disomogenei e con modeste caratteristiche geotecniche.
Parere sull'edificabilità	Favorevole, ma condizionato a verifiche locali di carattere geotecnico.
Opere ammissibili	Tutte.
Fondazioni compatibili	Di tipo diretto, superficiali o profonde, sia continue sia isolate in funzione delle risultanze dell'analisi geotecnica.
Documentazione richiesta	1. Ogni intervento, ad esclusione di opere di ristrutturazione che non determinino aumenti volumetrici e variazioni dei carichi trasmessi al terreno, dovrà essere corredato da una specifica indagine geotecnica nel rispetto della normativa vigente (D.M. 11/3/88), che definisca con precisione la portanza del substrato e il calcolo dei cedimenti, le tipologie compatibili di fondazione, nonché le prescrizioni esecutive cui dovrà essere assoggettata l'edificazione. 2. Nel caso di scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei fronti di scavo e dei pendii circostanti, se presenti. 3. Per pozzi idrici, si dovrà definire la circolazione idrica sotterranea e le condizioni di vulnerabilità dell'acquifero.

	La relazione ai punti 1 e 2 deve contenere indicazioni sulla situazione litostratigrafica locale, lineamenti geomorfologici; schema della circolazione idrica superficiale e sulla stabilità generale dei luoghi nell'area d'intervento e in un ragionevole intorno.
Indagini	Per i punti 2 e 3, indagini geognostiche di approfondimento che comprendano rilevamento geologico di dettaglio, caratterizzazione dei terreni mediante assaggi con escavatore e prove geotecniche in sito (per es. prove penetrometriche) o in laboratorio. Per valutare la stabilità generale del sito, le indagini dovranno essere estese ad un intorno significativo valutato in base alle condizioni litologiche e morfologiche locali.
Cautele da adottare e accorgimenti costruttivi	Nel caso di scavi dovranno essere messi in opera sistemi di regimazione delle acque meteoriche per evitare la percolazione sui fronti e all'interno dello scavo

12.1.4. Classe 3b

Fattibilità con consistenti limitazioni relative alle fasce di rispetto dei corsi d'acqua (5 metri).

Principali caratteristiche e problematiche	Aree circostanti il reticolo idrico minore, possibili sedi di allagamento in conseguenza di fenomeni meteorici intensi. Rischio esondazione basso. Le fasce di rispetto sono di 5 metri per il reticolo minore, gestito dai consorzi di bonifica. Le fasce sono da intendere misurate a partire dal piede arginale esterno per argini in rilevato, o, in assenza di questi, dalla sommità della sponda incisa.
Parere sull'edificabilità	Favorevole, ma condizionato a verifiche locali di carattere idraulico.
Opere ammissibili	Tutte.
Fondazioni compatibili	Di tipo diretto, superficiali o profonde, sia continue sia isolate in funzione delle risultanze dell'analisi geotecnica.
Documentazione richiesta	1. Ogni intervento richiede l'effettuazione di studi di compatibilità idrologica che dimostrino il mantenimento o il miglioramento delle condizioni idrauliche. La valutazione dovrà essere fatta con verifiche della sezione d'alveo

	applicando tempi di ritorno adeguati all'importanza dell'opera. 2. Nel caso si preveda l'esecuzione di opere di fondazione è richiesta una relazione geotecnica che definisca con precisione la portanza del substrato e il calcolo dei cedimenti, le tipologie compatibili di fondazione, nonché le prescrizioni esecutive cui dovrà essere assoggettata l'edificazione. 3. Nel caso di scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei fronti di scavo. 4. Per pozzi idrici, si dovrà definire la circolazione idrica sotterranea e le condizioni di vulnerabilità dell'acquifero. La relazione ai punti 2 e 3 deve contenere indicazioni sulla situazione litostratigrafica locale, lineamenti geomorfologici; schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.
Indagini	Per i punti 2 e 3, indagini geognostiche di approfondimento che comprendano rilevamento geologico di dettaglio, caratterizzazione dei terreni mediante assaggi con escavatore e prove geotecniche in sito (per es. prove penetrometriche) o in laboratorio.
Cautele da adottare e accorgimenti costruttivi	Manutenzione dei canali e delle rogge al fine di conservare un adeguata portata. L'esecuzione di attraversamenti (ponti, gasdotti, fognature, tubature, infrastrutture a rete) dovrà rispettare la Direttiva dell'Autorità di Bacino "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce a e b", approvata con Del. del C.I. n.2 del 11 maggio 1999.

12.1.4. Classe 4

Fattibilità con gravi limitazioni relativa alle aree di pertinenza dei corsi d'acqua.

Principali caratteristiche e problematiche	Alvei e aree depresse costituenti il reticolo di drenaggio superficiale. Possibile allagamento ed innesco di fenomeni erosivi entro il letto del corso d'acqua. In tale classe rientra anche la fascia di rispetto di 10 metri del Torrente Morla (reticolo principale). Tale fascia è da intendere come misurata a partire dal piede arginale esterno per argini in rilevato, o, in assenza di
--	---

	questi, dalla sommità della sponda incisa. Rischio esondazione al di fuori dell'alveo di piena ordinaria: basso.
Parere sull'edificabilità	Non favorevole per limitazioni di natura idraulica.
Opere ammissibili	In tali ambiti sono consentite solo opere di sistemazione. Per l'esistente, ove non sussistano situazioni di pericolo, sono ammissibili opere di ristrutturazione che non determinino aumenti volumetrici e variazioni dei carichi trasmessi al terreno, oltre ad interventi atti a favorire il deflusso delle acque. Sono ammesse opere infrastrutturali strettamente necessarie, o che non possono essere localizzate altrove, previa verifica di compatibilità idraulica. Opere pubbliche che non prevedano la presenza continuativa e temporanea di persone, dovranno essere valutate puntualmente, accompagnandole con una relazione geologica, geotecnica e idrogeologica che attesti la compatibilità degli interventi proposti con la situazione di rischio presente.
Fondazioni compatibili	Superficiali o profonde sia continue che isolate.
Documentazione richiesta	1. Per tutti gli interventi: relazione geologica/idrologica. 2. Ogni intervento di tipo infrastrutturale che interessi il reticolo idrografico richiede l'effettuazione di studi di compatibilità, atti a dimostrare il mantenimento o il miglioramento delle condizioni idrauliche. 3. Per opere di fondazione, relazione geotecnica che illustri la situazione litostratigrafica locale, i lineamenti geomorfologici, lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea e le caratteristiche meccaniche dei terreni secondo le modalità indicate dal D.M. 11/3/88. 4. Nel caso di pozzi idrici è richiesta relazione idrogeologica che indichi, fra l'altro, le condizioni di vulnerabilità dell'acquifero e aspetti come la situazione litostratigrafica locale, i lineamenti geomorfologici, lo schema della circolazione idrica superficiale.
Indagini	Per i punti 1, 2 e 3: indagini di approfondimento che comprendono: rilevamento geologico di dettaglio, indagini geognostiche e geotecniche in sito o in laboratorio.
Cautele da adottare e accorgimenti costruttivi	Manutenzione della sezione del canale, delle scarpate morfologiche e della tipologia dei materiali costituenti il perimetro bagnato, al fine di non alterare la velocità di deflusso e l'altezza idrometrica. L'esecuzione di attraversamenti (ponti, gasdotti, fognature, tubature, infrastrutture a rete) dovrà rispettare la Direttiva

	dell'Autorità di Bacino "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce a e b", approvata con Del. del C.I. n.2 del 11 maggio 1999.
--	--

Dott. Geol. Andrea Arrigoni

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV.** – *Conoscenza della struttura idrogeologica della pianura bergamasca per una corretta tutela delle acque sotterranee*. Regione Lombardia – Politecnico di Milano – U.S.S.L. n. 29, 1988
- AA.VV.** – *Indicazioni per il rilevamento del Quaternario continentale*. Servizio Geologico d'Italia
- AA.VV.** - *Piano territoriale paesistico*. Provincia di Bergamo, Ass.to Territorio-Ambiente, 1990
- AA.VV.** – *Valutazione del rischio idraulico geologico e zonazione; strategie di intervento per la mitigazione degli effetti degli eventi estremi - Rapporto '87* – C.N.R. Gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche, 1987
- Aller et alii** - *A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings*. EPA, 600, 2-85
- Barazzuoli P. et alii** – *La tutela delle acque sotterranee nella pianificazione territoriale: un esempio dal PTCP di Siena*, *Geologia tecnica e ambientale*, 4/2002
- Borra, Locatelli** – *Rilievo e verifica della rete di fognatura e dei corsi d'acqua naturali*, Azzano San Paolo, 2001
- Castiglioni G.B.** - *Geomorfologia*, UTET, Torino 1979
- Celico F., Aquino S.** – *Studio idrogeologico del territorio della Comunità Montana del Partenio (Campania)*, *Geologia tecnica e ambientale*, 3/1999
- Cestari F.** – *Prove geotecniche in sito*, GEO-GRAPH s.n.c., Segrate 1990
- Civita M., Eusebio A., Cavalli C., Valdemarin F., Vigna B.** – *Interazioni tra opere autostradali ed acquiferi soggiacenti: alcune situazioni in Piemonte*, IV

Convegno Internazionale di Geoingegneria "Difesa e valorizzazione del suolo e degli acquiferi", Torino 1994

E.R.S.A.L. - *I suoli dell'Hinterland bergamasco*, Progetto Carta Pedologica, Milano, 1992

Dall'Olio N., Di Dio G., Guermandi M. - *Metodologia per una Carta della vulnerabilità degli acquiferi*

Franconi V., Lorandi F. - *Studio idrogeologico sul territorio bergamasco fra i fiumi Adda e Oglio*, Roma, 1978

Gavazzeni E. - *Saggio di climatologia della provincia di Bergamo*, pubbl. n. 11, v. XII, Ufficio Idrografico del Po, Ist. Pol. Dello St., Roma 1957

Goltara L. - *Carta idrografica d'Italia - Irrigazione della provincia di Bergamo*; Società per l'incremento agricolo e industriale della Provincia di Bergamo, Bergamo 1960

Govi M., Turitto O. - *Problemi di riconoscimento delle fasce di pertinenza fluviale*, IV Convegno Internazionale di Geoingegneria "Difesa e valorizzazione del suolo e degli acquiferi", Torino 1994

Klingbiel A. A., Montgomery P. H. *Land capability classification*, Soil Conservation Service USDA, Agriculture Handbook n. 210, 1961

Maraga F. - *Delimitazione di aree inondabili secondo criteri geomorfologici*, Mem. Soc. Geol. It., 1990

Marchetti M. - *Geomorfologia ed evoluzione recente della pianura padana centrale a Nord del Fiume Po*, Univ. Studi di Milano - Dip. Sc. della Terra - Sez. Geologia e Paleontologia - Tesi di Dottorato IV ciclo 1988-89, inedita

Pezzeri G. - *L'inquinamento delle falde nella pianura bergamasca*

Provincia di Bergamo - *Carta geologica della provincia di Bergamo*, Bergamo, 2000

Provincia di Bergamo – *Monitoraggio delle acque sotterranee della provincia di Bergamo*, Bergamo

Provincia di Bergamo – *La qualità dei corsi d'acqua della Provincia di Bergamo*, Bergamo, 1999

Provincia di Bergamo – *Piano territoriale di coordinamento provinciale*, Bergamo, 2004

Regione Lombardia – *1° programma regionale di previsione e prevenzione di protezione civile*, Istituto Geografico De Agostini, Novara, 1998

Regione Lombardia – *Carte ambientali della pianura scala 1:25.000*, Milano, 2000

Regione Lombardia, Consiglio Nazionale Ricerche - *Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia*, Milano, 1996

Soil Survey Staff – *Soil Taxonomy*, 1975

Tacconi P. – *La dinamica fluviale*