

Comune di PUMENENGO



**Piazza Castello Barbò
Pumenengo (BG)**

COMPONENTE GEOLOGICA

***A SUPPORTO DEL NUOVO P.G.T. DEL COMUNE DI PUMENENGO AGGIORNATA SECONDO
LE NUOVE DIRETTIVE REGIONALI IN ATTUAZIONE DELL'ART. 57 DELLA L.R. 12/2005
(CRITERI ATTUATIVI PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO ESPLICITATI NELLA D.G.R.
8/7374 DEL 28 MAGGIO 2008)***

LA COMMITTENZA:

COMUNE DI PUMENENGO

PIAZZA CASTELLO BARBÒ, 2

24050 PUMENENGO (BG)

***Progetto: Adeguamento Componente
Geologica alle Azioni di Piano
relativa al nuovo PGT comunale***

IL GEOLOGO

Dott. F. A. CRIPPA

AGOSTO 2011

INDICE

PREMESSA	pag. 04
1.0 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	05
2.0 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE	05
3.0 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE	06
3.1 – <i>SUCCESSIONE DELLE SERIE SEDIMENTARIE</i>	07
4.0 - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	08
5.0 – INQUADRAMENTO CLIMATICO	14
6.0 - INDAGINI GEOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE DI DETTAGLIO	16
6.1 – <i>STRUTTURA DELLE INDAGINI CONDOTTE</i>	16
6.2 – <i>ANALISI ED INTERPRETAZIONE DELL'IMMAGINI AEROFOTOGRAMMETRICHE</i>	17
6.3 – <i>STRUTTURA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO</i>	18
6.3.1 – <i>STRUTTURA GEOLOGICA DI DETTAGLIO</i>	18
6.3.2 – <i>STRUTTURA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO</i>	19
6.4 – <i>STRUTTURA IDROGEOLOGICA DI DETTAGLIO</i>	22
6.4.1 – <i>STRUTTURAZIONE DEI COMPLESSI ACQUIFERI</i>	23
6.4.2 – <i>CARTA DELLE ISOPIEZOMETRICHE DEL PRIMO COMPLESSO ACQUIFERO</i>	24
6.4.3 – <i>ALIMENTAZIONE E RICARICA IDRICA DEL SOTTOUOLO</i>	24
6.4.4 – <i>VARIAZIONI PIEZOMETRICHE DELLA PRIMA FALDA ACQUIFERA</i>	25
6.4.5 – <i>STRUTTURE IDROGEOLOGICHE DI SUPERFICIE: I FONTANILI</i>	25
6.4.6 – <i>INQUADRAMENTO CIRCA LA MINERALIZZAZIONE DELLE ACQUE</i>	26
6.4.7 – <i>CHIMISMO DELLA RISORSA IDRICA IDROPOTABILE</i>	27
6.4.8 – <i>VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO</i>	29
7.0 – CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL TERRITORIO	31
8.0 – STORIA SISMICA DEL TERRITORIO	34
9.0 – ANALISI DEL RISCHIO SISMICO	39
9.1 – <i>RISPOSTA SISMICA LOCALE</i>	39
9.1.1 – <i>EFFETTI DI SITO O DI AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE</i>	40
9.1.2 – <i>EFFETTI DI INSTABILITÀ</i>	40
9.2 – <i>ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO</i>	41
9.3 – <i>CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE: ANALISI DI I° LIVELLO</i>	44
9.3.1 – <i>DESCRIZIONE DELL'ELABORATO</i>	44
9.4 – <i>NORME DI ATTUAZIONE – PROCEDURE DI APPLICAZIONE II° LIVELLO</i>	47
9.4.1 – <i>SCENARIO Z2</i>	47
9.4.2 – <i>SCENARIO Z3A</i>	47
9.4.3 – <i>SCENARIO Z4A</i>	50
9.4.4 – <i>VALORI DI SOGLIA COMUNALI</i>	52
9.4.5 – <i>NOTE DI MERITO AI CRITERI DI APPLICAZIONE DELLE PROCEDURE APP. SEMPLIFICATE</i>	53
9.5 – <i>NORME DI ATTUAZIONE – PROCEDURE DI APPLICAZIONE III° LIVELLO</i>	54
9.5.1 – <i>SCENARIO Z2</i>	54
9.5.2 – <i>SCENARIO Z3 E Z4</i>	55
9.6 – <i>APPENDICE: METODOLOGIE PER IL CALCOLO DELLE ONDE VS</i>	57
10.0 – ELEMENTI VINCOLISTICI	58
11.0 – STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA	58
12.0 - SINTESI DEGLI ELEMENTI VALUTATIVI TERRITORIALI	59
13.0 - FATTIBILITÀ GEOLOGICA ALLE AZIONI DI PIANO	60
14.0: NORME GEOLOGICHE DI PIANO	74

TAVOLE

Cartografie tematiche territoriali

<u>Tavola 01</u> – CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA	Scala 1:5.000
<u>Tavola 02</u> – CARTA IDROLOGICA, IDROGEOLOGICA ED IDRAULICA	Scala 1:5.000
<u>Tavola 03</u> – CARTA GEOLOGICO-TECNICA	Scala 1:5.000
<u>Tavola 04</u> – CARTA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (P.S.L.)	Scala 1:5.000
<u>Tavola 05</u> – CARTA DEI VINCOLI	Scala 1:5.000
<u>Tavola 06</u> – CARTA DI SINTESI	Scala 1:5.000
<u>Tavola 07</u> - CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA	Scala 1:5.000
<u>Tavola 08</u> - CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA	Scala 1:10.000

ALLEGATI

Allegato 01 - SCHEDE POZZI PUBBLICI AD USO IDROPOTABILE

Allegato 02 – SEZIONE IDROGEOLOGICA

Allegato 03 – SCHEDE LITOLOGICHE DI RIFERIMENTO PER GLI SCENARI PSL Z4

PREMESSA

Il presente lavoro, commissionato dal **Comune di Pumenengo** – provincia di Bergamo, costituisce l'aggiornamento della componente geologica a supporto del nuovo P.G.T. del comune di *Pumenengo* secondo quanto previsto dalle nuove direttive regionali in attuazione dell'art. 57 della L.R. 12 dell'11 Marzo 2005 (criteri attuativi per il governo del territorio esplicitati nella d.g.r. 8/7374 del 28 maggio 2008 e contemplati dal D.M. del 14 gennaio 2008).

Il criterio seguito nella realizzazione dello studio è stato suddiviso nelle seguenti fasi:

- esame della cartografia ufficiale e delle immagini aerofotogrammetria
- Analisi dell'assetto geologico del territorio comunale di Pumenengo
- Analisi della struttura geomorfologia del territorio
- Analisi della struttura idrologica del settore territoriale
- Analisi della struttura idrogeologica del territorio di Pumenengo e di un significativo intorno
- Definizione dei caratteri geologico-tecnici preliminari del territorio comunale
- Definizione degli scenari di pericolosità sismica del territorio (P.S.L.)
- Sintesi analitica dei elementi geologici ed idrogeologici sopra descritti
- Definizione delle fattibilità geologica del territorio comunale di Pumenengo

Il lavoro è stato svolto in fasi diversificate, mirate alla identificazione delle peculiarità geologiche ed idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area.

Le indagini svolte hanno condotto alla compilazione ed all'aggiornamento di una serie di elaborati cartografici originali rappresentate dalle cartografie tematiche (tavole) riportate a fine lavoro.

Nella ***Figura 01*** viene riportato l'inquadramento corografico territoriale del comune di Pumenengo e di un significativo intorno.

1.0 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

La struttura geologica e geomorfologica dell'area in esame deriva dai principali avvenimenti geologici verificatisi dal Pliocene superiore fino a tutto il Quaternario.

Analizzando l'assetto territoriale generale della porzione centro-meridionale della provincia di Bergamo si possono osservare le principali caratteristiche costitutive e interpretare l'assetto geologico della zona. Procedendo da Nord a Sud si osserva un decremento dei livelli di altitudine e rispettivamente una variazione morfologica da ambiente montano, collinare sino a zona di pianura. L'insieme degli elementi mette in risalto due aspetti morfologici principali e successivi nel tempo, costituiti da un ambiente tipicamente glaciale che progreda in una piana fluvioglaciale a cui si sovrappone una morfologia di tipo fluviale connessa allo sviluppo dei corsi d'acqua principali.

Prima dell'era quaternaria sino al Pliocene superiore - Pleistocene inferiore la linea di costa marina adriatica lambiva i bordi prealpini; successivamente si assiste all'instaurazione di una importante fase di regressione marina con conseguente inizio della sedimentazione di depositi di pertinenza continentale fluvio-lacustri, deltizi e di piana costiera, prevalentemente costituiti da materiale a granulometria non grossolana (sabbie fini, limi ed argille).

Questa unità sedimentaria, attribuibile al Villafranchiano, a causa di un sollevamento post-deposizionale, risulta fortemente erosa nella parte sommitale e sostituita da sedimenti marini e continentali depositati a seguito della successione ciclica di fasi trasgressive. Nei solchi vallivi così creati si deposero ghiaie e sabbie localmente anche in grandi spessori, che col tempo hanno subito fenomeni di cementazione ed attualmente sono rilevabili in affioramento nel settore settentrionale della Provincia di Milano (unità formazionale del "Ceppo" Auct.).

Successivamente ebbero inizio le glaciazioni, convenzionalmente distinte in tre fasi principali: Mindel, Riss, Wurm, che diedero luogo alla deposizione di una vasta coltre di sedimenti di natura glaciale, nella zona pedemontana, e fluvioglaciale nelle zone di pianura con la creazione delle grandi conoidi dei fiumi Serio, Chero ed Oglio.

Dal Pleistocene superiore all'Olocene si è verificato un lento sollevamento dell'alta pianura con instaurazione delle condizioni morfogenetiche che hanno creato all'assetto geologico attualmente osservabile

2.0 – INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

La geologia di superficie del settore territoriale in cui si inserisce il territorio di Pumenengo si caratterizza per affioramenti esclusivamente di sedimenti continentali quaternari. In particolare in territorio comunale si sviluppa in ambiti morfologici assai diversificati: la parte occidentale, altimetricamente più rilevata, si inserisce nella grande pianura di origine fluvioglaciale depositatasi tra il Pleistocene medio e il Pleistocene superiore ed informalmente denominata "livello fondamentale della pianura" (L.F.P.). Successivamente, durante il Pleistocene superiore-Olocene, l'attività erosivo-deposizionale del Fiume Oglio ha progressivamente determinato l'incisione dei depositi fluvioglaciali del livello fondamentale dando adito alla valle fluviale attualmente osservabile, contraddistinta da serie distinte di ordini di terrazzi morfologici progredenti verso le zone di alveo attuale ed occupate dai sedimenti alluvionali più recenti (depositi postglaciali).

L'assetto geomorfologico del territorio di Pumenengo si caratterizza infatti per la coesistenza di scenari assai differenti rappresentati dalla monotona pianura del livello fondamentale (settore centrale ed occidentale) e dalla valle fluviale del Fiume Oglio (settore centro-orientale). Quest'ultima si caratterizza per sviluppo topografico depresso rispetto al livello fondamentale, con dislivelli massimi variabili da 8 a 10 m circa e presenta una articolata serie di sistemi terrazzati progredienti verso i settori d'alveo attuali.

3.0 - – INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

Il sottosuolo della Pianura Padana è caratterizzato da una successione di sedimenti di età plio-pleistocenica di notevole interesse per la loro potenzialità di sfruttamento idrico. Nella loro sequenza stratigrafica presentano, alla base, un'alternanza di limi e argille di origine marina (Pliocene-Pleistocene inf.) che si modifica, nella parte sommitale della successione, in depositi di natura alluvionale e fluvioglaciale costituiti da ghiaie, sabbie, con subordinati limi e argille (Pleistocene medio-sup., Olocene).

La causa di questa variazione di facies, da marina a continentale, è da ascrivere all'evento di regressione marina connessa con il sollevamento dell'area alpina verificatasi a partire dal Pliocene inf., momento in cui le modalità di sedimentazione cambiarono originando sedimenti di tipo deltizio lagunare con alternanze di depositi a granulometria fine (in prevalenza) e grossolana. I successivi eventi di glaciazione (Mindel, Riss, Wurm) hanno consentito la deposizione di materiale alluvionale a granulometria prevalentemente ghiaioso-sabbiosa e sabbiosa (Quaternario continentale), all'interno del quale si ritrovano acquiferi di notevole estensione areale e potenzialità idrica.

Si possono individuare una serie di agenti che hanno determinato l'attuale assetto idrogeologico, quali:

- *sequenza di eventi glaciali (Mindel, Riss, Wurm);*
- *eventi alluvionali legati all'attività dei corsi d'acqua*
- *andamento irregolare dell'unità villafranchiana*

Per la definizione delle caratteristiche idrogeologiche del settore territoriale d'interesse è stato necessario raccogliere tutti gli elementi geologici rilevabili in superficie e tutti i dati dei pozzi censiti nella zona, al fine di ottenere un modello geologico coerente mediante il quale definire nel dettaglio la serie idrogeologica esistente.

Un'altra fase di lavoro fondamentale è stata l'analisi dell'idrografia superficiale, mediante la quale è possibile valutare la distribuzione delle acque in superficie e raffrontarle con quelle nel sottosuolo. In questo contesto si rinvengono nella parte sommitale del Quaternario continentale (generalmente nei primi 80-100 metri) gli acquiferi con maggior potenzialità idrica, la cui alimentazione avviene mediante infiltrazione delle acque superficiali meteoriche e irrigue; più in profondità, intercalati a depositi limoso-argillosi, si rilevano corpi acquiferi sviluppati all'interno di lenti sabbiose e ghiaioso-sabbiose isolate e talvolta coalescenti che traggono alimentazione dalle aree poste più a settentrione e dagli acquiferi superficiali nei settori in cui i livelli argillosi di separazione divengono discontinui; rispetto agli acquiferi sovrastanti (più superficiali) in linea generale si caratterizzano per riduzione di trasmissività e potenzialità.

Nel settore territoriale di specifico interesse il sottosuolo risulta costituito da depositi fluvioglaciali e fluviali incoerenti interessati a livello locale da intercalazioni coesive di geometria e spessore assai variabile (quaternario continentale). Tali sedimenti poggiano su depositi coesivo dominanti (Villafranchiano Auct.) di origine marina. Nel paragrafo a seguire viene esposta nel dettaglio la successione delle serie sedimentarie qui accennate.

3.1 – Successione delle serie sedimentarie

La successione delle formazioni litologiche costituenti la pianura padana tra i fiumi Adda, Serio, Oglio è stata approfonditamente studiata attraverso le perforazioni per ricerca di idrocarburi effettuate dall'AGIP e pubblicate dall'ENI nel volume "Acque dolci sotterranee". Tali perforazioni hanno permesso di ottenere informazioni importanti anche sulla tipologia di acquiferi esistenti, sulle caratteristiche e la distribuzione, sia pure a carattere generale, delle acque che li compongono.

L'analisi critica dei dati sopra citati permette quindi di distinguere la serie sedimentaria quaternaria in due ambienti sedimentari diversificate: il primo (parte sommitale della serie) è rappresentata dalla **serie sedimentaria continentale**, più recente e connessa al progressivo riempimento ad opera delle fiumane fluviale e fluvioglaciali dell'antico Golfo Padano e progressiva regressione marina in questo settore. La seconda è invece costituita dalla **serie sedimentaria di origine marina**.

La **serie sedimentaria continentale** si caratterizza per la presenza delle seguenti litozone principali contraddistinte da caratteri geolitologici omogenei e distribuzione geometrica e stratigrafica comparabile:

Litozona 01 - Complesso ghiaioso sabbioso.

Profondità: da 40/60 m

In questa litozona si individua la falda acquifera più superficiale contraddistinta da caratteri idraulici tipicamente freatici (acquifero tradizionale).

Litozona 02 – Complesso conglomeratici ben individuabile nel settore in alta pianura ed in progressiva estinzione verso sud. Presso Martinengo si assiste alla estinzione totale di tale litozona dove viene sostituita, in eteropia laterale, dal complesso della alternanze argillose e ghiaioso-sabbiose.

Profondità: da 40/70 sino a 100/120 m

La tipologia della falda acquifera varia da semiconfinate a confinate

Litozona 03 - Complesso argilloso sabbioso con rari livelli ghiaiosi.

Profondità: da 100/120 sino a 180/190m

La tipologia della falda acquifera è di tipo confinato con caratteri idraulici tipicamente artesiani.

La **serie sedimentaria di origine marina**, più antica e contraddistinta da condizioni generali di bassa energia come testimoniato dalla granulometria fine dei sedimenti che la compongono. La composizione litologica dominante è data da limi e limi argillosi con fossili marini associati a subordinate intercalazioni sabbiose e sabbioso-limose (sede di falda acquifera). Le falde acquifere presentano caratteri idraulici tipicamente artesiani con capacità produttive estremamente contenuta e tempi di ricarica assai lenti. In quest'ambito le acque dolci sono state individuate sino ad una profondità massima di 600 m dall'attuale piano campagna.

4.0 – INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

RETICOLO IDRICO PRINCIPALE

Nel Comune di Pumenengo il corso d'acqua individuato dalla Regione Lombardia come appartenente al reticolo principale, e riportato nell'Allegato A della Delibera regionale è il seguente:

- **Fiume Oglio N°BG 191**

RETICOLO DI BONIFICA

In base alle indagini di campagna si è potuto stabilire che il reticolo idrografico secondario risulta costituito da **rogge scavate artificialmente nei terreni alluvionali**. Pertanto tutti i corsi d'acqua censiti rientrano nella classificazione di "**Reticolo Idrico di Bonifica**", essendo questi costituiti di fatto esclusivamente da vie d'acqua create artificialmente dall'uomo per lo specifico scopo irriguo: sul territorio comunale analizzato non sussistono invece corsi d'acqua minori naturali classificabili come appartenenti al Reticolo Idrico Minore. Il reticolo idrografico di bonifica è formato da innumerevoli **rogge** (corsi d'acqua artificiali con finalità irrigue) con uno sviluppo lineare di diverse decine di km, di differente origine (nascono da fontanili e/o da altri corsi d'acqua di maggiore dimensione - es. Naviglio Civico Cremona) con scorrimento da nord verso sud parallelamente al fiume Oglio. Sussiste anche un numero minore di aste ad andamento E-O. Il sistema idrografico individuato è stato evidenziato a più riprese nelle **Tavole 2, 5, 7** utilizzando come base la carta aerofotogrammetrica realizzata per il PRG comunale. Il sistema idrico di Bonifica attualmente censito nell'allegato D della delibera regionale, con la relativa codifica, è formato da:

202	ROGGIA RONDININA	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA
201	ROGGIA PANIZZARDA	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA
200	ROGGIA QUARESIMA	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA
760	ROGGIA DONNA (PARMIGIANA)	CONSORZIO DELLA MEDIA PIANURA BERGAMASCA
100	CAVO MOLINARA	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA

Sono stati inoltre censiti i corsi d'acqua, fontanili, rogge e cavi elencati di seguito, che vengono gestiti da altri consorzi e/o da privati.

	ROGGIA FONTANONE DURADA	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA
	CANALE GOZZINI (ex Dugale del Bue)	CONSORZIO DELLA MEDIA PIANURA BERGAMASCA
	ROGGIA CALCIANA	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA
	ROGGIA FONTANA BOBIA	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA
	NAVIGLIO GRANDE PALLAVICINO	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA
	ROGGIA FONTANA VECCHIA	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA
	ROGGIA FONTANA NUOVA	CONSORZIO NAVIGLIO VACCHELLI - CREMONA

Descrizione sintetica delle rogge individuate

Le rogge che sono state individuate e cartografate vengono di seguito tabulate e descritte in modo sintetico per fornire un quadro di riferimento. A tale proposito è stata redatta una **cartografia di sintesi alla scala 1:10.000 (TAVOLA 03** – specificamente richiesta dalle Autorità competenti) in cui ognuna delle rogge censite è stata identificata come nomenclatura, codice numerico e tracciato specifico in differente colore. **Il codice assegnato** ad ogni roggia risulta costituito da tre parti numeriche: *codice provinciale (016)*, *codice ISTAT comunale (177)* e *numerazione progressiva della roggia (01–22)*. Nella tabella a seguire vengono riportati in ordine progressivo i differenti corsi d'acqua:

CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO DI BONIFICA	
Nome	Codice
ROGGIA FONTANONE DURADA	016177 / 01
ROGGIA RONDININA	016177 / 02
ROGGIA PANIZZARDA	016177 / 03
CANALE GOZZINI (ex Dugale del Bue)	016177 / 04
ROGGIA QUARESIMA	016177 / 05
ROGGIA FONTANA BOBIA	016177 / 06
ROGGIA DONNA (PARMIGIANA)	016177 / 07
NAVIGLIO GRANDE PALLAVICINO	016177 / 08
ROGGIA CALCIANA	016177 / 09
ROGGIA BOCCA PUMENENGA	016177 / 10
CAVO MOLINARA	016177 / 11
ROGGIA FONTANA VECCHIA	016177 / 12
ROGGIA FONTANA NUOVA	016177 / 13
ROGGIA SERIOLETTA	016177 / 14
ROGGIA SERIOLETTA SAN GIORGIO	016177 / 15
ROGGIA SERIOLETTA FINILETTO	016177 / 16
ROGGIA SERIOLETTA MALPAGA	016177 / 17
ROGGIA DUGALE DI MATTINA	016177 / 18
ROGGIA DUGALE DI MEZZO	016177 / 19
ROGGIA DUGALE DI SERA	016177 / 20
ROGGIA PRESA MOLINARA	016177 / 21
FONTANILE CASCINA PESCHIERA	016177 / 22

Descriveremo sinteticamente, qui di seguito, l'andamento territoriale delle rogge sopra elencate in quanto caratterizzate da un certo grado di complessità nel loro sviluppo attraverso il territorio comunale di **Pumenengo**.

Roggia Fontanone Durada (codice 016177-01): nasce nel territorio di Calcio dal fontanile denominato Fontanone Durada procedendo con asta principale rettilinea sviluppata in direzione sud, all'interno del territorio di Pumenengo interessando la Cascine Lanzanova e la C.na Scotti; in prossimità di quest'ultima lo sviluppo del corso d'acqua si caratterizza per brusche variazioni di direzione prima verso Est e successivamente verso Sud proseguendo nel territorio di Torre Pallavicina.

Roggia Rondinina (codice 016177-02): nasce nel territorio di Calcio derivando dal Naviglio Civico di Cremona e sviluppandosi in direzione Sud prevalente sino ad attraversare il territorio di Pumenengo interessando, lungo il suo percorso la Cascina Dazi e la Cascina Grigna.

A nord della C.na Dazi, in prossimità del limite del territorio comunale, si individua la biforcazione tra **l'attuale asta principale** ad andamento Nord-Sud e **l'antica asta principale** ad andamento curvilineo attualmente divenuta secondaria e solo saltuariamente utilizzata come spagliatore (quasi abbandonata ed ormai priva di continuità idraulica in direzione sud).

Il **ramo attuale dell'asta principale** supera perimetralmente la C.na Dazi sviluppandosi verso sud oltrepassando la strada di collegamento di C.na Grigna dove si diramano diversi corsi d'acqua minori di spagliamento; quindi prosegue nuovamente verso sud sino a gettarsi nella Roggia Calciana in prossimità del confine comunale di Pumenengo.

Il **vecchio ramo dell'asta principale** si caratterizza per andamento curvilineo e sviluppo preferenziale N-S sino alla sede carrabile della strada Pumenengo-Fontanella; qui perde continuità idraulica in direzione sud in seguito alla scomparsa del tratto di fosso sviluppato parallelamente alla strada medesima. Oltrepassando in direzione sud la suddetta strada il vecchio tracciato del fosso prosegue ad Est di C.na Dazi (dove presenta un collegamento diretto / derivazione con la Roggia Panizzarda) proseguendo verso sud ed ovest in fossi secondari da cui spaglia nei campi circostanti. All'altezza di C.na Baita si reimmette all'interno della Roggia Panizzarda.

Roggia Panizzarda (codice 016177-03): nasce nel territorio di Calcio derivando dal Naviglio Civico di Cremona e sviluppandosi in direzione Sud prevalente attraverso il territorio di Pumenengo. Interessa lungo il suo percorso la Cascina Barbonina, Cascina Grigna, Colombare, C.na Vezzoli, C.na Cortivelli e C.na Baita. Anche in questo caso si individua l'asta principale sviluppata in direzione N-S prevalente ed una serie di rami secondari.

L' **attuale asta principale** entra nel territorio comunale ad ovest di C.na Barbonino sviluppandosi verso Sud sino ad intersecare la strada di collegamento Pumenengo-Fontanella (roggia passa al di sotto); qui devia per un breve tratto in direzione Ovest per poi riprendere in direzione Sud sino ad immettersi nel medesimo alveo della roggia Quaresima (tratto terminale Quaresima); questo tratto di fossato esteso in direzione E-O viene usato comunemente da entrambe le Rogge (Panizzarda e Quaresima) alternandone i flussi a seconda dei differenti orari di irrigazione (vengono alternativamente chiuse e riaperte mediante paratie). Da qui si re-immette nell'antico tracciato principale della Roggia Panizzarda sviluppato in direzione Sud verso il territorio di Torre Pallavicina intersecando la Roggia Calciana passando al di sotto dell'alveo di quest'ultima.

L' **antica asta principale** presentava andamento differente e maggiormente lineare: tra le C.ne Barbonina e Dazi sviluppava un tracciato curvilineo sino ad intersecare la strada Pumenengo Fontanella: qui la attraversava procedendo verso meridione sino al confine sud del territorio comunale. Attualmente il tratto curvilineo non esiste più (aratura con spianamento) mentre il tratto oltre la strada si presenta senza continuità idraulica verso sud come riportato nelle cartografie specifiche elaborate.

Si individuano **due rami secondari** sviluppati rispettivamente ad Ovest ed Est dell'asta principale attuale. Il **ramo secondario Ovest** si sviluppa lungo il confine comunale di Pumenengo nel settore territoriale posto a NNE della C.na Dazi presentando un breve tracciato che convogliava le sue acque all'interno della vecchia asta principale in prossimità dell'intersezione con la strada di collegamento Pumenengo-Fontanella.

Il **ramo secondario Est** si diparte in direzione ENE dall'asta principale in prossimità del confine amministrativo di Pumenengo (poco più a nord rispetto al ramo Ovest) sino ad intersecare la Roggia Quaresima scorrendo al di sotto di quest'ultima. Qui il tracciato cambia direzione sviluppandosi in direzione Sud parallelamente alla Roggia Quaresima ed attraversando l'agglomerato di C.na Barbonina; in prossimità della strada Pumenengo-Fontanella devia in direzione Est sviluppandosi prima a N (primo tratto di un centinaio di metri) e poi a Sud della carreggiata, mutando nuovamente direzione verso S poco prima delle Colombare. Qui si ricollega alla strada per Torre Pallavicina scorrendo in direzione Sud e suddividendosi in due ulteriori diramazioni, entrambe sviluppate a lato strada, in prossimità della C.na Vezzoli.

Canale Gozzini (ex Dugale del Bue) (codice 016177-04): entra nel territorio di Pumenengo nei pressi di C.na Barbonino procedendo in direzione sud attraverso gli agglomerati di C.na Carnale, Colombare e C.na Tomboni; presso quest'ultima sovrappassa la Roggia Calciana spagliando nei campi direttamente ad Est della medesima.

Presso C.na Carnale si individua un ramo secondario sviluppato in direzione Ovest immissario della Roggia Serioletta della quale condivide il medesimo fosso per giungere a spagliare negli appezzamenti agricoli posti nell'intorno di C.na Rampina.

Analogamente, presso C.na Barbonino, si riconosce ancora il vecchio ramo principale (ad andamento curvilineo) allo stato attuale utilizzato solo saltuariamente per l'irrigazione di alcuni campi privati.

Roggia Quaresima (codice 016177-05): nasce nel territorio di Calcio derivando dal Naviglio Civico di Cremona ed entra nel territorio di Pumenengo poco a N di C.na Barbonina con ramo principale sviluppato in direzione Sud sino all'agglomerato di C.na Gandina; in questo luogo dall'asta principale si diparte un ramo secondario sviluppato in direzione Est, caratterizzato da diversi differenti spagliatori, e diviene al termine del suo percorso immissario della Roggia Panizzarda. A partire da C.na Gandina l'asta principale devia in direzione Ovest lungo la strada vicinale per poi riprendere in direzione sud secondo un tracciato curvilineo sino alla strada vicinale di C.na Baita; qui devia bruscamente prima verso est (sempre lungo strada) poi verso Sud seguendo il tracciato della strada di collegamento Pumenengo-Torre Pallavicina.

Roggia Fontana Bobia (codice 016177-06): nasce nel territorio di Pumenengo dalla testa del Fontanile denominato Fontana Bobia, ubicata nei pressi di C.na Pascolotto procedendo in direzione sud nel territorio di Torre Pallavicina.

Roggia Donna (Parmigiana) (codice 016177-07): si origina nel territorio di Calcio a partire dalla Roggia Donna con diramazione che prende il nome di Roggia Parmigiana, suddividendosi a sua volta in differenti rami; tra questi, nel territorio di Pumenengo sono distinguibili i seguenti:

1 - Asta principale della Roggia Parmigiana

2 - Roggia Serioletta

3 - Roggia Serioletta San Giorgio

1 - Asta principale della Roggia Parmigiana: si sviluppa in direzione N-S prevalente sino ad immettersi in una **vasca di raccolta** situata a nord di C.na Tomboni dove termina il suo percorso: da questa vasca si dipartono due differenti diramazioni denominate

Roggia Dugale di Mezzo

Roggia Dugale di Mattino

Il **Dugale di Mezzo** procede verso Sud sino a C.na Cortivelli, devia verso Ovest sino a C.na Tamburino per poi procedere deciso in direzione Sud sino al territorio di Torre Pallavicina.

Il **Dugale di Mattina** procede in modo irregolare (percorso a zig-zag) interessando C.na Tomboni, C.na Gazzaniga e C.na Malpaga dove assume direzione ovest prevalente sino ad intersecare via Torre; qui sottopassa la sede stradale deviando nuovamente verso sud in direzione di Torre Pallavicina.

Menzione particolare merita la **Roggia Dugale di Sera** la quale nasce da una derivazione della Roggia Calciana ubicata direttamente a Sud di C.na Tomboni; da qui procede in direzione Sud lungo il confine amministrativo di Pumenengo sino al territorio di Torre Pallavicina. Nei pressi di C.na Crivelli si individua l'inizio di un ramo secondario il cui sviluppo si estende per lo più nel territorio di Torre Pallavicina.

2 – Roggia Serioletta: nasce da una derivazione della Roggia Donna situata nel territorio di Calcio sviluppandosi in direzione N-S nel territorio di Pumenengo. All'altezza di divide in due rami dei quali quello orientale interessa C.na Finiletto (denominato **Ramo Finiletto**) e quello occidentale bagna C.na Rampina, C.na Colombarotto e C.na Malpaga (denominato **Ramo Malpaga**) immettendosi poi nella Roggia Dugale di Mattina. La complessità del percorso seguito invita a rimandarne la descrizione alla cartografia tematica realizzata.

Da ricordare inoltre la breve diramazione secondaria della Serioletta ubicata direttamente a Ovest del centro abitato di Pumenengo che termina spagliandosi nei campi posti a nord di C.na Finiletto.

3 – Roggia Serioletta San Giorgio: deriva anch'essa dalla Roggia Donna entrando nel territorio di Pumenengo direttamente ad Ovest del Santuario della Rotonda e procedendo in direzione sud costeggiando l'attuale abitato sino ad intersecare via De Gasperi; qui devia bruscamente verso Est seguendo lo sviluppo della suddetta via mediante un tratto tombinato; devia nuovamente in direzione sud (alveo a cielo aperto) intersecando via Tintorie e la Roggia Calciana (passandovi sopra) e seguendo il tracciato di quest'ultima (in sponda idrografica sinistra) sino all'edificio delle scuole elementari di via Europa; da qui ha inizio un lungo tratto tombinato sviluppato verso sud lungo via Matteotti sino a deviare nuovamente verso Est poco prima del cimitero. Qui si divide in due rami entrambi sviluppati verso oriente, intersecanti via IV Novembre e terminanti per spagliamento nei campi posti ad est della via medesima.

Naviglio Grande Pallavicino (codice 016177-08): derivato direttamente dalle acque del Fiume Oglio si sviluppa in direzione Nord-Sud attraverso l'intero territorio di Pumenengo. Le notevoli dimensioni che lo contraddistinguono lo portano ad essere la principale linea d'acqua di origine antropica presente nel settore territoriale investigato.

Roggia Calciana (codice 016177-09): Entra nel territorio di Pumenengo nei pressi del Santuario della Rotonda sviluppandosi parallelamente a via Santuario sino al centro abitato dove per buona parte risulta tombinata. Qui devia bruscamente verso Ovest, attraversando la suddetta via per poi procedere nuovamente in direzione sud sino all'edificio delle scuole elementari di viale Europa, dove procede nuovamente verso ovest seguendo (sul lato nord) il tracciato stradale di V.le Europa sino a C.na Colombare, dove piega nuovamente verso Sud sino a C.na Crivelli. Presso C.na Crivelli piega nuovamente verso Ovest per un lungo tratto delineando il limite amministrativo del territorio di Pumenengo sino ad entrare in quello di Fontanella.

Roggia Bocca Pumenenga (codice 016177-10): nasce da una derivazione della Roggia Calciana posta nel centro abitato di Pumenengo all'intersezione tra via Santuario e via Tintorie. Il suo primo tratto risulta tombinato sviluppandosi al di sotto del tratto terminale di via Santuario, Piazza Papa Giovanni XXIII e via Roma, dove devia bruscamente a sud poco prima di Piazza Castello attraversando l'abitato. Sempre in alveo tombinato prosegue in direzione sud lungo il limite orientale del campo sportivo riaffiorando a cielo aperto per un breve tratto posto a nord del cimitero. Torna in tombinato nel tratto prospiciente il cimitero per proseguire verso sud a cielo aperto sino alla C.na Cantù dove devia verso Est, attraversa via Torre, sovrappassa il Naviglio Grande Pallavicino per poi proseguire in direzione sud verso il territorio di Torre Pallavicina.

Cavo Molinara (codice 016177-11): nasce ad ovest dell'abitato di Pumenengo dall'unione di acque derivate del Fiume Oglio e, in minor misura, dal *Fontanile C.na Peschiera* sito in prossimità dell'omonima cascina. Si sviluppa in direzione sud all'interno della valle del Fiume Oglio raggiungendo il territorio di Torre Pallavicina attraverso un tracciato tipicamente sinuoso. Lungo il suo percorso sono stati individuati due rami secondari denominati entrambi *Roggia Presa Molinara*: il primo presenta breve sviluppo spagliando nei campi a nord di C.na Adua, mentre il secondo scorre ad Ovest di C.na Adua proseguendo poi verso l'alveo del Fiume Oglio dove si reimmette.

Roggia Fontana Vecchia (codice 016177-12): nasce dalla scaturigine del fontanile denominato Fontana Vecchia ubicato nella valle del Fiume Oglio all'altezza di C.na Adua, ai piedi del terrazzo morfologico del Livello Fondamentale della Pianura. Si sviluppa in direzione Sud con andamento sinusoidale in destra idrografica del Cavo Molinara sino ad entrare nel territorio di Torre Pallavicina. Nel suo percorso convoglia le acque di un piccolo fontanile con brevissima asta privo di nome, che denomineremo informalmente "Fontana Adua di Sotto".

Roggia Fontana Nuova (codice 016177-13): nasce dalla testa del fontanile denominato Fontana Nuova la cui testa si situa direttamente a sud della C.na Adua. Si sviluppa in direzione sud con andamento sinusoidale sino al territorio di Torre Pallavicina.

Lungo la valle del Fiume Oglio sono stati inoltre individuati colatori naturali aventi funzione specifica di drenaggio rapido delle acque di esondazione. Si tratta di brevi corsi d'acqua afferenti al fiume Oglio senza funzionalità irrigue specifiche. Nella cartografia elaborata sono stati segnalati solo i principali.

5.0 – INQUADRAMENTO CLIMATICO

Temperature — Le serie di dati termometrici più lunghe e significative sono quelle provenienti da stazioni esterne all'area di specifico interesse. Si è fatto riferimento, in particolare, ai dati della stazione di Bergamo, che è stata considerata rappresentativa (visti anche i limitati dislivelli in gioco) della porzione collinare e montana, e a quella di Chiari (BS), rappresentativa invece della parte di pianura (v. figura 02 a seguire)

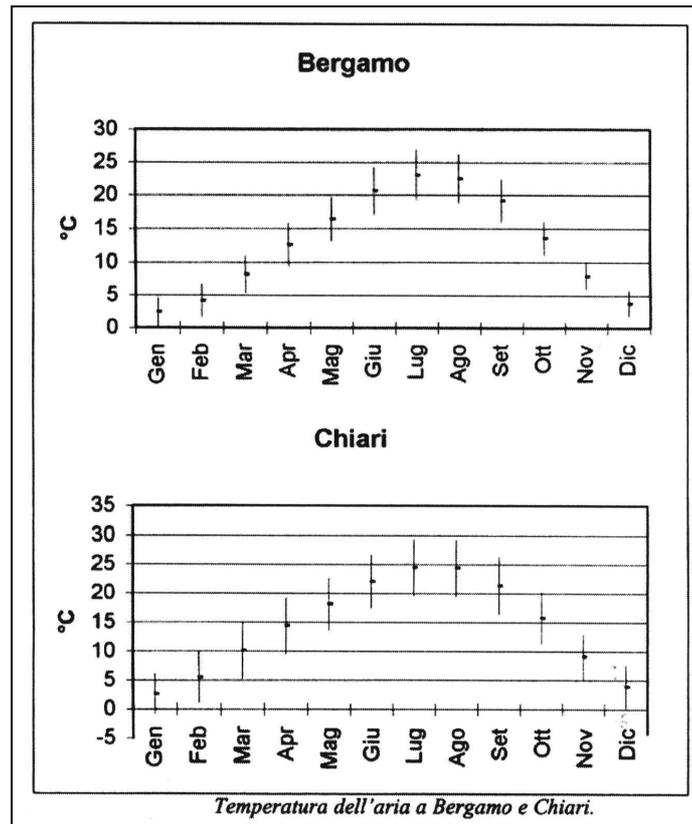


Figura 02: serie termometriche delle stazioni di Bergamo e Chiari

Per entrambe le stazioni si dispone di dati quasi trentennali; è interessante notare come l'escursione termica mensile (differenza fra media delle massime e delle minime giornaliere – v. figura 03 a seguire) risulti notevolmente maggiore a Chiari, rispetto a Bergamo: il clima di pianura, più caldo, risulta anche decisamente più continentale di quello dei primi rilievi.

<i>Temperatura dell'aria a Bergamo e Chiari.</i>															
Stazione	Quota m	Anni osserv.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Bergamo	366	1926-55													
Max			4.7	6.8	11.1	15.9	19.7	24.3	26.9	26.3	22.5	16	9.9	5.8	15.8
Min			0.1	1.6	5.3	9.3	13.0	17.0	19.1	18.7	15.9	11.1	5.9	1.8	9.9
Med			2.4	4.2	8.2	12.6	16.4	20.7	23.0	22.5	19.2	13.6	7.9	3.8	12.9
Chiari	148	1930-55													
Max			6.1	9.8	14.9	19.2	22.7	26.7	29.3	29.3	26.4	20.3	13.0	7.7	18.8
Min			-1.0	1.0	5.2	9.3	13.4	17.3	19.4	19.2	16.2	11.1	5.1	0.1	9.7
Med			2.6	5.4	10.1	14.3	18.1	22.0	24.4	24.3	21.3	15.7	9.1	3.9	14.3

Figura 03: dati relativi alla temperatura dell'aria nelle stazioni di Bergamo e Chiari

Precipitazioni — In questo caso la disponibilità di dati è superiore rispetto a quella delle temperature: sono state prese in esame (v. figura 04 seguire) le stazioni di Martinengo e Fontanella, accanto a quelle di Bergamo, Chiari, Cenate Sopra e Gandosso. Disponendo di serie rilevate in periodi diversi, è stato deciso di considerare quelle che avessero il massimo grado di sovrapposizione e quindi di confrontabilità: è stato pertanto studiato il trentennio 1921-50.

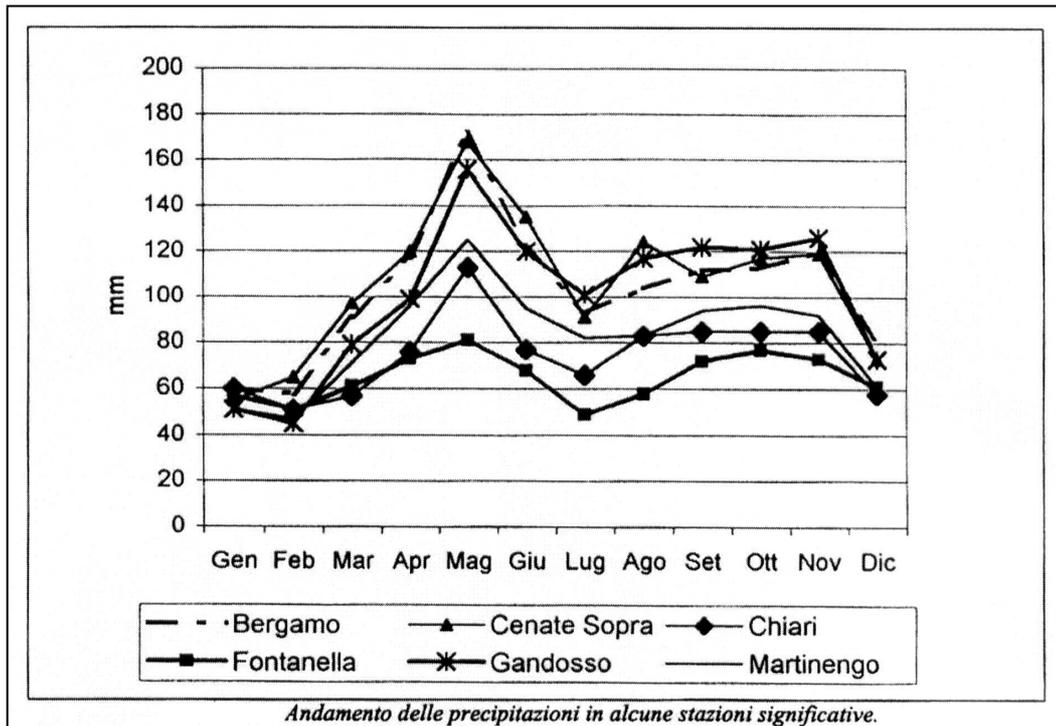


Figura 04: Andamento delle precipitazioni in stazioni prossime al territorio di Pumenengo

Esiste un sensibile gradiente pluviometrico nord-sud, pari a circa 500 mm/anno, dalla parte settentrionale più piovosa (Cenate Sopra: 1273 mm) a quella meridionale più secca (Fontanella: 781 mm); Questa situazione si può spiegare con la presenza dei rilievi prealpini, che fanno da barriera alle perturbazioni che risalgono da sud e sud-ovest, favorendo le precipitazioni su queste aree. In fig. 3.3 è visibile l'andamento mensile delle precipitazioni, dal quale si evince che il mese più piovoso è sempre quello di maggio; i massimi annuali sono due; il secondo (molto meno consistente del primo) si verifica per lo più in ottobre- novembre. Esistono anche due minimi: il principale in gennaio, il secondario in luglio. Questa distribuzione è ben evidente per le stazioni di collina, a maggior piovosità; appare sempre meno marcata quanto più si scende verso sud.

6.0 - INDAGINI GEOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE DI DETTAGLIO NEL SETTORE TERRITORIALE DI PUMENENGO

Nel presente aggiornamento della componente geologica sono state analizzate le indagini specifiche a suo tempo condotte ai fini della caratterizzazione generale del cotesto geologico territoriale.

6.1 - STRUTTURA DELLE INDAGINI CONDOTTE

Le indagini geologico-tecniche a suo tempo condotte, completate dalla realizzazione di rilevamenti geologici mirati, sono state utilizzate ai fini della definizione della struttura geologica e geologico-technica del territorio comunale. Le indagini sono state svolte in fasi diversificate quali:

Fase 01: analisi delle immagini aerofotogrammetriche

Preliminarmente all'esecuzione dei rilevamenti mirati si è proceduto all'analisi delle fotografie aree del territorio comunale di Pumenengo individuando in via preliminare le caratteristiche salienti dell'assetto geomorfologico territoriale. Sulla base di tale analisi preliminare sono stati pertanto programmati e condotti i successivi rilevamenti geologici e geomorfologici.

Fase 02: indagini geologico-technico sul terreno

- A - rilevamento geologico di dettaglio
- B - rilevamento geomorfologico di dettaglio
- C – raccolta ed esame di indagini geotecniche esistenti
- D - analisi dettagliata di dati derivanti da trincee esplorative, sondaggi geonostici disponibili

Fase 03: elaborazione e sintesi dei dati territoriali raccolti

- E - analisi di dati geotecnici in sito e di laboratorio a disposizione
- F - restituzione cartografica dei dati di rilevamento di superficie
- G - analisi e sintesi finale dei tutti i dati territoriali raccolti.

In questo modo è stato possibile produrre ed aggiornare le cartografie tematiche specifiche necessarie all'analisi territoriale finalizzata alla realizzazione della componente geologica del nuovo Piano di Governo del territorio comunale di Pumenengo.

6.2 - ANALISI ED INTERPRETAZIONE DELLE IMMAGINI AEROFOTOGRAMMETRICHE

Precedentemente alle fasi di rilevamento sul terreno è stata effettuata l'analisi speditiva delle immagini aerofotogrammetriche allo scopo specifico di ottenere una base interpretativa geologico-geomorfologica del territorio di Pumenengo. Il lavoro è stato svolto in fasi distinte:

- a - analisi delle immagini aerofotogrammetriche*
- b - prima restituzione grafica dei principali elementi geomorfologici territoriali*
- c - verifica mediante rilevamento geomorfologico delle strutture individuate*

Fase a: la prima individuazione delle principali strutture geomorfologiche del territorio esaminato è stata realizzata mediante l'analisi delle immagini aerofotogrammetriche fornite dall'Amministrazione comunale. L'interpretazione è stata condotta utilizzando apparecchiatura stereovisiva tridimensionale atta all'esecuzione di una particolareggiata analisi visiva.

Fase b: la prima fase restitutiva ha condotto all'identificazione degli elementi geomorfologici di primaria importanza, quali gli andamenti delle differenti serie terrazzate, scaricatori naturali (vallecole), zone di alveo attuale e di esondazione ecc... fornendo una prima chiave di lettura dell'intera struttura geo-morfologica del territorio esaminato. Gli elementi identificati sono stati riportati sulla base cartografica esistente per una prima analisi dell'evoluzione morfologica a breve termine e per la loro successiva verifica in sito mediante una specifica campagna di rilevamento.

Fase c: è stato condotto il rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio dell'intero territorio comunale, realizzato in fasi successive al fine di affinare il modello geologico di superficie dell'area ed approfondire aspetti strutturali specifici della medesima. La restituzione dell'intero lavoro è riassunta nella compilazione delle cartografie tematiche territoriali trattate nei paragrafi successivi.

Le singole fasi di lavoro sono state coadiuvate mediante l'utilizzo di mezzi informatici, immagini aeree e da satellite disponibili sulla rete informatica (Google, Live maps - Sting)

6.3 - STRUTTURA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO

E' stata condotta una campagna di rilevamenti finalizzati alla compilazione della carta geologica e geomorfologica di dettaglio (**Tavola 01**) del territorio comunale di Pumenengo.

6.3.1 - STRUTTURA GEOLOGICA DI DETTAGLIO

Unità Geologiche affioranti

La struttura geologica del territorio comunale di Pumenengo viene caratterizzata dalla presenza di unità formazionali di origine continentale quaternarie. In modo particolare, si tratta di depositi di origine fluvioglaciale e fluviale classificabili secondo il seguente schema stratigrafico:

Unità formazionale 01 - UNITA' POSTGLACIALE - Pleistocene Superiore - Olocene.

Essendo tale unità di nuova istituzione risulta necessario attuare un inquadramento circa le differenti denominazioni assunte da tali depositi nella letteratura geologica ufficiale. In letteratura i depositi corrispondenti all' Unità Postglaciale sono stati generalmente cartografati come "Alluvioni attuali, recenti, antiche e tardive" o come unità morfologiche (conoidi, coni e falde detritiche).

Si tratta di depositi alluvionali costituiti da ghiaie di varia pezzatura a prevalente supporto clastico associate a matrice sabbiosa (solo localmente dominante) in prevalenti strati planari con struttura variabile da massiva a laminata; nettamente subordinati i depositi coesivi. Tale definizione risulta valida essenzialmente per il settore di pianura.

I depositi fluviali dell'Unità Postglaciale vengono ulteriormente distinti dagli AA. in funzione delle aree di influenza dei principali fiumi (Adda, Brembo, Oglio e Serio), in modo da coglierne le caratteristiche distintive in funzione delle particolari situazioni deposizionali che hanno caratterizzato la sedimentazione fluviale olocenica a cui possono essere ricondotte.

I depositi fluviali del Fiume Oglio si rilevano all'interno della incisione valliva fluviale generatasi a partire dall'ultima fase di espansione glaciale presentando, come limite morfologico di separazione dai depositi fluvioglaciali (L.F.P.), orli di terrazzo ben delineati con dislivelli anche superiori ai 10 m.

I depositi postglaciali si presentano organizzati in una complessa serie terrazzamenti sviluppati su differenti livelli altimetrici. All'interno di questa unità sono stati distinti dagli AA. tre differenti ordini di terrazzi sulla base delle caratteristiche pedologiche:

- *depositi alluvionali con superficie limite superiore caratterizzata da Inceptisuoli rubefatti o da Alfisuoli poco espressi. Morfologie ancora in evoluzione (pg01).*
- *depositi alluvionali con superficie limite superiore caratterizzata da Inceptisuoli (pg02).*
- *depositi alluvionali con superficie limite superiore caratterizzata da Entisuoli (pg03).*

chiaramente rilevabili nella carta geologica di dettaglio elaborata (**Tavola 01**).

Unità formazionale 02 - Complesso dell'Oglio

Il *Complesso dell'Oglio* riunisce diverse unità legate al bacino fluviale del fiume Oglio nella sua accezione più ampia, in genere contraddistinte da profili di alterazione poco sviluppati e struttura morfologica ben conservate. Nel territorio comunale di Pumenengo è stata rilevata in affioramento l'Unità di Palosco di seguito descritta.

Unità di Palosco (Pleistocene medio e superiore)

Rappresenta i depositi informalmente definiti come appartenenti al "Livello Fondamentale della Pianura". Si tratta di sedimenti di origine fluvioglaciali contraddistinti da litologia granulare dominante data da depositi ghiaiosi di varia pezzatura, in prevalenza medi e grossolani ad elevato grado di arrotondamento associati a subordinata matrice sabbiosa. Presenza abbondante di ciottoli e localmente di blocchi di diametro metrico.

Presentano grado di cementazione da scarso ad assente, in genere organizzata in orizzonti di modesto spessore soprattutto nella parte centro sommitale della formazione.

Nella **Tavola 01** viene riportata la carta geologica di dettaglio del settore di specifico interesse e di un significativo intorno.

6.3.2 - STRUTTURA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO

Il territorio comunale di Pumenengo presenta un assetto morfologico differenziato, caratterizzato da due principali settori:

- Livello fondamentale della pianura (L.F.P.): ampia distesa pianeggiante monotona, avente pendenza media contenuta tra 1 e 3 per mille in progressivo dolce declivio in direzione Sud, con quote massime e minime comprese rispettivamente tra 113 m s.l.m. a Nord sino a 90 m s.l.m. a Sud
- Valle Fluviale del fiume Oglio: costituisce il limite orientale settore territoriale di Pumenengo risultando profondamente incisa nel L.F.P. e tipica strutturazione morfologica terrazzata.

Sulla base dell'interpretazione aerofotogrammetrica, seguita da rilevamenti geomorfologici specifici, è stata ricostruita nel dettaglio la struttura morfologia del territorio comunale con particolare riferimento alle seguenti strutture (v. **Tavola 01**):

- 1 - estensione ed andamento dei lineamenti strutturali delle differenti serie terrazzate**
- 2 - zone di divagazione principale dell'asta fluviale (alluvioni recenti)**
- 3 - zone di alveo attuali**
- 4 - strutture idrogeologiche di superficie (fontanili)**

1 - Lineamenti strutturali dei depositi terrazzati: il settore territoriale orientale del comune di Pumenengo si caratterizza per una morfologia tipicamente fluviale con serie differenziate di terrazzamenti e dislivelli altimetrici in progressivo aumento allontanandosi dall'asta fluviale principale. Le serie più antiche si ubicano a quote notevolmente maggiori rispetto alle più recenti (inversione della legge di sovrapposizione in ambiente fluviale), progredendo dolcemente verso le zone di alveo attuale. Sono state riconosciute quattro differenti serie terrazzate (dalla più antica alla più recente):

- A - serie terrazzata sommitale**
- B - I° sistema terrazzato intermedio**
- C - II° sistema terrazzato intermedio**
- D - serie di terrazzi minori sviluppati all'interno delle aree di esondazione recenti**

A - Serie terrazzata sommitale: rappresenta la serie più antica ed altimetricamente più elevata il cui sviluppo sommitale coincide con la formazione continentale del "Livello fondamentale della pianura" Auct.. Costituisce il testimone sedimentologico della prima fase erosiva fluviale con la progressiva formazione del marcato orlo di terrazzo ben riconoscibile per estensione e continuità laterale su entrambe le sponde orografiche del fiume Oglio. La serie terrazzata si sviluppa con direzione principale NNW-SSE interessando tutto il limite orientale del territorio comunale di Pumenengo lambendo il centro abitato.

B - I° sistema terrazzato intermedio: costituisce la più antica area di esondazione del fiume Oglio a tutt'oggi ben riconoscibile in sponda orografica sinistra nei territori comunali di Rudiano e Roccafranca. Si sviluppa altimetricamente a quote lievemente inferiori al livello fondamentale della pianura con dislivelli massimi di 3-4 metri circa. Costituisce un settore geologicamente stabile non più interessato in tempi storici da fenomeni esondativi. La definizione di tale sistema terrazzato, sebbene sviluppato al di fuori dell'area specifica di studio, costituisce un elemento strutturale fondamentale per l'analisi e la comprensione dei meccanismi evolutivo-strutturali dell'intero settore territoriale.

C - II° sistema terrazzato intermedio: si compone di una serie terrazzata con sviluppo altimetrico assai depresso rispetto al livello fondamentale della pianura, con dislivelli sino a 8-12 metri circa. Da un punto di vista strutturale costituisce il sistema intermedio tra il I° sistema di terrazzi e le aree di esondazione attuali e recenti, differenziandosi da queste ultime per dislivelli topografici dell'ordine di alcuni metri (2-3 metri massimo). La posizione di questi terrazzi varia a seconda dei caratteri energetici specifici del corso d'acqua e dalla estensione delle zone di divagazione del medesimo: nell'area di studio, come in tutta la sponda orografica destra del settore considerato, questi terrazzi si trovano direttamente a contatto con la prima serie terrazzata (terrazzo sommitale - livello fondamentale), mentre in sponda sinistra nel settore Rudiano Sud-Roccafranca, dove la strutturazione terrazzata primaria è completa, si rileva nella sua posizione intermedia originaria.

D - Serie di terrazzi minori sviluppati all'interno delle aree di esondazione recenti: rappresentano piccoli terrazzi a scarsa continuità laterale sviluppati all'interno delle aree di esondazione attuale e recente; presentano sviluppo altimetrico limitato in genere non superiore al metro, con orlature non sempre ben definite o incomplete a causa del rimodellamento morfologico naturale; fanno eccezione alcuni settori delimitanti l'alveo fluviale attuale, dove i dislivelli massimi possono raggiungere i 3-4 metri circa.

La struttura incompleta delle serie terrazzate rilevabili in sponda orografica destra, costituisce un indice sedimentologico di notevole importanza ai fini delle successive valutazioni geologico-territoriali: si tratta di aree con asta principale a forte energia trattiva con limitata possibilità di espansione delle aree di esondazione (zone di "stretta morfologica"), in cui l'azione fluviale ha ormai completamente eroso i terrazzamenti alluvionali più antichi deponendo le serie più recenti. Analizzando la struttura delle zone di alveo nel settore d'interesse è possibile rilevare come le progressive migrazioni in tempi recenti dell'asta fluviale abbiano determinato lo smantellamento completo della prima serie di terrazzi intermedi e buona parte della seconda serie che in alcuni settori appare come struttura relitta.

Tale situazione specifica induce sin d'ora a valutazioni conservative circa la vocazione d'uso e la destinazione programmatica degli interventi territoriali in questo specifico settore, in quanto aree ad elevato rischio ambientale. Questo aspetto verrà ulteriormente approfondito nei successivi paragrafi.

2 - Zone di divagazione principale dell'asta fluviale (alluvioni recenti): di fondamentale importanza ai fini dell'analisi geo-ambientale finalizzata alla definizione delle vocazioni d'uso del territorio è la identificazione degli elementi territoriali primari, degli agenti sedimentari in atto o pregressi e la previsione di massima delle possibili evoluzioni geomorfologiche all'interno dei differenti settori territoriali. L'analisi della cartografia morfologica specifica porta all'identificazione nel settore orientale del territorio di una vasta fascia depressa, altimetricamente omogenea, sviluppata alla base delle serie terrazzate, interessata in epoca recente ed attuale da fenomeni esondativi del fiume Oglio; le serie terrazzate minori presenti al suo interno costituiscono le tracce delle più recenti migrazioni dell'alveo attuale indicando una notevolissima attività erosivo-deposizionale fluviale. Come in precedenza accennato, il rapporto tra le superfici coperte dalle aree di divagazione attuali e recenti (alluvium recente) e quelle interessate dalle serie terrazzate più antiche (alluvium antico) conferma la notevole attività sedimentaria del corso d'acqua in quest'ambito territoriale. A differenza del settore compreso tra Rudiano Sud e Roccafranca in cui si riscontra un'ampia fascia alluvionale antica ormai stabilizzata, nell'area territoriale di Pumenengo sono rilevabili solo le serie terrazzate cronologicamente più recenti, arealmente assai ridotte in seguito all'azione erosiva fluviale; procedendo verso sud in alcuni casi le alluvioni recenti vengono a diretto contatto con il livello fondamentale della pianura, essendo già state erose tutte le serie terrazzate intermedie.

3 - Zone di alveo attuali: l'analisi comparativa delle cartografie territoriali di recente datazione (tavole I.G.M., C.T.R. regionali) e delle fotografie aeree esistenti mostra ancora una volta la rapida evoluzione delle strutture d'alveo del fiume Oglio, conseguenza della progressiva ed incessante migrazione dell'asta principale. Tale analisi (rivolta ad un brevissimo intervallo temporale - alcuni decenni) associata ai caratteri geomorfologici e strutturali dell'area, indicherebbe la polarità di migrazione dell'asta fluviale con progressivo spostamento del letto d'alveo verso Ovest. Da qui troverebbero spiegazione sia la serie terrazzata antica stabilizzata in sponda orografica sinistra (I^a serie terrazzata - sponda orografica sinistra sviluppata a Sud di Rudiano) sia la disposizione strutturale della II^a serie terrazzata in corrispondenza della stretta morfologica Pumenengo-Rudiano: in quest'ambito in sponda sinistra (Rudiano) la II^a serie, ormai completamente erosa, è stata sostituita dalle alluvioni recenti, mentre in sponda destra (Pumenengo) tale serie risulta ancora visibile e caratterizzata da evidenti tracce erosionali recenti.

Nella **Tavola 01** viene riportata la carta geologica e geomorfologica di dettaglio del settore territoriale di Pumenengo sopra descritto.

6.4 - STRUTTURA IDROGEOLOGICA DI DETTAGLIO DEL TERRITORIO

Gran parte della pianura bergamasca risulta assai ricca di risorse acquifere che permeano a varia profondità le alluvioni che compongono il sottosuolo della pianura medesima. I depositi del Livello Fondamentale (L.F.P.) costituiscono una estesa pianura di origine fluvioglaciale ed alluvionale incisa dalla valle fluviale del Fiume Oglio. Si presentano con litologie dominanti incoerenti e strato di alterazione superficiale di spessore assai contenuto, in genere mal conservato a causa dell'attività antropica. I caratteri tessiturali di questi depositi possono essere distinti da Nord verso Sud secondo fasce territoriali a granulometria omogenea e decrescente: depositi prevalentemente grossolani (ghiaia, sabbia, ciottoli) nel settore settentrionale della pianura progressivamente decrescenti, come dimensione del fuso granulometrico verso Sud.. Le litozone caratteristiche identificate come elementi principali costituenti il sottosuolo e riconosciute come "**Unità Idrogeologiche**" all'interno dell'area d'interesse sono le seguenti:

- **Unità Ghiaioso-sabbiosa**
- **Unità Conglomeratica**
- **Unità Villafranchiana**

- **Unità ghiaioso-sabbiosa:** la litologia dominante è rappresentata da ciottoli ghiaia e sabbia con locali intercalazioni conglomeratiche in genere di spessore e continuità laterale limitata. Formatasi in seguito all'attività fluvioglaciale Wurmiana, rappresenta la sede del complesso acquifero tradizionale (primo acquifero)

Lo spessore di tale unità varia sensibilmente a seconda del settore considerato: tra Scanzorosciate e Seriate assume potenza tra 5 e 15 metri mentre a Sud di Cavernago aumenta progressivamente superando i 30-40 metri di spessore.

- **Unità conglomeratica:** rappresenta una alternanza di sedimenti argillosi, sabbioso-ghiaiosi o ghiaiosi più o meno cementati a costituire, nel territorio considerato, intercalazioni arenacee e/o conglomeratiche di limitato spessore e continuità laterale.. La massima potenza di questa unità è stata rilevata presso i settori di Gorla-Seriate-Grassobbio con spessore variabile da 50 a 70 metri. Procedendo verso Nord, in prossimità di Villa di Serio si assiste al progressivo assottigliamento della litozona conglomeratica con la comparsa in prossimità del territorio comunale di Nembro di depositi ghiaiosi a diverso grado di cementazione a diretto contatto con depositi limoso-argillosi pliocenici. Analogamente procedendo dal territorio di Cavernago in direzione sud si assiste al progressivo assottigliamento dell'unità risultando ancora in parte osservabile, sebbene con limitati spessori, nel sottosuolo di Calcio e Pumenengo; altresì raggiunge la completa estinzione laterale nel settore territoriale di Martinengo, Romano di Lombardia ed Antegnate.

- **Unità Villafranchiana:** litologicamente è costituita da sedimenti limoso-argillosi associati a rare intercalazioni ghiaiose, solo localmente conglomeratiche. I depositi si caratterizzano per progressivo mutamento cromatico con colorazioni variabili a seconda della profondità da giallo brunastre a grigio verdi sino a grigio scure in seguito alla presenza di carbonio organico (torbe); abbondante la fauna a macrofossili costituita da bivalvi e gasteropodi a testimoniare l'instaurazione di condizioni di sedimentazione tipicamente marina. Lo spessore di tale litozona è stato stimato superiore a 50 metri.

Per evidenziare la struttura idrogeologica a livello locale è stata elaborata una sezione idrogeologica, con andamento NW/SE, la cui traccia è riportata sulla sezione medesima. La sezione evidenzia la presenza in superficie dalla **unità idrogeologica ghiaioso-sabbiosa** costituita prevalentemente da ghiaia e sabbia associati a frequenti livelli a ciottoli. Localmente sono presenti sottili lenti limoso-argillose. Dalle stratigrafie dei pozzi risulta che questa unità ghiaioso-sabbiosa si sviluppa sino a circa 55-60 m di profondità. A profondità superiore segue l'unità idrogeologica a conglomerati costituita da alternanze di conglomerati, argille, ghiaie, sabbie e arenarie; tale unità,

intercettata dai pozzi comunali di via Europa – Cascina Barbino e dal pozzo privato dell'Azienda Agricola Facchinetti Luigi, si spinge sino ad oltre 80 m di profondità. Inferiormente è presente l'unità più antica, denominata "unità Villafranchiana", rappresentata da argille e argille limose grigio-azzurre contenenti livelli ghiaioso-sabbiosi. L'unità ghiaioso-sabbioso è caratterizzata da alta permeabilità e ospita una cospicua falda libera captata da numerosi pozzi privati. Tale falda viene alimentata dall'infiltrazione diretta delle acque meteoriche e di quelle di alveo e di subalveo dei corsi d'acqua. In profondità i livelli a bassa permeabilità dell'unità a conglomerati, caratterizzati da una certa continuità laterale, separano gli orizzonti acquiferi dando origine a falde semiconfinare.

Allo stato attuale nel territorio di Pumenengo sono presenti n° 02 pozzi pubblici di captazione idropotabile attivi ed n°01 dimesso; in particolar e:

Opera di captazione	Concessionario	Profondità	Foglio	mappale	Stato attività
Pozzo via Europa	Aqualis S.p.a.	65 m	04	174	Attivo
Pozzo C.na Barbonina	Aqualis S.p.a.	90 m	03	81	Attivo
Pozzo C.na Barbonina	Aqualis S.p.a.	14,5 m	03	81	Dismesso

I dati identificativi dei pozzi pubblici attivi sopra citati vengono riportati nelle "Schede Pozzi" in **Allegato 01** a fine lavoro. Sul territorio comunale sono inoltre presenti diversi pozzi privati per alcuni dei quali risultano disponibili anche i dati stratigrafici. A completamento dello studio è stata redatta una sezione idrogeologica di dettaglio riportata in **Allegato 02** a fine lavoro. Nella **Tavola 02** viene riportata la carta idrogeologica di dettaglio del comune di Pumenengo.

6.4.1 - STRUTTURAZIONE DEI COMPLESSI ACQUIFERI

Il modello idrogeologico del settore territoriale considerato permette di distinguere tre differenti complessi acquiferi principali:

- **il primo corpo acquifero**, quello più superficiale, è costituito da depositi relativamente recenti, riferibili ai litotipi di origine fluvioglaciale ed alle coperture alluvionali generate dai corsi d'acqua attuali. A causa dell'esigua soggiacenza dal piano campagna risulta essere poco protetto dagli agenti inquinanti; trae alimentazione dalle acque di infiltrazione che possono trasportare eventuali elementi di contaminazione. A questo acquifero appartengono anche le principali strutture produttive, impostate sui paleoalvei dei corsi d'acqua nella zona pedemontana, caratterizzati da antiche valli fluviali e fluvioglaciali successivamente colmate da depositi ad elevata permeabilità;

- **il secondo corpo acquifero**, intermedio, è costituito dai livelli meno cementati dei conglomerati e da orizzonti ghiaioso-sabbiosi che spesso costituiscono la base dei conglomerati medesimi. Il contatto, a letto, con i limi del Villafranchiano, delimita in profondità l'estensione dell'acquifero, che trae alimentazione indirettamente dalle acque di infiltrazione.

- **il terzo corpo acquifero** è costituito da una serie sedimentaria a litologia coesivo dominante in cui sviluppano intercalazioni lenticolari ghiaioso-sabbiose sede di falda acquifera (Unità del Villafranchiano). Data la sua profondità e le caratteristiche di bassa permeabilità dei depositi limosi, l'acquifero risulta ben protetto dagli agenti inquinanti, tuttavia denuncia una scarsa attività di rialimentazione ed una limitata possibilità di sfruttamento, a causa anche della estensione limitata delle lenti ghiaioso-sabbiose che fungono da serbatoio.

Tutti gli acquiferi presentano un gradiente verso S-SE, con caratteri specifici variabili a livello locale. I processi erosionali di natura meteorica e fluviale, localmente hanno messo a contatto l'acquifero superficiale con la superficie topografica, specialmente in corrispondenza di incisioni vallive. In questo modo si ha un'alimentazione diretta derivante dalle precipitazioni meteoriche e dalle acque

dei corsi d'acqua. I vari acquiferi possono trovarsi in comunicazione mediante superfici erosionali difficilmente ricostruibili, dato il loro andamento estremamente irregolare. Il primo ed il secondo acquifero sono presumibilmente comunicanti attraverso strutture geologiche sepolte quali paleoalvei e/o paleovalli create dalle incisioni fluviali, mentre il terzo viene alimentato mediante la filtrazione d'acqua attraverso i livelli e le zone più permeabili dell'unità limoso-argillosa Villafranchiana.

6.4.2 - CARTA DELLE ISOPIEZOMETRICHE DEL PRIMO COMPLESSO ACQUIFERO NEL SETTORE TERRITORIALE DI SPECIFICO INTERESSE

Nel territorio di Pumenengo il primo complesso acquifero presenta una direzione di deflusso principale verso S nella zona occidentale e verso SE nel settore orientale, ovvero in prossimità dell'incisione della valle fluviale dell'Oglio. Tale variazione è legata alla condizione alimentante della falda rispetto al fiume Oglio medesimo lungo tutta la sua lunghezza che comporta un netto richiamo verso nord delle isofreatiche. La quota della falda, nel comune di Pumenengo, presenta un dislivello complessivo di circa 15 m, sviluppandosi da 105 m s.l.m. nella zona Nord (confine con Calcio), a 90 m s.l.m. presso il limite Sud del territorio comunale; il gradiente piezometrico medio risulta pertanto stimabile pari a circa il 4 ‰. I dati evidenziano una netta differenza di soggiacenza della falda tra i pozzi situati sul livello fondamentale della pianura, dove la superficie piezometrica si trova tra 5 e oltre 10 m di profondità dal piano campagna, e i pozzi presenti all'interno della valle del fiume Oglio, dove la falda si trova tra 1 e 3 metri di profondità dal piano campagna.

L'andamento delle isopiezometriche all'interno del territorio comunale viene restituito nella carta idrogeologica riportata nella **Tavola 02a** fine lavoro.

6.4.3 - ALIMENTAZIONE E RICARICA IDRICA DEL SOTTOSUOLO

Le acque sotterranee del territorio in esame derivano nella loro totalità dalle precipitazioni meteoriche che penetrano attraverso il suolo delle conoidi alluvionali costituenti il bacino dei corsi d'acqua Cherio, Oglio, Serio, Brembo, Adda e scorrono verso la bassa pianura costituendo un sistema di falde sovrapposte a diverse profondità, talora prossime alla superficie e con essa interferenti secondo la "linea di affioramento dei fontanili". L'ufficio Idrografico del Po' ha installato nell'area tra il fiume Adda e il fiume Oglio alcune stazioni che permettono il controllo e la misurazioni della quantità e i cicli di caduta delle piogge consentendo di studiarne i rapporti con i corpi idrici sotteranei. A causa del susseguirsi di cicli stagionali comprendenti anni a forti o scarse precipitazioni, il volume delle acque affluite nel territorio varia sensibilmente: nell'arco dell'anno solare al variare dei cicli stagionali la quantità affluita e assorbita dal terreno condiziona in modo determinante le variazioni di soggiacenza del corpo acquifero più superficiale e le potenzialità idriche dei complessi acquiferi.

La ricarica idrica del sottosuolo avviene in **modo diretto** quando la permeabilità del suolo permette la rapida infiltrazione delle acque meteoriche ed in **modo indiretto** quando le acque meteoriche, prima convogliate nei corsi d'acqua superficiali, si infiltrano nel sottosuolo attraverso i materassi sedimentari ghiaiosi grossolani che compongono gli alvei medesimi. In genere ogni bacino idrografico presenta la combinazione delle due condizioni di ricarica idrica. Una volta penetrate nel sottosuolo, le acque sotterranee vanno a costituire le falde acquifere in senso lato, il cui comportamento e la cui distribuzione dipendono dalle caratteristiche di alimentazione idrica, dai caratteri litologici e dalla geometria della roccia/terreno serbatoio che le contiene.

6.4.4 - VARIAZIONI PIEZOMETRICHE DELLA PRIMA FALDA ACQUIFERA

L'andamento stagionale delle *oscillazioni della superficie del primo complesso acquifero* ("Acquifero Tradizionale), connessa alla variazione degli *apporti idrici meteorici ed irrigui*, è stata a lungo studiata dagli AA. attraverso l'analisi incrociata dei dati pluviometrici, d'irrigazione e freaticometrici delle differenti stazioni di monitoraggio piezometrico esistenti nell'intorno del settore di specifico interesse (ad es. Romano di Lombardia, Treviglio, Fontanella ecc...). I numerosi studi effettuati dagli AA. permettono di trarre le seguenti considerazioni:

- il confronto tra la curva di precipitazione relativa alle stazioni pluviometriche di Martinengo e Romano di Lombardia ed i rispettivi trend evolutivi di oscillazione piezometrica dimostra l'esistenza di una correlazione diretta tra le due differenti serie di dati: le variazioni di soggiacenza del primo complesso acquifero presentano infatti un andamento pressochè omogeneo, senza crescite o decrescite accentuate, ma con una corrispondenza di massimi e minimi valori con la curva delle precipitazioni.
- Pertanto in questa zona, in assenza di apporti irrigui esterni all'area, sussiste un rapporto diretto tra variazioni freaticometriche e quantità di precipitazioni meteoriche.
- Tale trend evolutivo risulta ben rappresentato anche nel settore di specifico interesse (Antegnate-Calcio- Pumenengo) in cui sussistono caratteri idrogeologici, idraulici e pluviometrici del tutto assimilabili al settore territoriale sopra citato, ubicato a breve distanza delle aree oggetto del presente studio.

6.4.5 - STRUTTURE IDROGEOLOGICHE DI SUPERFICIE: I FONTANILI

Elementi caratterizzanti a livello locale l'assetto morfologico del territorio di Pumenengo sono rappresentati dalle strutture di canalizzazione irrigua e dai fontanili. Questi ultimi sebbene di preminente significato idrogeologico, vengono ad assumere nell'ambito specifico anche un notevole significato territoriale quale componente morfologica da preservare ai fini di eventuali interventi antropici. Il fontanile presenta una struttura morfologica composita costituita da una testa scavata al di sotto del piano campagna (polla) all'interno della quale si rilevano piccoli sifoni di risalita costituiti da tubazioni infisse nel terreno, vasellame o tinozze in terracotta: queste determinano un'agevolazione nella risalita delle acque sotterranee all'interno della polla. L'acqua delle scaturigini viene quindi incanalata attraverso una roggia detta "asta del fontanile" ed impiegata generalmente ad esclusivo scopo irriguo. Il territorio di Pumenengo si estende ad est del "limite della fascia dei fontanili", venendo interessato solo marginalmente da queste strutture idrogeologiche; sono stati comunque catalogati i principali fontanili esistenti in un significativo intorno dell'area di studio in quanto elementi paesistico-territoriali di notevole importanza:

<u>Nome del Fontanile</u>	<u>Comune</u>	<u>Quota piano campagna (m s.l.m.)</u>	<u>Quota testa fontanile (m s.l.m.)</u>
Fontana Bobia (C.na Pascolotto)	Pumenengo	106 m	≈ 103 m
Fontana Vecchia	"	93.8 m	≈ 91.0
Fontana C.na Adua	"	92.3 m	≈ 90.0
Fontananuova	"	92.5 m	≈ 90.2
Fontana Fontanone	Fontanella	103.7 m	100.1 m
Fontana Vecchia	"	103.5 m	100.0 m
Fontana Livrera	"	99.4 m	96.1 m
Fontana Capriolo (Nuova)	"	103.6 m	≈ 100.3 m

Durante le fasi di rilevamento i fontanili sopra elencati, ubicati nel territorio di Pumenengo, sono risultati asciutti.

6.4.6 - INQUADRAMENTO CIRCA LA MINERALIZZAZIONE TOTALE DELLE ACQUE

Tale inquadramento, tratto da studi precedenti svolti nel comprensorio territoriale in cui si inserisce Pumenengo, sebbene datati, risultano di estremo interesse al fine della comprensione delle dinamiche di circolazione idrica sotterranea nei differenti settori che compongono la media pianura bergamasca.

La quantità dei sali disciolti nelle acque sotterranee, calcolata attraverso la conducibilità elettrica o misurata per pesata ed espressa in mg/l o in ppm, rappresenta il raggiungimento di condizioni di equilibrio chimico dell'acqua, per la durata del tempo di contatto con il terreno. Essa dipende dalla natura del bacino ovvero dalle condizioni fisiche e litologiche generali della struttura del bacino idrogeologico di appartenenza. La messa in soluzione di sali da parte dell'acqua di precipitazione (giunta per infiltrazione nel sottosuolo ed in esso scorrente) determina la composizione chimico-mineralogica dell'acqua, caratteristica di ciascuna regione idrogeologica ed in particolare tipica per ogni determinato bacino idrografico ed idrogeologico.

L'esame della mineralizzazione delle acque sotterranee di questo comprensorio territoriale, espressa analiticamente come "residuo fisso", permette di definire le analogie o le differenze della facies chimica dei **tre grandi bacini idrogeologici** dell'**Adda**, **Serio** e **Oglio**. Sono state distinte tre differenti zone contraddistinte da distribuzione dei valori di mineralizzazione omogenei e/o comparabili:

Zona Orientale: costituisce l'area interfluviale tra i fiumi Serio e Oglio e di diretta influenza del fiume più orientale. E' caratterizzata da una discreta omogeneità di valori di mineralizzazione, generalmente bassi, che tendono ad abbassarsi ulteriormente man mano che ci si avvicina all'asta fluviale dell'Oglio. Risulta evidente pertanto che la fascia di valori superiori a 400 mg/l che si sviluppa sull'allineamento Martinengo – Romano – Isso rappresenta l'area di spartiacque idrogeochimico tra il bacino del fiume Oglio e quello del fiume Serio.

Zona Centrale: caratterizzata dai valori di mineralizzazione più bassi di tutto il comprensorio in esame, che si ritrovano in corrispondenza dell'asse del fiume Serio. Allontanandosi progressivamente dall'asta fluviale i tenori di concentrazione tendono ad aumentare, uniformandosi ai valori medi delle zone interfluviali. Questo effetto è il risultato della funzione drenante del corso d'acqua sulla struttura sotterranea; infatti il fiume esercita un richiamo delle acque di falda, testimoniato peraltro dalla linea di affioramento dei fontanili, che segue l'andamento dell'alveo fluviale da Nord a Sud.

In tale zona pertanto confluisce un volume idrico notevolmente elevato che produce una diluizione rispetto ai valori di fondo che caratterizzano tutta l'area in esame. Questa diluizione risulta tanto più elevata quanto più ci si avvicina all'asse di drenaggio principale.

Zona Occidentale: risulta compresa tra la linea occidentale di affioramento dei fontanili e il corso del fiume Adda. In questa zona risultano di particolare significato due aree caratterizzate da un elevato grado di mineralizzazione; la prima dove si osservano punte tra i 500 e i 700 mg/l si sviluppa tra Castelrozzone e Treviglio, la seconda, a Sud di Treviglio, presenta valori superiori ai 1000 mg/l con punte oltre i 1800 mg/l. Tali valori, per il loro significato estremamente anomalo rispetto alle concentrazioni medie che si rinvergono nel territorio in esame, sono attribuite dagli AA. a fenomeni di contaminazione esterna, per inquinamento o immissione nel sottosuolo. Analogamente a quanto si può osservare nella zona orientale, lungo il corso dell'Oglio, si rinvergono fasce territoriali contraddistinte da valori di mineralizzazioni nettamente minori.

6.4.7 – CHIMISMO DELLA RISORSA IDRICA IDROPOTABILE

La risorsa idrica idropotabile attualmente disponibile per il territorio di Pumenengo deriva dai pozzi comunali sopra elencati arealmente distribuiti nel centro storico di Pumenengo e presso la località Cascina Barbonina. I dati idrochimici, messi a disposizione in rete dalla Provincia di Bergamo, si riferiscono ad analisi di idropotabilità su campioni derivanti dal pozzo comunale di Via Europa attualmente gestito dalla azienda Aqualis S.p.a.. Gli esiti delle determinazioni individuano condizioni di chiara conformità della risorsa idrica con i limiti normativi vigenti. Commenteremo brevemente i risultati "medi" delle determinazioni chimiche sopra citate riferite all'anno 2009.

pH

Il parametro pH definisce il grado di acidità o basicità delle acque potabili. Il pH dell'acqua distillata e priva di anidride carbonica disciolta è 7,00 a 25 °C e definisce la condizione di neutralità; ovvero pH inferiori a 7 indicano condizioni di acidità, superiori di basicità. Il pH delle acque minerali naturali è generalmente compreso tra 6,5 e 8,0 ma in certe acque termali si registrano anche valori inferiori a 5 per caratteristiche legate alla geologia del territorio. Il valore medio di riferimento per **Pumenengo** risulta pari a 7,75 (acque debolmente basiche) pienamente rientrante nei parametri normativi definiti dal D.Lgs 31/2000.

Conducibilità elettrica

I sali disciolti nell'acqua in forma ionica, cioè dotati di una o più cariche elettriche, determinano il grado di conducibilità del mezzo acquoso ovvero la capacità dell'acqua a condurre energia elettrica. Poiché si riscontra un aumento della conducibilità elettrica in modo proporzionale alla quantità delle sostanze disciolte, questo è un parametro utile per ottenere una misura, seppur approssimata, del contenuto di sali disciolti. L'acqua molto "pura" (distillata, deionizzata, ecc.) presenta una conducibilità elettrica molto bassa (circa 1 microsiemens per cm - $\mu\text{S/cm}$). La maggior parte delle acque minerali commercializzate presenta conducibilità elettrica compresa fra 100 e 700 $\mu\text{S/cm}$. Il valore medio rilevato a **Pumenengo** risulta di 453,5 $\mu\text{S/cm}$ quindi in media con la qualità delle acque minerali sopra citate.

Residuo fisso

I componenti principali (talvolta chiamati macrocostituenti o sali disciolti) delle acque sono: sodio, potassio, calcio, magnesio, cloruri, solfati e bicarbonati. Talvolta anche i nitrati fanno parte dei componenti principali. Le acque destinate al consumo umano si diversificano fra loro per il diverso contenuto di queste sostanze: avremo acque con contenuto di sali elevato, medio e basso. E' il residuo fisso il parametro che esprime il quantitativo dei sali disciolti in acqua (mineralizzazione). Il Residuo fisso a 180 °C corrisponde alla parte solida che rimane, dopo aver evaporato alla temperatura di 180 °C, un litro di acqua. Nelle acque destinate al consumo umano il residuo fisso costituisce un parametro di notevole importanza perché permette di classificare le acque potabili. La classificazione prevista dal Decreto Lgs. 105/92 è la seguente:

- minimamente mineralizzata:	fino a 50 mg/l
- oligominerale o leggermente mineralizzata:	da 50 a 500 mg/l
- ricca di sali minerali:	oltre 1500 mg/l

Non esiste una definizione per l'intervallo di residuo fisso 500 - 1500 mg/l: si potrebbe in tal caso introdurre la definizione "mediamente mineralizzata". Nelle analisi a disposizione tale parametro non viene determinato.

Durezza

La durezza è connessa al contenuto di calcio e magnesio ed è espressa in gradi francesi: 1 grado francese corrisponde a 10 mg/l di carbonato di calcio. Il termine "durezza" è stato usato in passato per quantificare la capacità di un'acqua a causare la precipitazione di composti insolubili di calcio e magnesio dai corrispondenti saponi alcalini usati come detergenti. In origine il concetto di durezza esprimeva quindi la maggiore o minore capacità di un'acqua nel produrre "schiuma" se addizionata ad una certa quantità di sapone: la presenza di calcio e magnesio riduce infatti la formazione della "schiuma" limitando il "potere lavante" dell'acqua. Vi sono

diverse scale di classificazione della durezza delle acque che quasi mai sono in accordo; fra queste si può riportare la seguente:

acque leggere o dolci:	durezza inferiore a 15 °F ;
acque mediamente dure:	durezza compresa tra 15 e 30 °F ;
acque dure:	durezza superiore a 30 °F .

Una seconda classificazione molto diffusa, basata sui termini di concentrazione equivalente di CaCO_3 , è la seguente:

acque dolci:	CaCO_3	da 0 a 60	mg/l
acque medio-dure:	CaCO_3	da 60 a 120	mg/l
acque dure:	CaCO_3	da 120 a 180	mg/l
acque molto dure:	CaCO_3	superiore a 180	mg/l

Non esiste un valore limite per la durezza né per le acque minerali, né le acque potabili, bensì un intervallo consigliato compreso fra 15 e 50 °F. Una durezza media o elevata potrà determinare variazione nel gusto dell'acqua, ma non problemi di ordine sanitario. Le acque potabili di **Pumenengo** presentano una durezza media totale di 242,5 rientrando nella classe tipologica di "acque molto dure" (classificazione in "concentrazione equivalente").

Calcio

Il calcio è un elemento presente in molti minerali costituenti i depositi sedimentari "serbatoio" naturali. Quantità elevate di calcio nelle acque indicano generalmente la provenienza da serbatoi costituite da rocce a litologia calcarea (carbonato di calcio) e dolomitica (carbonato doppio di calcio e magnesio). Nelle acque minerali e idropotabili in generici valori di calcio che più frequentemente si riscontrano sono compresi fra 50 e 150 mg/l. Quando il tenore di calcio è superiore a 150 mg/l l'acqua può essere definita "calcica". Non è stato definito un limite normativo per l'assunzione di questo elemento dalle acque. Nelle analisi a disposizione tale parametro non viene determinato.

Magnesio

Anche il magnesio è un elemento diffuso in molti minerali costituenti i depositi "serbatoio". Concentrazioni elevate si riscontrano nelle acque derivanti da acquiferi costituiti da sabbie e ghiaie con litici a composizione carbonatica dominante o da ofioliti. In questi casi si raggiungono valori fino a 100 mg/l. Quando il tenore di magnesio supera il valore di 50 mg/l l'acqua viene definita "magnesiaca". Non vi sono controindicazioni all'impiego di acqua con magnesio in quantità ragionevolmente più elevata; Nelle analisi a disposizione tale parametro non viene determinato.

Cloruri

I cloruri sono presenti in tutte le acque fluviali, lacustri e sotterranee grazie alla mobilità e solubilità di questo ione. Nelle acque sotterranee, generalmente, si possono riscontrare concentrazioni variabili da pochi mg/l fino a 1000 mg/l; quantità più elevate sono presenti nelle acque che vengono in contatto con rocce evaporitiche (salgemma). Per **Pumenengo** il valore rilevato risulta pari a 5 mg/l rientrando pienamente nei limiti normativi.

Solfati

I solfati sono presenti in tutte le acque fluviali, lacustri e sotterranee; si possono riscontrare concentrazioni da pochi mg/l fino 1500 mg/l e oltre a seconda dei caratteri geologici delle rocce/sedimenti serbatoio; quantità più elevate si osservano nelle acque che vengono a contatto con sedimenti evaporitici e gesso. Nelle analisi a disposizione tale parametro presenta un valore medio pari a 26 mg/l rientrando pienamente nei limiti normativi.

Ferro

Nelle acque superficiali in ferro è in genere presente nella forma ferrica; nelle acque ben aerate le concentrazioni di ferro risultano particolarmente basse in virtù dei composti insolubili prodotti dal ferro ferrico. In condizioni riducenti come quelle che si instaurano per le acque sotterranee le concentrazioni di ferro ferroso possono risultare molto più elevate (Hem, 1972). Per **Pumenengo** il valore medio rilevato risulta inferiore a 10 µg/l rientrando pienamente nei limiti normativi.

Nitrati

I nitrati sono presenti in tutte le acque per fenomeni naturali o per conseguenza di attività antropiche. Composti azotati, successivamente trasformati in nitrati, si formano nell'atmosfera per azione delle scariche elettriche. Con la pioggia penetrano nel suolo e raggiungono le acque sotterranee. Altri fenomeni naturali (nitrificazione delle sostanze vegetali) concorrono alla produzione di nitrati. Quantità elevate di nitrati nelle acque sono in genere imputabili all'azione dei fertilizzanti azotati. Per **Pumenengo** il valore medio rilevato nel pozzo di via Europa risulta pari a 15 mg/l rientrando pienamente nei limiti normativi.

Per la consultazione dei dati idrochimici originali sopra citati si rimanda al sito internet ufficiale della Provincia di Bergamo.

6.4.8 – VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO

Sulla base delle condizioni geologiche, geolitologiche ed idrogeologiche individuate è stata attuata la stima del grado di vulnerabilità dell'acquifero nel settore di specifico interesse. La procedura di valutazione prescelta in tal senso è stata quella suggerita da *Foster S.S.D. (1987)* e rappresentata dal **metodo GOD**; in tale procedura semplificata vengono considerati i seguenti elementi di valutazione primaria:

- *caratteristiche idrauliche dell'acquifero considerato ("Groundwater occurrence")*
- *classe complessiva dell'acquifero con descrizione del grado di fessurazione e capacità di attenuazione ("Overall aquifer class")*
- *soggiacenza della tavola d'acqua ("Depth groundwater table")*

Associando tali elementi primari si individua qualitativamente il grado di vulnerabilità dell'acquifero ovvero il potenziale grado di esposizione del medesimo all'eventuale contaminazione da agenti inquinanti esterni.

Sono state definite due differenti condizioni idrogeologiche generali riferite all'assetto geologico dei settori territoriali sviluppati al di sopra del livello fondamentale della pianura ed ai settori sviluppati all'interno della valle fluviale del fiume Oglio.

I valori di input attribuiti alle differenti fasi di analisi sono stati i seguenti

**Metodo GOD – Valutazione speditiva Vulnerabilità dell’acquifero
(Foster S.S.D. – 1987)**

Assetto Idrogeologico A

Settori territoriali situati sul sistema terrazzato del livello fondamentale della pianura (L.F.P.)

Fase di analisi	Caratteri valutativi prescelti	Coefficiente
FASE I – tipo di falda	Libera	0,90
FASE II – tipo di acquifero	Ghiaie in matrice limoso sabbiosa	0,65
FASE III - soggiacenza	da 5 a 10 m	0,75
Valore di Output ottenuto		0,43

Assetto Idrogeologico B

Settori territoriali situati nella valle fluviale del fiume Oglio

Fase di analisi	Caratteri valutativi prescelti	Coefficiente
FASE I – tipo di falda	Libera	0,90
FASE II – tipo di acquifero	Ghiaie in matrice limoso sabbiosa	0,65
FASE III - soggiacenza	2 m	1,00
Valore di Output ottenuto		0,58

Vulnerabilità dell’acquifero

Classe di Vulnerabilità	Range classe di Vulnerabilità	Coefficiente ottenuto
Nulla	0,00	
Trascurabile	0,00 – 0,10	
Bassa	0,10 – 0,30	
Moderata	0,30 – 0,50	0,43
Alta	0,50 – 0,70	0,58
Elevata	0,70 – 1,00	

Come visibile, pur utilizzando elementi di valutazioni chiaramente conservativi a favore di sicurezza il grado di vulnerabilità dell’acquifero risulta rientrare nella classe di vulnerabilità “**moderata**” per i settori territoriali situati al di sopra del L.F.P. mentre rientra nella classe di vulnerabilità “**elevata/medio-elevata**” nei settori sviluppati all’interno della valle del fiume Oglio ovvero contraddistinti da esigua soggiacenza del corpo acquifero.

7.0 - CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL TERRITORIO

Si è quindi proceduto all'analisi dei dati territoriali esistenti operando una prima sintesi delle conoscenze geologico-tecniche acquisite; la cartografia tematica realizzata ("Carta pedologica e geotecnica" del territorio di Pumenengo) viene riportata nella **Tavola n° 03** riportata a fine lavoro. Gli elementi di valutazione considerati possono essere così sintetizzati:

- A - Definizione della pericolosità ambientale da esondazione**
- B - Descrizione delle litologie del sottosuolo**
- C - Sviluppo della tavola d'acqua (soggiacenza minima della prima falda)**
- D - Caratterizzazione geotecnica preliminare dei terreni**

A - Definizione della pericolosità ambientale delle aree

Da un punto di vista geomorfologico l'evento esondativo viene considerato un fattore di tipo naturale nell'ambito dell'evoluzione di un corso d'acqua. Peraltro l'inondazione, in rapporto allo sviluppo antropico, costituisce un fattore di rischio ambientale sul territorio in seguito alle possibili conseguenze socio-economiche che ne possono derivare. L'identificazione e la delimitazione delle zone a rischio geo-ambientale (alluvionabili) è stata attuata secondo criteri atti a definire siti caratterizzati da morfogenesi fluviale in atto attraverso i processi che la contraddistinguono.

I caratteri morfologici del territorio condizionano in modo determinante le modalità di espansione delle acque in fase critica e la conseguente distribuzione delle medesime sul territorio. L'analisi geomorfologica realizzata sul territorio ha portato al riconoscimento di aree in diverso grado interessate da eventuali episodi esondativi; l'analisi è stata condotta sugli elementi geomorfologici che costituiscono l'ambiente fluviale: le *zone di alveo* attuale e le *superfici alluvionali* ad esso connesse.

Zone di alveo: le forme sono state classificate in base alla distribuzione delle strutture sedimentarie a barre distinguendo tra andamento dei deflussi in canali singoli o multipli (alveo mono o pluricursale) oppure in canali con caratteri transizionali tra i due precedenti. Tale strutturazione d'alveo trova significato sedimentologico nelle differenti modalità di deposizione in condizioni critiche, quali gli eventi di piena.

Piana alluvionale: la morfologia di questo settore, costituita da serie di terrazzamenti progradanti, è stata classificata in base alla posizione geometrica di questi ultimi rispetto al corso d'acqua ed al loro sviluppo altimetrico-topografico dipendente sia dai caratteri geolitologici dei sedimenti che li compongono sia dalla loro età di formazione.

Sono state quindi individuate superfici omologhe per morfogenesi fluviale, alle quali è stato attribuito differente grado di incidenza dei processi d'inondazione sulla base della geometria dell'alveo attuale e dei caratteri tessiturali delle microforme fluviali rilevabili dalla geologia di superficie. Tali superfici omologhe sono state raggruppate in aree secondo criteri classificativi piano-altimetrici individuando superfici piano-inclinate in cui l'evento esondativo per allagamento e/o alluvionamento si diversifica per intensità ed estensione areale in modo proporzionale ai volumi idrici coinvolti nell'esondazione.

Sono state così distinte le seguenti classi di pericolosità ambientale:

Zona A: zone di *esondazione* riferibile all'asta principale per tracimazione da sponda con scorrimento preferenziale delle acque in correnti a forte capacità erosiva, riattivazione e/o ostruzione di canali secondari e rimodellamento della superficie topografica esondata. Depositi alluvionali sabbiosi e ghiaiosi medio-grossolani.

Zona B: aree di *inondazione* per tracimazione da sponda o cedimento degli argini con espansione e persistenza delle acque prevalentemente controllata da microforme o strutture antropiche. Alluvionamento con sedimenti prevalentemente sabbiosi e sabbioso-limosi.

Zona C: aree di *allagamento* per tracimazione da sponda (orlo dei terrazzi della II^a serie) con espansione e persistenza delle acque prevalentemente controllata da microforme o strutture antropiche. Alluvionamento con sedimenti prevalentemente sabbioso-limosi.

Zona D: aree terrazzate ad elevata posizione planoaltimetrica allagabili solo parzialmente nelle zone distali per tracimazione da sponda (orlo dei terrazzamenti della I^a serie); depositi prevalentemente limosi o limoso-sabbiosi. Superfici omologhe stabili interessate da potenziali fenomeni esondativi in corrispondenza di eventi del tutto eccezionali.

Zona E: aree stabili non esondabili, anche in presenza di eventi esondativi eccezionali. Nell'area di studio corrisponde al "livello fondamentale della pianura" sviluppato ad un livello altimetrico-topografico notevolmente superiore all'alveo attuale.

B - descrizione litologica del primo sottosuolo : l'analisi dei dati relativi a lavori svolti a più riprese sul territorio comunale ha permesso la caratterizzazione geo-litologica del primo sottosuolo dell'area di indagine: sono stati raccolti i dati derivanti da saggi di terreno, sondaggi a carotaggio continuo e pozzi per acqua, per i quali si è realizzata un'analisi critica finalizzata alla loro corretta interpretazione ai fini geologico-stratigrafici. La litologia dominante è risultata quella ghiaiosa con pezzature da medio-grossolane con subordinate sabbie, a grossolane con locali intercalazioni sabbiose a scarso contenuto di fine; le matrici sabbiose si presenta in genere lavata, solo localmente limosa; la composizione mineralogica delle sabbie è prevalentemente quarzosa, a media maturità, con granulometria variabile da medio-grossolana a localmente fine. Le ghiaie presentano parametri sedimentologici specifici chiaramente riconducibili ad ambiente fluviale, con diametri di varia pezzatura, prevalentemente medi e grossolani - solo localmente fini, mediamente classati, spiccato grado di arrotondamento e classazione da elevata a medio-elevata. Le pertinenze dei clasti ghiaiosi sono di tipo alpino e prealpino, con presenza di tipologie litoidi dominanti costituite da graniti, granitoidi, metamorfiti quali gneiss, dioriti, paragneiss; seguono in netta minoranza litotipi sedimentari, prevalentemente rappresentati da arenarie, arenarie conglomeratiche (Verrucano Lombardo) e rari carbonatici.

Le frazioni ghiaiose costituiscono comunque la classe granulometrica di gran lunga dominante su tutto il territorio esaminato ed in modo particolare nel settore territoriale coincidente con il livello fondamentale della pianura; Nelle aree fluviali antiche e recenti il rapporto sabbie-ghiaie diviene paritario ed in genere assai variabile a favore dell'una o dell'altra classe a seconda delle specifiche condizioni locali.

C - Sviluppo della soggiacenza della tavola d'acqua: la quota di soggiacenza della prima falda è stata ricostruita attraverso la raccolta di dati disponibili derivanti dalle principali strutture idrogeologiche di superficie (fontanili) e dai livelli statici dei pozzi esistenti nel settore territoriale esaminato e di un significativo intorno. Gli elementi così raccolti sono stati utilizzati per la creazione del modello matematico relativo alle linee equipotenziali della superficie freaticometrica. Occorre sottolineare che, nonostante gli sforzi prodigati per la creazione di un modello il più possibile coerente, i processi di calcolo hanno risentito in modo determinante della scarsità dei dati di base disponibili, giungendo ad un livello di *stima* controllata accettabile (sulla base dei dati ufficiali forniti in rete dalla Provincia di Bergamo). La ricostruzione dell'andamento delle isofreatimetriche deve pertanto essere considerato come elemento di valutazione valido, ma avente significato di pura "stima di larga massima". Le profondità di soggiacenza della tavola d'acqua in tutto il settore sviluppato sul "livello fondamentale" viene stimato a profondità variabili da 10 m circa (settore settentrionale e centrale) sino a 5-6 m circa (settore meridionale del territorio con oscillazioni stagionali dell'ordine di 1-1,5 metri circa. Nelle aree fluviali altimetricamente depresse la quota di falda si innalza sensibilmente giungendo a profondità variabili da 1.5 a 3 metri dal piano campagna.

D - caratterizzazione geotecnica preliminare dei terreni

L'analisi comparativa dei dati geotecnici in sito a disposizione ha permesso di attuare una prima caratterizzazione di massima dei caratteri geomeccanici del sottosuolo di Pumenengo. In questa fase è stato preso in considerazione il settore territoriale sviluppato sulle aree terrazzate sommitali (livello fondamentale della pianura) in seguito ai caratteri di vocazione d'uso favorevole ai fini della sicurezza ambientale delle future opere. In linea generale in tutto il settore considerato è rilevabile la presenza di una prima litozona prevalentemente ghiaiosa da mediamente addensata a molto addensata con valori N_{SPT} variabili da 18 sino ad oltre 50 sovrastata da un strato pedogenizzato di spessore compreso tra 0.6-1.6 metri circa (coltivo, riporti). La litozona addensata si presenta con spessore massimo variabile da 1.50 a 3.0 metri circa a seconda del settore considerato. Gran parte dei tests penetrometrici analizzati terminano in questo orizzonte per rifiuto all'avanzamento non permettendo la determinazione esatta dello spessore del livello.

I risultati derivanti da sondaggi a carotaggio continuo, unitamente ad alcune verticali penetrometriche indurrebbero alla identificazione, per lo meno per il settore centro meridionale dell'abitato, di una seconda litozona spinta sino a 8.0 - 8.50 metri circa di profondità composta da sabbia più o meno limosa con ghiaia associata, a livello locale, ad intercalazioni lenticolari coesive (limoso-argillose) e caratterizzata da grado di addensamento inferiore alla litozona sovrastante; seguirebbe una terza litozona ghiaioso-sabbiosa spinta sino alla profondità di 15 metri contraddistinta da buoni caratteri geomeccanici con valori N_{SPT} da 60 colpi sino a rifiuto.

Nel settore centrale e settentrionale viene confermata la presenza della prima litozona ghiaiosa addensata (la quale presenterebbe localmente spessori superiori a 4 metri), ma non sono disponibili dati sufficienti alla formulazione di un modello geomeccanico esteso all'intero territorio.

Di notevole importanza ai fini della programmazione degli interventi territoriali in settori dichiarati a rischio sismico è l'identificazione, sia pure a livello generale, di litozone caratterizzate da peculiarità fisiche e meccaniche potenzialmente a rischio per la stabilità statica dei manufatti in condizioni di sollecitazione sismica. La presenza di una litozona contraddistinta da composizione granulometrica sabbiosa dominante con caratteri di addensamento contenuti costituisce pertanto un elemento primario di valutazione conservativa ai fini della corretta programmazione delle indagini pre-progettuali, da prevedersi all'interno delle future aree di espansione del nuovo piano regolatore.

Lo scopo primario delle indagini pre-progettuali da prevedersi è quello di determinare l'esistenza o meno di condizioni di criticità geologico-tecnica all'interno dei depositi di natura sabbiosa, ossia il potenziale di liquefacibilità dei depositi sabbiosi medesimi in condizioni sismiche. Nell'ambito territoriale studiato, la tipologia ed il quantitativo dei dati disponibili, ha permesso di ottenere solamente un'indicazione a carattere generale sulla struttura del sottosuolo: la possibile presenza, anche in un limitato intorno territoriale, di situazioni di rischio potenziale assume un significato progettuale doverosamente estesibile a tutto il territorio esaminato.

Negli **Allegati 04 e 05** vengono riportati gli archivi relativi ai dati penetrometri ed ai logs stratigrafici di trincee esplorative disponibili per il settore territoriale di Pumenengo.

Nella **Tavola 03** riportata a fine lavoro viene riportata la **carta geologico-tecnica** redatta per il territorio comunale di Pumenengo.

8.0 – STORIA SISMICA DEL TERRITORIO

L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo tassello per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base. Trattandosi di modelli probabilistici, infatti, le caratteristiche sismotettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali dell'attività sismica attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi.

Nella classificazione definita dai Decreti emessi fino al 1984 (D.M. 05.03.1984) la sismicità veniva definita attraverso il "grado di sismicità" S: in tale classificazione il comune di **Pumenengo** faceva parte della classe 2 (S=9). Nella proposta di riclassificazione del GdL del 1998, in cui si utilizzavano 4 categorie sismiche, il territorio comunale di Pumenengo venne declassando in classe 4.

Nella nuova classificazione del 2003 e s.m.i., il grado di sismicità territoriale viene definita mediante quattro zone, numerate da 1 a 4 e Pumenengo è stato fatto rientrare nella **zona sismica 2**.

Dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità risulta che:

- l'area comunale di Pumenengo e quella bergamasca in genere, nel suo complesso, sono caratterizzate da eventi sismici piuttosto sporadici e di intensità massima rilevata dell'ordine del VII grado della scala Mercalli;
- le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche) provengono da zone territorialmente limitrofe con eventi maggiormente significativi rilevati in epoca storica.
- Dal catalogo parametrico dei terremoti italiani non si rileva attività sismica con epicentro all'interno del territorio comunale di Pumenengo.

Tali osservazioni sono chiaramente rilevabili dalla storia sismica locale così come deducibile dal catalogo DBMI04, il database utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04) aggiornato al maggio 2004 (a cura di M. Stucchi et al.), nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative ad alcuni comuni limitrofi all'area di specifico interesse.

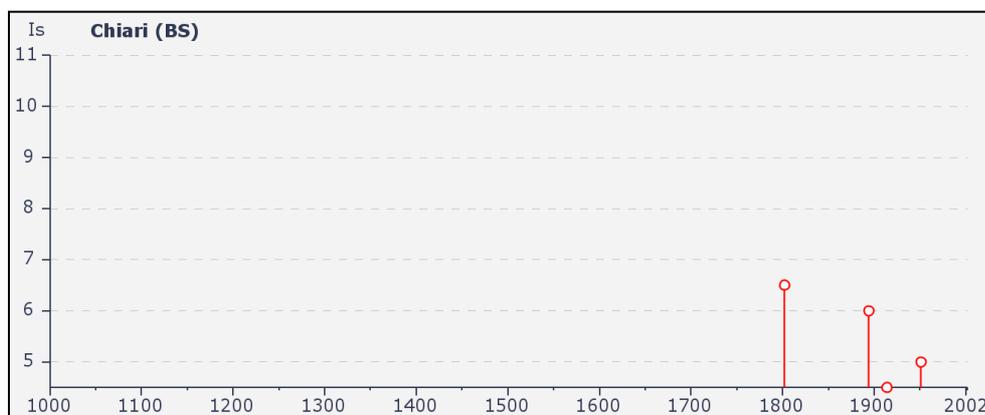
Nelle elaborazioni nelle pagine a seguire, vengono riportati i dati dell'archivio sismico INGV per le seguenti località : Chiari, Castrezzato, Civate al Piano, Palazzolo sull'Oglio, Romano di Lombardia.

Seismic history of CHIARI

Total number of earthquakes: 14

Effects	Earthquake occurred:					
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
3	1799 05 29 19	CASTENEDOLO	DOM	12	6-7	5.06
6-7	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	CFTI	66	8	5.67
4	1873 06 29 03 58	Bellunese	CFTI	199	9-10	6.33
6	1894 11 27	FRANCIACORTA	DOM	168	6-7	4.95
NF	1898 11 16	SALO'	DOM	23	5-6	4.63
NF	1907 04 25 04 52	BOVOLONE	DOM	136	6	4.94
3	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	DOM	799	6-7	5.53
NF	1913 12 07 01 28	NOVI LIGURE	DOM	56	5	4.72
4-5	1914 10 27 09 22	GARFAGNANA	DOM	618	7	5.79
5	1951 05 15 22 54	LODIGIANO	DOM	126	6-7	5.24
2	1960 03 23 23 08 49	Vallese	CFTI	178	6-7	5.36
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	CFTI	835	6-7	5.10
3	1989 09 13 21 53 60	PASUBIO	BMING	779	6	4.96
3-4	1995 10 29 13 00 28	BRESCIA-BERGAMO	BMING	408	5-6	4.57

This file has been downloaded from INGV - DBMI04

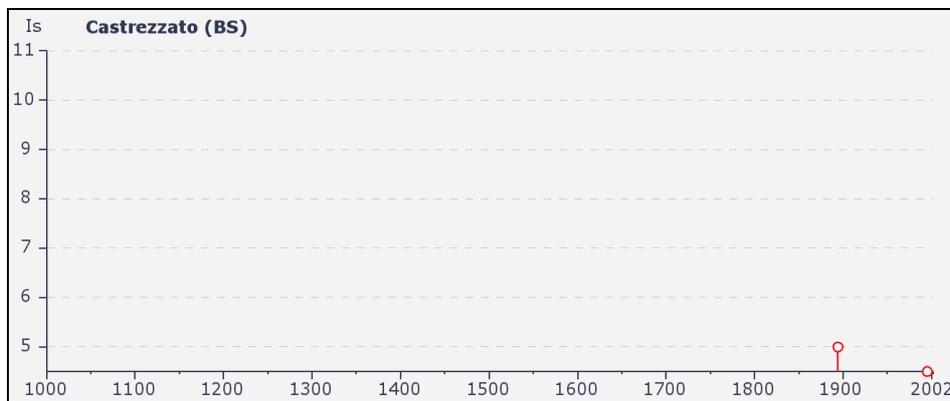


Seismic history of CASTREZZATO

Total number of earthquakes: 3

Effects	Earthquake occurred:					
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
5	1894 11 27	FRANCIACORTA	DOM	168	6-7	4.95
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	CFTI	835	6-7	5.10
NF	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	DOM	802	6	5.05
4-5	1995 10 29 13 00 28	BRESCIA-BERGAMO	BMING	408	5-6	4.57

This file has been downloaded from INGV - DBMI04

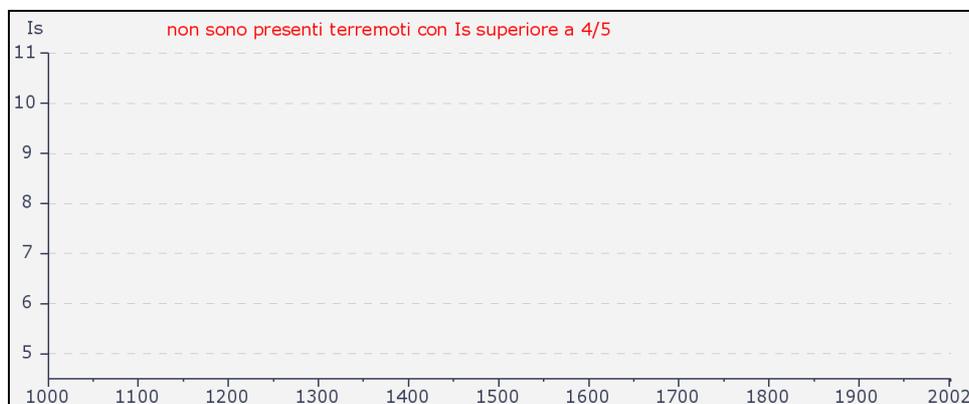


Seismic history of Cividate al Piano

Total number of earthquakes: 3

Effects	Earthquake occurred:					
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
v	1884 09 12	PONTOGLIO	DOM	24	6	4.83
NF	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	DOM	802	6	5.05
4-5	1995 10 29 13 00 28	BRESCIA-BERGAMO	BMING	408	5-6	4.57

This file has been downloaded from INGV - DBMI04

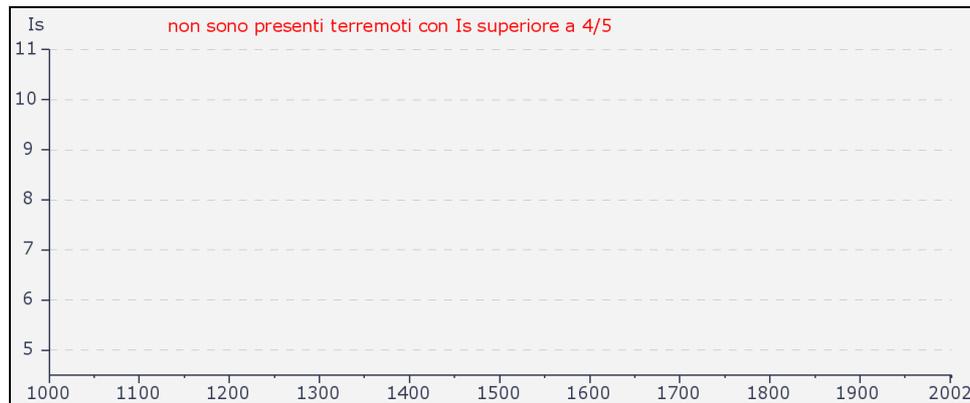


Seismic history of PALAZZOLO sull'OGGIO

Total number of earthquakes: 3

Effects	Earthquake occurred:					
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
4	1796 10 22 04	Emilia orientale	CFTI	26	7	5.63
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	CFTI	835	6-7	5.10
4	1995 10 29 13 00 28	BRESCIA-BERGAMO	BMING	408	5-6	4.57

this file has been downloaded from INGV - DBMI04

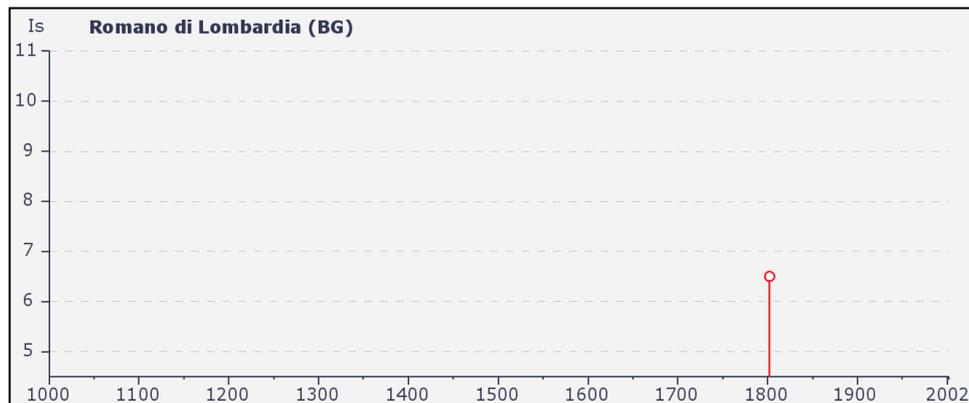


Seismic history of ROMANO DI LOMBARDIA

Total number of earthquakes: 7

Effects	Earthquake occurred:					
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
6-7	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	CFTI	66	8	5.67
4	1884 09 12	PONTOGLIO	DOM	24	6	4.83
NF	1905 04 29 01 46 45	Alta Savoia	CFTI	267	7-8	5.79
NF	1907 04 25 04 52	BOVOLONE	DOM	136	6	4.94
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	CFTI	835	6-7	5.10
NF	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	DOM	802	6	5.05
3-4	1995 10 29 13 00 28	BRESCIA-BERGAMO	BMING	408	5-6	4.57

This file has been downloaded from INGV - DBMI04



LEGENDA

Parametro	Descrizione	Provenienza
NDBMI04	Identificativo del record	
NCPTI04	Identificativo del terremoto	CPTI04
An	Tempo origine: anno	CPTI04
Me	Tempo origine: mese	CPTI04
Gi	Tempo origine: giorno	CPTI04
Or	Tempo origine: ora	CPTI04
Mi	Tempo origine: minuti	CPTI04
Se	Tempo origine: secondi	CPTI04
AE	Denominazione dell'area dei maggiori effetti	CPTI04
Rt	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (compatto)	CPTI04
Rt1	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (esplicitato)	
Np	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto	CPTI04
Np1	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto in DBMI04	
Io	Intensità epicentrale nella scala MCS	CPTI04
Ix	Intensità massima nella scala MCS	CPTI04
LatEp	Latitudine dell'epicentro	CPTI04
LonEp	Longitudine dell'epicentro	CPTI04
Maw	Magnitudo momento	CPTI04
Daw	Errore associato alla stima di Maw	CPTI04
Top	Denominazione della località	DIR04
Sc	Casi particolari	DIR04
Lat	Latitudine	DIR04
Lon	Longitudine	DIR04
Is	Intensità al sito (scala MCS)	
Cou	Codice della nazione di appartenenza della località	
Istat01	Codice ISTAT 2001 del comune di appartenenza della località	
Pr	Sigla della provincia di appartenenza della località	
LocOr	Denominazione della località secondo lo studio originale	Originale
LatOr	Latitudine della località secondo lo studio originale	Originale
LonOr	Longitudine della località secondo lo studio originale	Originale
IsOr	Intensità al sito secondo lo studio originale	Originale

Note

I valori di Ix e Io, a differenza di CPTI04, sono qui riportati in originale ovvero non moltiplicati per 10 (es: 6-7 anziché 65, 7; per 18 terremoti il valore di Ix riportato da CPTI04 è leggermente diverso dal valore massimo delle intensità osservate contenute nel database, come conseguenza della revisione dei dataset originali; per 46 terremoti Np è leggermente diverso da Np1, come conseguenza della revisione dei dataset originali; per dati provenienti da DOM i parametri LocOr, LatOr, LonOr e IsOr sono quelli contenuti in DOM stesso e non quelli forniti dallo studio originale.

9.0 - ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

L'Allegato 5 della D.G.R. n.8/7374 del 28 maggio 2008, propone ed illustra le procedure per l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito in ambito regionale, con la finalità di definire l'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio.

Il nuovo approccio è organizzato con una struttura modulare, che si presta ad una continua e graduale implementazione e aggiornamento in base alla zona sismica e agli scenari di pericolosità individuati in ambito regionale, sulla scorta delle situazioni litologiche e morfologiche presenti.

L'analisi del rischio sismico è volta a definire la risposta sismica locale, cioè valutare come le condizioni geologiche, litologiche e geomorfologiche di una determinata zona possano influenzare la pericolosità sismica di base in occasione di un sisma, producendo effetti diversi nella valutazione generale della medesima.

L'obiettivo è pertanto quello di definire una microzonazione sismica in grado di interagire con le opere e le infrastrutture previste in ambito pianificatorio.

9.1 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

La classificazione delle zone sismiche del territorio nazionale (Allegato 1 dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003), inserisce il Comune di ***Pumenengo*** in "zona 2" la quale identifica i comuni a rischio sismico medio-elavato di tutto il territorio nazionale.

Tuttavia, alla scala strettamente locale, numerosi fattori possono concorrere a determinare condizioni differenti nei confronti della pericolosità sismica di base.

I diversi effetti derivanti dalle condizioni locali (geolitologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, etc.), vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto il primo approccio è finalizzato a riconoscere alla scala del territorio comunale le aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico, previa identificazione della categoria di terreno presente.

In funzione delle caratteristiche del terreno vengono distinti due categorie di effetti locali:

1. "effetti di sito o di amplificazione sismica locale"
2. "effetti di instabilità"

9.1.1 - Effetti di sito o di amplificazione sismica locale

Interessano tutti i terreni che, nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese, manifestano un comportamento stabile. Gli effetti sono rappresentati dall'insieme delle caratteristiche di un terremoto di riferimento (ampiezza, frequenza, durata) relativo ad una formazione rocciosa di base, modificate a seguito dell'attraversamento di strati ad essa soprastanti in conseguenza

dell'interagire delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

Si distinguono due gruppi di effetti, che possono essere contestualmente presenti nel medesimo sito, nella fattispecie gli *effetti di amplificazione topografica* e gli *effetti di amplificazione litologica*.

Gli *effetti di amplificazione topografica* si manifestano in presenza di morfologie superficiali ed irregolarità topografiche più o meno articolate, peculiarità che favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche, con amplificazione variabile in funzione del tipo di terreno presente.

Gli *effetti di amplificazione litologica* si verificano qualora, alla scala locale, siano palesi particolari strutture geologiche sepolte e litologie con determinate proprietà geotecniche e/o meccaniche, in grado di provocare esaltazione delle azioni sismiche e fenomeni di risonanza trasmesse al terreno e alle infrastrutture.

9.1.2 Effetti di instabilità

Gli effetti in questione interessano tutti i terreni che manifestano un comportamento instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; sono in genere rappresentati da dissesti e movimenti anche di grandi masse di terreno, incompatibili con la stabilità delle strutture.

Nella fattispecie il sisma risulta il fattore di innesco e/o riattivazione di:

- crolli, scivolamenti rotazionali e traslazionali, colamenti, etc., lungo versanti in roccia o materiale sciolto aventi equilibrio precario;
- deformazioni permanenti del suolo connessi a densificazione in terreni granulari sopra falda e liquefazione in terreni sabbiosi in falda, in terreni aventi caratteristiche fisico-meccaniche scadenti;
- fenomeni di subsidenza in presenza di carsismo sotterraneo;
- movimenti differenziali e movimenti relativi orizzontali e verticali in presenza di contatti stratigrafico/tettonici.

9.2 - ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, in adempimento a quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni", viene compiutamente illustrata nella D.G.R. n.8/7374 del 28 maggio 2008.

La metodologia di valutazione dell'amplificazione sismica locale, fondata su analisi dirette e prove sperimentali su aree campione in ambito regionale, prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento:

- il I° livello, di tipo qualitativo e propedeutico ai successivi livelli di approfondimento, riconosce le aree passibili di amplificazione sismica sulla base di differenti scenari di pericolosità sismica locale derivanti da situazioni tipo dell'assetto del territorio (geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche), ad esempio dai contenuti della cartografia di inquadramento proposta nella Fase di analisi dello studio geologico. Gli scenari sono identificati con le sigle Z1, Z2, Z3, Z4, Z5 (zone PSL) e si prefiggono di trattare tutte le possibili casistiche geologiche in ambito regionale, sebbene siano passibili di revisione sulla base di evidenze particolari o fattori strettamente locali non contemplati nello schema di valutazione originario di seguito illustrato (cfr. Tabella 1 dell'Allegato 5). Detti scenari sono stati individuati poiché in grado di produrre effetti sismici locali che si esplicano con fenomeni di instabilità (Z1a-b-c), cedimenti e/o liquefazioni (Z2), amplificazioni topografiche (Z3a-b), amplificazioni litologiche (Z4a-b-c-d), comportamenti differenziali (Z5).

La carta della pericolosità sismica così redatta permette anche l'assegnazione diretta della classe di pericolosità dei singoli scenari e dei successivi livelli di approfondimento necessari per la fase esecutivo-progettuale.

Il I° livello è obbligatorio in fase pianificatoria per tutti i Comuni ricadenti in Zona sismica in quanto propedeutico alla realizzazione e/o implementazione di dettaglio prevista per le eventuali successive fasi di approfondimento (Livello II e Livello III).

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

- il II° livello è mirato ad una caratterizzazione di tipo semi-quantitativo degli effetti di amplificazione sismica nelle aree a pericolosità sismica locale (PSL) individuate con il I° livello, fornendo una stima della risposta sismica dei terreni in termini di fattore di amplificazione (Fa).

Nello specifico l'analisi di II° livello è mirata a individuare entro le aree PSL, previa applicazione di opportune procedure, situazioni nelle quali gli effetti locali sono in grado di produrre incrementi del fattore di amplificazione rispetto al valore di soglia ricostruito per ciascun comune in ambito regionale da uno studio del Politecnico di Milano, ovvero accertare se la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato > Fa di soglia comunale).

Nel caso in cui si verifichi tale superamento, si dovrà procedere agli approfondimenti di III° livello oppure adottare per la fase progettuale parametri previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore.

L'analisi di II° livello è obbligatoria in zona sismica 2 e 3 nelle aree a pericolosità sismica locale Z3 e Z4 e interferenti con l'urbanizzato e/o con le zone di espansione urbanistica, per tutte le tipologie di costruzione, oppure in zona sismica 4 sempre nelle aree Z3 e Z4 qualora sia in previsione la realizzazione di nuovi fabbricati definiti strategici o rilevanti (elenco al d.d.u.o. n19904/2003), o comunque per le costruzioni il cui uso prefiguri affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali essenziali.

- il III° livello definisce gli effetti di amplificazione attraverso indagini più approfondite, dirette ed indirette; si applica in fase progettuale sulla base di differenti casistiche e, come anticipato, qualora la determinazione del fattore di amplificazione ricavato con il II° livello all'interno degli scenari PSL si dimostri inadeguato nei confronti dei parametri stabiliti a livello nazionale.

L'analisi di III° livello si applica in fase progettuale nelle zone PSL individuate come Z1, Z2, Z5 per edifici strategici e rilevanti e negli scenari Z3a e Z3b nel caso si prevedano strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra 5 e 15 piani.

Il III° livello è anche obbligatorio nel caso di progetto di costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali essenziali.

Infine si sottolinea che gli approfondimenti di II° e III° livello non devono essere eseguiti nelle aree considerate inedificabili a seguito del riscontro di problematiche geologiche, geomorfologiche e ambientali, o sottoposte a vincolo da specifica normativa, fermo restando tutti gli obblighi derivanti dall'applicazione di altra normativa specifica.

9.3 - CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE: ANALISI DI I° LIVELLO

Allo stato attuale il Comune di **Pumenengo** non ha in previsione a breve termine la realizzazione di edifici strategici e tantomeno la realizzazione di edifici rilevanti individuati agli elenchi delle suddette deliberazioni. Pertanto, al fine di adeguare lo studio geologico a corredo dello strumento urbanistico alle recenti disposizioni in merito alla componente sismica, il Piano di Lavoro comporta la predisposizione del solo I° livello di approfondimento, da svilupparsi con la redazione di un elaborato grafico e della presente relazione tecnica descrittiva, contenente anche le relative prescrizioni per l'implementazione degli approfondimenti di II° e III° livello.

Con ciò si premette che il presente documento *dovrà essere la base di lavoro e di indirizzi per gli eventuali approfondimenti* che si rendessero necessari nel caso di previsioni urbanistiche future da parte dell'Amministrazione o di privati che riguardino la realizzazione di opere strategiche e/o rilevanti in ambito comunale.

9.3.1 Descrizione dell'elaborato

L'analisi sismica in adeguamento allo studio della componente geologica ai sensi della recente direttiva di applicazione, prevede l'elaborazione di una Carta della Pericolosità Sismica Locale, nello specifico redatta alla scala 1:5.000 (**Tavola 04 - PSL**), che riporta le differenti situazioni litologiche e geomorfologiche riscontrate alla scala del territorio comunale, in grado di determinare effetti sismici locali, individuando quindi aree a pericolosità sismica locale (PSL).

La normativa cita che il I° livello di approfondimento non comporta alcun aggiornamento della Carta di Sintesi, tantomeno variazioni delle classi stabilite nella Carta di Fattibilità geologica per le azioni di piano; quest'ultima dovrà tuttavia illustrare lo sviluppo areale delle zone di pericolosità sismica locale individuate. In aggiunta nelle Norme Attuative dello studio geologico dovranno essere recepite le prescrizioni in ordine agli interventi da effettuarsi nelle singole aree PSL individuate per le previsioni urbanistiche future.

Per la perimetrazione delle aree PSL in ambito comunale si è fatto espresso riferimento alle situazioni tipo individuate dalla Regione Lombardia elencate nella precedente tabella, con gli adattamenti del caso alle informazioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geotecniche utilizzate in fase di redazione delle carte di base dello studio geologico a supporto del P.R.G., integrate con dati derivanti da recenti indagini geotecniche.

Poiché l'analisi sismica ha come prima finalità l'individuazione delle problematiche inerenti l'interazione tra terreno e opere di fondazione-struttura in occasione di un terremoto di riferimento, ad esempio per l'effetto di amplificazioni sismiche, per l'attribuzione dei singoli scenari di pericolosità sono state considerate con maggior "peso" le caratteristiche litologiche dei terreni entro il cosiddetto "spessore di interesse geotecnico" alla luce della tipologia costruttiva più comune in

ambito comunale (profondità di posa delle fondazioni, degli interrati, etc.), sempre considerando spessore delle coperture e regime della falda.

In questo contesto preme sottolineare alcune considerazioni inerenti il criterio di azionamento dello scenario di pericolosità sismica locale Z4a proposto, individuato nella carta di Pericolosità Sismica Locale con differente graficismo in corrispondenza del settore prossimo al Fiume Oglio.

La **valle fluviale del Fiume Oglio**, sviluppata a quote topografiche nettamente inferiori rispetto alle quote del terrazzo del Fluvioglaciale Würm e pertinente sotto l'aspetto geologico alla Alluvioni Antiche e Recenti del corso d'acqua, presenta una soggiacenza della falda freatica di 1-3 m circa dal piano campagna, variabile stagionalmente in funzione del regime di precipitazioni e di portata.

Poiché si è in presenza di litologie granulari da medio-fini a grossolane per alcune decine di metri di profondità, sussisterebbero requisiti per l'instaurarsi dei fenomeni di "liquefazione"; con il termine si intende la diminuzione della resistenza al taglio e/o di rigidità causata dall'aumento della pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante un'azione sismica, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci del terreno.

Per detti terreni deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbia sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

In genere i depositi sciolti potenzialmente liquefacibili presentano le seguenti caratteristiche:

- granulometricamente sono sabbie fine e medie con contenuto in fine variabile dallo 0 al 25%;
- si trovano sotto falda;
- sono da poco a mediamente addensati
- si trovano a profondità in genere inferiori a 15 m dal p.c..

Sulla base di quanto esposto, le condizioni geologiche al contorno rilevate hanno indotto a supportare, per questo ambito territoriale specifico, la scelta dello scenario Z2 in luogo di un prevedibile scenario Z4a. Tuttavia è comunque auspicabile in fase di future previsioni urbanistiche che richiedano approfondimenti nell'ottica dell'analisi sismica, predisporre indagini finalizzate alla definizione del potenziale di liquefazione, basate su correlazioni di campagna tra misure in sito e valori critici dello sforzo ciclico di taglio, ricavate dalle procedure note in letteratura.

Di seguito vengono schematicamente e in sintesi descritti gli scenari individuati nella carta della pericolosità sismica locale (PSL) redatta.

SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (P.S.L.)

SCENARIO Z2

Zona con terreni di fondazione localmente scadenti (terreni granulari fini e/o coesivi) e presenza di falda acquifera prossima al piano campagna (valle fluviale del Fiume Oglio).

L'area di affioramento corrisponde a quella dell'unità geologica delle alluvioni Recenti ed Attuali del Fiume Oglio morfologicamente depresse rispetto ai circostanti settori costituiti dal Livello Fondamentale della Pianura (Fluvioglaciale Wurm).
Si sviluppano lungo l'intero limite orientale del territorio comunale.

Le problematiche sono connesse all'instaurarsi di fenomeni di subsidenza e/o cedimenti. Tale scenario determina l'assegnazione di una **Classe di pericolosità H2** e approfondimenti di **III° livello** nel caso di realizzazione di edifici strategici e/o rilevanti

SCENARIO Z3a

Zona di ciglio di terrazzo fluviale con dislivello maggiore o uguale a 10 metri

L'area corrisponde ad alcune porzioni di scarpata lungo la valle del Fiume Oglio ed al ciglio del sistema terrazzato sommitale composto dai depositi fluvioglaciali Wurmiani (Livello Fondamentale della Pianura – Diluvium Recente Auct.)

Le problematiche sono connesse ad amplificazione topografica. Tale scenario determina l'assegnazione di una **Classe di pericolosità H2** e la necessità di approfondimenti **II° livello** nel caso di realizzazione di edifici strategici e/o rilevanti

SCENARIO Z4a

(1) Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e (2) zona di fondovalle con soggiacenza della falda maggiore o uguale a 5 m, con stato di addensamento dei terreni che esclude fenomeni di liquefazione (Seed & Idriss, 1997 – Blake, 1997)

L'area di affioramento (1) corrisponde all'unità del Fluviale Würm Auct. e alle Alluvioni antiche del F. Lambro; l'area (2) alle Alluvioni antiche (pro parte) ed a quelle Recenti e Attuali del F. Lambro

Le problematiche sono connesse ad amplificazione litologica e geometrica. Lo scenario determina l'assegnazione di una **Classe di pericolosità H2** e la necessità di approfondimenti **II° livello** nel caso di realizzazione di edifici strategici e/o rilevanti

9.4 - NORME DI ATTUAZIONE: PROCEDURE DI APPLICAZIONE DEL II° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO PER GLI SCENARI PSL INDIVIDUATI

Con il presente capitolo, da recepire nelle Norme Attuative dello studio geologico a corredo del Piano Regolatore Generale del Comune di Pumenengo, vengono indicate le procedure e/o le metodologie di applicazione dei livelli di approfondimento successivi per gli scenari introdotti dalla normativa, in buona parte tratte integralmente dal testo della normativa.

Si premette che le indagini di approfondimento vanno incentrate allo stretto intorno del sito di previsto intervento. In ogni modo per una descrizione compiuta degli approfondimenti tecnici e metodologici del caso, si rimanda ai contenuti dell'Allegato 5 della D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008.

9.4.1 Scenario Z2 [effetti di cedimento] - pericolosità H2 ⇒ III° livello di approfondimento

Per lo scenario in oggetto la normativa prevede l'applicazione di un approfondimento di III° livello, con implementazione di indagini dirette ed indirette. La metodologia da seguire in fase progettuale e le relative prescrizioni in ordine agli interventi sono indicate nel seguente § 5.

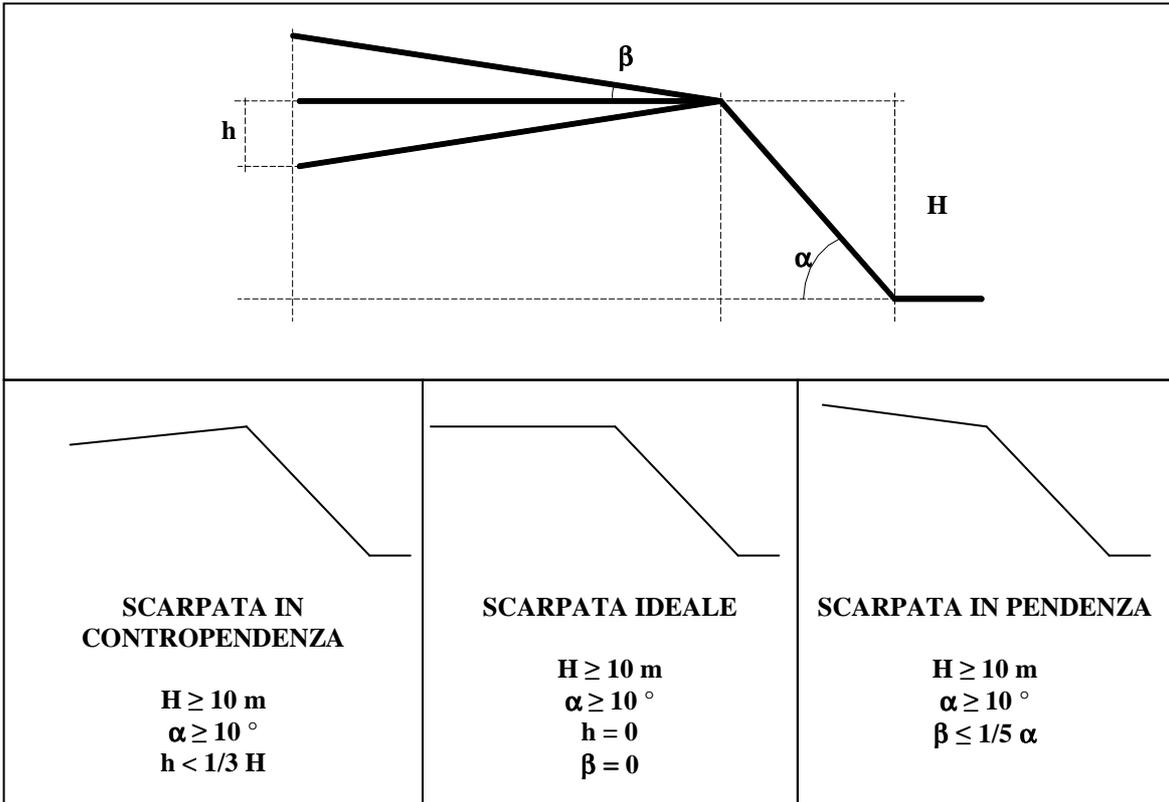
9.4.2 Scenario Z3a [effetti topografici] - pericolosità H2 ⇒ II° livello di approfondimento

Le prescrizioni per lo scenario in esame (zone di scarpata morfologica) riguardano la necessità di valutare i fenomeni di possibile amplificazione sismica che dovranno essere valutati in fase di progettazione sulla base degli interventi adottati per risolvere le problematiche prioritarie. E' pertanto indispensabile calcolare il fattore di amplificazione topografico (F_a) per la situazione morfologica accertata nell'intorno dell'intervento in progetto, al fine di poterlo confrontare con il valore soglia comunale, appositamente fornito dal Politecnico di Milano e consultabile nella banca dati regionale.

La procedura per lo scenario di zona di scarpata rocciosa (Z3a), di tipo semplificato, si applica solamente per fronti di altezza H uguale o superiore a 10 m ed inclinazione α del fronte principale uguale o superiore ai 10°, essa è stata tarata nell'ambito delle attività di ricerca che hanno condotto alla pubblicazione della "Analisi e valutazioni degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio" (Dipartimento di ingegneria strutturale del Politecnico di Milano, Febbraio 2006).

In funzione della tipologia del fronte superiore, come da schema identificativo delle tipologie e delle situazioni di scarpata illustrato, si distinguono:

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



La misura dell'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è da definire come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica. Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore a 15-20 m;
- l'inclinazione (β) del fronte superiore risulti inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione (α) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per $\beta \geq 1/5 \alpha$ la situazione è da considerarsi pendio);

- il dislivello altimetrico minimo (h) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq 1/3H$ la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

Il citato studio, sulla base delle situazioni reali identificate, previa implementazione di modelli caratterizzati da diverse altezze H , inclinazioni α del fronte principale e tipologia del fronte superiore, ha condotto a calcolare l'andamento del valore del Fattore di amplificazione F_a lungo il fronte superiore, identificando anche la relativa area di influenza (A_i) del fenomeno di amplificazione sismica.

Il valore di F_a così calcolato è stato messo in relazione al corrispondente valore di α , ottenendo una buona correlazione per l'intervallo di periodo compreso tra 0.1-0.5 s (coppie di valori α/F_a poco dispersi, al contrario di quanto emerge per l'intervallo 0.5-0.15 s, poiché i valori sono influenzati dalla variabilità del moto di input), scelto di conseguenza a rappresentare in modo univoco la risposta sismica al sito.

Nella tabella seguente si riporta per ciascuna classe altimetrica e di inclinazione il valore caratteristico di F_a e l'estensione della relativa area di influenza A_i : il valore di F_a è assegnato al ciglio del fronte principale mentre all'interno della relativa area di influenza esso diminuisce in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario.

CLASSE ALTIMETRICA	CLASSE DI INCLINAZIONE	VALORE DI F_a	AREA DI INFLUENZA
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = 3/4 H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = 2/3 H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Per confrontare il valore di soglia F_a calcolato in base al rapporto H/L con quello comunale fornito dal Politecnico di Milano per l'intervallo di periodo considerato, ai fini della valutazione dell'"azione sismica di progetto" (S_{ag}), è necessario definire preventivamente la categoria di suolo (A, B, C, D, E), a rigidità via via decrescente a partire dal primo gruppo.

La definizione del tipo di suolo può essere condotta ad esempio con prove in foro di sondaggio atte a ricavare il parametro meccanico V_{s30} (*average shear wave velocity*), ovvero una velocità

equivalente (non media) delle onde di taglio entro i primi 30 m di sottosuolo, oppure con prove penetrometriche dinamiche, in grado di restituire il profilo geotecnico del suolo di fondazione.

Come anticipato nel § 10.4.2, è quindi possibile la seguente casistica:

- 1 *il fattore di amplificazione F_a calcolato è inferiore al valore soglia comunale. La normativa nazionale in merito alla progettazione è sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica di sito, per cui si applica lo spettro previsto (classe di pericolosità H1);*
- 2 *il fattore di amplificazione F_a calcolato supera il valore soglia comunale. Gli effetti di amplificazione sismica locale sono superiore a quelli prevedibili a grande scala, per cui si dovrà procedere agli approfondimenti di III° livello oppure adottare per la fase esecutiva parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore. (classe di pericolosità H2).*

9.4.3 Scenario Z4a-c-d [effetti litologici] - pericolosità H2 ⇒ II° livello di approfondimento

Anche per gli scenari in oggetto responsabili di amplificazione litologica, l'approfondimento di II° livello prevede di valutare i fenomeni di possibile amplificazione sismica. La procedura semplificata per il calcolo del parametro fattore di amplificazione F_a , utilizzato per "zonare" l'area di studio, è di tipo semi-quantitativo e richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle onde V_s con la profondità sino a valori uguali o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- conoscenza del modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Nello specifico, sulla base di intervalli indicativi dei più comuni parametri geotecnici (curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, etc.), si individua la litologia prevalente del sito e per questa si sceglie la scheda di valutazione di riferimento tra le 5 disponibili (v. **Allegato 03**).

Le schede riguardano litologie prevalentemente ghiaiose, limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2) e limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2). Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di V_s con la profondità (campo di validità), partendo dalla

scheda tipo 1 per passare alla scheda tipo 2 nel caso non sia accertata la validità per V_s inferiori a 600 m/s. In particolare, qualora esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle V_s con la profondità non ricade nel campo di validità della scheda stessa, in questa prima fase potrà essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.

In mancanza del raggiungimento del bedrock ($V_s \geq 800$ m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di V_s con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s. In presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità si potrà, in questa prima fase, utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine, accettando anche i valori di V_s esterni al campo di validità solo a causa dell'inversione.

All'interno della scheda di valutazione, previa individuazione dello spessore e della velocità V_s dello strato superficiale, la scelta della curva di correlazione più appropriata (indicata con numero e colore di riferimento) per la determinazione del valore F_a nell'intervallo 0.1-0.5 s (curve 1, 2, 3 e relative formule) e nell'intervallo 0.5-1.5 s (unica curva e relative formule), avviene in base al valore del periodo proprio di sito T . Il valore di V_s riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo. Nel caso il valore di V_s nello strato superficiale risulta pari o superiore a 800 m/s non si applica la procedura semplificata per la valutazione di F_a in quanto l'amplificazione litologica attesa è nulla ($F_a = 1$). Il periodo proprio del sito necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s, tramite la seguente equazione:

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

dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo.

Il valore di F_a determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della nuova normativa sismica allegata all'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato (di soglia), calcolato per ciascun comune e valido per le singole zone sismiche (zona 2, 3, 4) e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D, E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s. Il parametro rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla nuova normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito. La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene conto della variabilità del valore di F_a ottenuto con la procedura semplificata. Dall'applicazione della procedura semplificata si possono presentare i seguenti casi:

1. *il valore di F_a è inferiore o uguale al valore di soglia corrispondente. La normativa è sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1);*
- 2.
3. *il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente. La normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario effettuare indagini più approfondite (III° livello) in fase di progettazione edilizia (classe di pericolosità H2).*

9.4.4 Valori soglia comunali

Come anticipato, i valori soglia comunali del fattore di amplificazione topografica per lo scenario Z3a e litologica per gli scenari Z4a-c-d, sono consultabili nella banca dati della Regione Lombardia. Per comodità essi sono comunque di seguito illustrati, distinguendoli per le differenti categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche e per i due intervalli di periodo considerati.

Tipo di suolo	A	B - C - E	D
PERIODO 0.1 ÷ 0.5 s (strutture basse, regolari, piuttosto rigide)			
<i>Fattore di amplificazione</i>	2.4	3.2	3.4
PERIODO 0.5 ÷ 1.5 s (strutture più alte e più flessibili)			
<i>Fattore di amplificazione</i>	3.3	5.2	8.5

9.4.5 - Note in merito ai criteri di applicazione delle procedure semplificate di approfondimento

Vengono qui indicate alcune considerazioni emerse dall'analisi della metodologia e dei criteri di applicazione dei vari livelli di approfondimento.

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

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

b) nel caso di presenza contemporanea di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3) si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole.

9.5 - . NORME DI ATTUAZIONE: APPROFONDIMENTO DI III° LIVELLO PER GLI SCENARI PSL INDIVIDUATI E RELATIVE PRESCRIZIONI

Il capitolo in oggetto, anch'esso da recepire nelle Norme Attuative dello studio geologico a corredo del Piano Regolatore Generale del Comune di **Pumenengo**, illustra le procedure di approfondimento di III° livello da effettuarsi per ciascuna delle zone a pericolosità sismica locale individuate nella *Tavola PSL*, sempre nel caso di realizzazione di opere strategiche o rilevanti, e le relative prescrizioni.

La valutazione quantitativa delle problematiche connesse alla pericolosità sismica locale deriva dai risultati di prove in situ, dirette ed indirette, utilizzando le procedure note in letteratura.

Il numero delle prove da effettuare per l'acquisizione dei dati di input per la modellazione progettuale dovrà essere congruamente individuato sulla base della superficie da investigare.

9.5.1 Scenario Z2 [effetti di cedimento]

Le problematiche fondamentali per tale scenario riguardano la presenza, alla scala locale, di litologie aventi consistenza mediocre entro il cosiddetto "orizzonte di interesse geotecnico" per il prevalere di depositi granulari poco addensati associati a strutture lenticolari di sedimenti coesivo dominanti (limi e argille). Le prove in situ da effettuare sono le medesime proposte per la classe di fattibilità 2 e 3 indicate al § 7.1 del precedente Studio Geologico a supporto del P.R.G., relativamente agli aspetti puramente geotecnici. Per completezza esse sono di seguito riportate:

"Nel caso di progetti di media e grande volumetria, infrastrutture che comportino elevati carichi indotti sul terreno, infrastrutture pubbliche, edifici strumentali sottoposti a carichi dinamici, si potrà seguire la seguente procedura di caratterizzazione geotecnica:

a - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche dinamiche spinte ad una profondità non inferiore a 15 m da p.c. oppure a rifiuto (.....).

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite sondaggi a carotaggio continuo spinti ad una profondità di 20-25 m da p.c. completi di prove S.P.T. a fondo foro (intervalli di prova di 1.5 m). Prelievo di campioni rimaneggiati (nel caso di livelli sabbiosi) o indisturbati classe Q5 nel caso di livelli coesivi (...).

c - nel caso vengano accertate irregolarità geotecniche di una certa rilevanza, il numero di verticali penetrometriche (e/o sondaggi) dovrà essere adeguatamente incrementato al fine di quantificare la loro distribuzione laterale nel sottosuolo. In tale ottica è possibile anche procedere ad integrazione e non in sostituzione, con indagini indirette di tipo geofisico e/o geoelettrico.

d - analisi di laboratorio atte a definire il fuso granulometrico dei depositi sabbiosi: analisi granulometriche, prove di plasticità di Atterberg, peso di volume dei terreni allo stato naturale, prove di resistenza al taglio (angolo di attrito e coesione) per quelli coesivi “.

9.5.2 - Scenari Z3 e Z4 [effetti di amplificazione morfologica e topografica]

Come indicato nell'Allegato 5 della D.G.R. n.8/1566 del 22 dicembre 2005, l'analisi di III° livello consiste, anche in tal caso, in *“un approccio di tipo quantitativo e costituisce lo studio di maggior dettaglio, in cui la valutazione della pericolosità sismica locale viene effettuata ricorrendo a metodologie che possono essere classificate come strumentali o numeriche”.*

A tali approcci si dovranno ricondurre anche le indagini indirette di tipo geofisico e/o geoelettrico indicate nel precedente Scenario Z2.

“La metodologia strumentale” richiede l'acquisizione di dati strumentali attraverso campagne di registrazione eseguite in sito con l'utilizzo di strumentazioni specifiche, variabili a seconda del parametro di acquisizione scelto (velocimetri ed accelerometri).

Le caratteristiche strumentali, il tipo di acquisizione e la disposizione logistica variano in funzione della complessità geologica dell'area di studio, del metodo di elaborazione scelto e del tipo di risultato a cui si vuole pervenire.

Le registrazioni eseguite in un'area di studio possono riguardare rumore di fondo (microtremore di origine naturale o artificiale) o eventi sismici di magnitudo variabile; i dati acquisiti devono essere opportunamente selezionati (ripuliti da tutti i disturbi presenti) e qualificati tramite informazioni sismologiche dell'area in esame e permettono di definire la direzionalità del segnale sismico e la geometria della zona sismogenetica-sorgente.

Le tracce dei segnali di registrazione devono essere in seguito processate tenendo conto delle diverse condizioni di installazione degli strumenti e delle diverse condizioni di acquisizione dei dati.

Inoltre, nel caso siano utilizzate stazioni equipaggiate con strumentazioni con frequenza propria diversa (caso più frequente), occorre rendere omogenei tra loro i vari segnali attraverso una deconvoluzione per le rispettive risposte spettrali.

L'analisi sperimentale può presentare diversi gradi di approfondimento ed affidabilità, in funzione del tipo di strumentazione impiegata, del tipo di elaborazione del dato di registrazione e, soprattutto, in funzione dell'intervallo di tempo dedicato alle misurazioni in sito.

I metodi di analisi strumentale più diffusi ed utilizzati sono il metodo di Nakamura (1989) e il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981).

La metodologia numerica consiste nella modellazione di situazioni reali mediante un'appropriata e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica del sito e nella valutazione della risposta

sismica locale tramite codici di calcolo matematico più o meno sofisticati, basati su opportune semplificazioni e riduzioni del problema, necessarie ma comunque di influenza abbastanza trascurabile sul risultato finale.

I concetti fondamentali su cui si basano i codici di calcolo numerico riguardano la teoria della propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e la teoria del comportamento non lineare e dissipativo dei terreni in condizioni dinamiche.

La valutazione della risposta sismica deve tener conto non solo delle variazioni di ampiezza massima del moto sismico di riferimento, ma anche dell'effetto di filtraggio esercitato su di esso dal terreno, cioè delle modifiche nel contenuto in frequenza.

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

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

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

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

In riferimento all'analisi progettuale di III° livello, per ciascun comune la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati relative ad accelerogrammi attesi con tempo di ritorno di periodo 475 e 975 anni ed a valori del modulo di taglio (G/G_0) e del rapporto di smorzamento (D) in funzione della deformazione (γ).

Per quanto emerso dall'indagine di I° livello a proposito dello scenario Z4a / Z2 in corrispondenza del F. Oglio, si prescrive la predisposizione di approfondimenti relativi alle problematiche di amplificazione litologica, ma anche in ordine alla suscettibilità alla liquefazione utilizzando le procedure note in letteratura comunemente utilizzate.

9.6 - APPENDICE: METODOLOGIE PER IL CALCOLO DELLE ONDE Vs

La conoscenza degli spessori (stratigrafia) e delle onde Vs con la profondità può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale (cfr. scenari passibili di amplificazione litologica).

I metodi più consoni riguardano l'esecuzione di sondaggi opportunamente strumentati con registratori, entro cui effettuare prove di down-hole (DH), oppure indagini geofisiche quali sismica a rifrazione superficiale (ad esempio M.A.S.W. – Multichannel Analysis Surface Wave).

In linea generale dette prove consentono di valutare la velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) e, per le prove DH, di compressione (Vp), dei materiali e i relativi parametri elastici.

L'ipotesi alla base della prova è quella di supporre il volume di terreno da investigare stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno sia elastico, omogeneo ed isotropo.

10.0 – ELEMENTI VINCOLISTICI

L'analisi della documentazione a disposizione unitamente all'analisi incrociata con quanto già emerso nello studio della componente geologica a suo tempo redatto (1994), ha permesso di identificare l'esistenza e l'estensione di eventuali vincoli connessi a matrici di differente natura dall'interno del settore territoriale di specifico interesse. In particolare sono stati individuati:

- zona di tutela assoluta opere di captazione ad uso idropotabile (raggio 10 m dei pozzi per acqua come da D.Lgs. 152/06)
- aree di salvaguardia opere di captazione ad uso idropotabile (raggio 200 m dei pozzi per acqua come da D.Lgs. 152/06 – Art. 94)
- reticolo idrico principale costituito dal fiume Oglio
- fasce fluviali così come definite dal Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
- fasce di rispetto dei corsi d'acqua R.D. 523-1904, D.G.R. 7/13950 in accordo con l'apposito studio del Reticolo Idrico Minore redatto.
- limiti della Riserva Naturale "Boschetto della Cascina Campagna" (S.I.C. 2060014)

Viene inoltre riportato il limite amministrativo del Parco Regionale Oglio Nord

11.0 – STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA

L'analisi della componente geologica alle azioni di piano deve recepire nell'ambito degli elementi valutativi di base le determinazioni dei piani stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico approvati dall'Autorità di Bacino del Fiume Po e dei Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale (strumenti di pianificazione sovraordinata). Sono stati esaminati i Piani Stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del Fiume Po (PAI) approvato con d.p.c.m. 24 maggio 2001 e successive varianti ed integrazioni (d.p.c.m. 10 dicembre 2004); sono state inoltre verificate le cartografie di dissesto fornite dal PAI e le cartografie relative alla delimitazione delle fasce di pertinenza fluviale PAI.

Da tali analisi il settore di specifico interesse risulta essere interessato da settori vincolati dal PAI ovvero da settori interessati dalla perimetrazione delle fasce di pertinenza fluviale (Fascia A, B, C).

Essendo il PAI uno strumento di pianificazione sovraordinato, per quanto attiene alle variazioni di destinazione d'uso a livello comunale, oltre alle prescrizioni inerenti la fattibilità geologica contenuta nel presente studio, si dovrà anche ed espressamente tenere conto delle norme di attuazione del PAI medesimo con particolare riferimento a quanto previsto dagli articoli 1 (comma 6), 29, 32, 38, 38 bis, 39 e 41. Nell'ambito del presente lavoro si è pertanto assimilata la definizione delle fasce di pertinenza fluviale così come definite dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI); per tale motivazione la carta del dissesto (con legenda uniformata PAI) non è stata prodotta in quanto priva di elementi significativi e/o di aggiornamenti di sorta.

Nella **Tavola 05** viene riportata la sintesi degli elementi vincolistici sopra citati.

12.0 - SINTESI DEGLI ELEMENTI VALUTATIVI TERRITORIALI

Si quindi proceduto all'analisi incrociata dei dati geologici, idrogeologici e geologico-tecnici raccolti. Il significato di tale sintesi risiede nell'ottenere un quadro complessivo e di tutti i caratteri di fondamentale interesse ai fini della pianificazione del settore territoriale di specifico interesse. Sono stati presi in considerazione i seguenti fattori valutativi

A - caratteri geomorfologici delle aree

- caratteri geologici delle aree e di un significativo intorno
- caratteri strutturali e morfologici delle aree
- potenziale pericolosità ambientale delle aree

B - parametri litologici

- caratteristiche litologiche dominanti nel primo sottosuolo

C - parametri idrogeologici

- andamento delle curve isofreatimetriche (soggiacenza della tavola d'acqua)
- presenza e distribuzione areale di particolari strutture idrogeologiche (fontanili)
- corsi d'acqua superficiali artificiali di piccola e media importanza (colatori, rogge)

D – Elementi di valutazione geotecnica

- dati derivanti da saggi di terreno (caratteristiche geolitologiche del primo sottosuolo)
- dati derivanti da prove penetrometriche
- dati derivanti da sondaggi a carotaggio continuo ed altre tipologie di indagine

E – Scenari di pericolosità sismica locale

L'implementazione di tali dati ha condotto all'elaborazione della carta di sintesi restituita nella **Tavola 06** riportate a fine lavoro.

13.0 - FATTIBILITA' GEOLOGICA ALLE AZIONI DI PIANO

INTRODUZIONE

La definizione della fattibilità geologica alle azioni di piano deriva dall'analisi comparata di tutti gli elementi fisiografici primari del territorio (geologia, geomorfologia, idrogeologia, geotecnica) rapportati ai caratteri di pericolosità sismica dei settori territoriali specifici. In tal modo si è giunti ad una zonazione territoriale in "**classi di fattibilità geologica**" secondo lo schema classificativo sotto riportato; in particolare sono state distinte

Classe 1:	fattibilità senza particolari limitazioni
Classe 2:	fattibilità con modeste limitazioni
Classe 3:	fattibilità con consistenti limitazioni
Classe 4:	fattibilità con gravi limitazioni

La carta di fattibilità geologica, restituita alla scala 1:5000, viene restituita nella **Tavola 07** riportata a fine lavoro. Come richiesto dalla normativa nella **Tavola 08** viene inoltre restituita la medesima carta di fattibilità alla scala 1:10.000.

Si ricorda che la definizione delle classi di fattibilità, costituisce comunque il frutto di valutazioni geologico-tecniche con validità a carattere generale; eccezione fatta per la **Classe n° 04**. I limiti territoriali tra le differenti zonazioni non devono pertanto essere considerati come elementi assoluti ed irremovibili, bensì come aree transizionali per le quali il grado di fattibilità specifico dipenderà in modo sostanziale dalle condizioni geologiche e geotecniche rilevabili attraverso l'esecuzione delle indagini puntuali suggerite nella proposta di normativa qui di seguito riportata.

Si sottolinea e ribadisce come tutte le indagini geotecniche considerate ai fini della stesura del presente lavoro (prove penetrometriche, sondaggi, analisi di laboratorio, ecc...) assumono significato puramente preliminare: ovvero non dovranno e non potranno essere considerate sostitutive delle indagini geognostiche e geologico-tecniche sito specifiche previste nelle prescrizioni redatte per ciascuna classe e necessarie ai fini della realizzazione di ogni singola tipologia edificatoria.

Si sottolinea che gli approfondimenti di carattere geologico-tecnico previsti per ciascuna classe di fattibilità (v. **PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ**) rappresentano **linee guida di base** che **non sostituiscono**, anche se possono comprendere, le indagini previste dal D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" e s.m.i. a cui si fa specifico riferimento.

DEFINIZIONE DELLE CLASSI DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

CLASSE 1: fattibilità geologica senza particolari limitazioni

Comprende quelle aree caratterizzate da una strutturazione geologica favorevole alla realizzazione ed allo sviluppo del tessuto urbanistico. In esse viene quindi identificata una categorizzazione ottimale al fine di un potenziale sviluppo anche diversificato in ambito urbanistico-edificatorio.

DEFINIZIONE: depositi di origine fluvioglaciale e fluviale appartenenti al Complesso dell'Oglio (*Unità di Palosco*) ed in minima parte all' unità Postglaciale (pg1) (depositi costituenti il Livello Fondamentale della Pianura Auct. - L.F.P.). Depositi granulari prevalenti contraddistinti da soggiacenza plurimetrica del primo complesso acquifero, in genere *superiore* a 5-6 m dal piano campagna.

Morfologia: aree stabili, pianeggianti, altimetricamente rilevate rispetto ai settori interessati da attività erosivo-deposizionali fluviali antiche ed attuali del fiume Oglio. Assenza di problematiche idraulico-esondative legate al fiume Oglio.

Litologie: la struttura litostratigrafica presunta per il primo sottosuolo è riassumibile come segue:

0,00 - 0,20 m	<i>Terreno di coltivo costituito da limi brunastri più o meno sabbiosi</i>
0,20 - 0,70 m	<i>Depositi di alterazione costituiti da limi più o meno sabbiosi localmente associati a frazioni ghiaiose in genere disperse nella matrice</i>
0,70 - 3,50 m	<i>Ghiaia di varia pezzatura, presumibilmente medio-grossolana associata a subordinati depositi sabbiosi in genere ben lavati</i>
3,50 - 8.50 m	<i>Ghiaia di varia pezzatura associata ad abbondante matrice sabbiosa più o meno limosa limosa</i>
8.50 - 15.0 m	<i>Ghiaia medio grossolana prevalente con sabbia; abbondanti ciottoli.</i>

Idrologia di superficie: diffusa presenza del strutture a carattere irriguo; presenza delle aree di rispetto previste per il reticolo idrografico principale e minore. La granulometria grossolana dei sedimenti, unitamente all'esiguo spessore della coltre di copertura permette il rapido deflusso delle acque meteoriche nel sottosuolo. Assenza di fenomeni di stagnazione superficiale.

Idrogeologia: assenza di strutture idrogeologiche peculiari quali fontanili o zone di risorgiva attive; livello freatico stimabile intorno a circa 6-10 m da piano campagna attuale a seconda del settore considerato con escursioni stagionali dell'ordine di 1,00-1,50 m. Tale ultimo elemento (escursioni stagionali) costituisce un parametro di valutazione fondamentale ai fini progettuali.

Geotecnica: struttura geomeccanica generale ipotizzata:

a - litozona superiore: spinta sino a circa 3.50 m da p.c. caratterizzata da buon grado di addensamento

b - litozona inferiore: spinta sino a 8.50 m da p.c. presenta depositi da sciolti a mediamente addensati

c - litozona basale spinta sino a 15 m circa da p.c. da addensata a molto addensata

L'elemento valutativo limitante ai fini progettuali è costituito dalla possibile presenza di una litozona sabbioso-ghiaiosa inferiore con moderati caratteri di addensamento. La programmazione delle indagini pre-progettuali in tutto questo settore dovrà quindi vertere alla definizione di questa problematica geotecnica ed alla conseguente verifica, caso per caso, delle eventuali problematiche in essere.

PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ 1

Le problematiche di primaria importanza per questa classe riguardano essenzialmente gli aspetti di ordine geotecnico ovvero la possibile presenza di depositi contraddistinti da caratteri di addensamento non pienamente soddisfacenti ai fini progettuali. La soggiacenza del primo complesso acquifero, sebbene stimata ad una profondità compresa tra 6 ed oltre 10 m, costituisce comunque un elemento progettuale non sottovalutabile soprattutto per interventi edificatori che prevedano strutture interrato di una certa importanza.

Indagini Pre-Progettuali

CASO A: Edifici strumentali ed abitazioni civili di altezza non superiore ai 10 metri

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose si potranno prelevare campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 10 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 4.00 per struttura edificatoria o definito secondo criteri proporzionali al tipo d'intervento. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - Prospezioni sismiche finalizzate alla definizione del parametro Vs30.

d - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

L'esecuzione di sondaggi a carotaggio rimane comunque caldamente consigliata.

CASO B: Opere di edilizia pubblica

Edifici di altezza superiore ai 10 metri e/o sottoposti a carichi dinamici

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose prelievo di campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimo di prove è pari a 4-8 per singola infrastruttura in progetto e/o valutato secondo criteri cautelativi proporzionali all'entità dell'opera prevista. Nel caso di disomogeneità dei caratteri del sottosuolo il numero minimo previsto potrà essere proporzionalmente incrementato sulla base delle esigenze sito specifiche emerse.

c - Esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo spinti ad una profondità di 15-20 m da p.c., completati da prove S.P.T.a fondo foro eseguite ad intervalli di avanzamento variabili da 1.00 a 1.50 m. Prelievo di campioni rimaneggiati (nel caso di terreni incoerenti) o indisturbati classe Q5 nel caso di livelli coesivi. Il numero minimale di sondaggi da eseguire dovrà essere valutato secondo criteri cautelativi proporzionali all'entità dell'opera prevista.

d - Prospezioni sismiche finalizzate alla definizione del parametro Vs30.

e - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO C: Piani di Lottizzazione

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. per la verifica delle litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose si dovranno prelevare campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 10 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 6-8 per superficie unitaria pari a 10.000 mq e/o valutato secondo criteri cautelativi proporzionali all'entità dell'intervento urbanistico previsto. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - in alternativa le prove penetrometriche potranno essere sostituite per il 50% da sondaggi a carotaggio continuo come specificato nel paragrafo precedente

d - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO D: Settori territoriali posti in prossimità del limite morfologico del sistema terrazzato sommitale (orlo terrazzato del sistema terrazzato sommitale - L.F.P. Auct.)

Si tratta dei settori sviluppati sul L.F.P. Auct, per una fascia di estensione stimata di 60 m lineari circa, in prossimità dell'orlo di terrazzo principale (limite morfologico della serie terrazzata sommitale).

In quest'ambito gli interventi progettuali dovranno essere corredati da indagini come esplicitato nel **Caso B** ponendo particolare attenzione all'interazione progetto/struttura morfologica procedendo alla conseguente verifica delle condizioni di stabilità del versante. Inoltre dovranno essere attentamente valutate le condizioni sismiche sito specifiche emerse dallo studio della P.S.L. condotto.

Per tali settori viene sconsigliata la realizzazione di edifici ad elevato sviluppo verticale.

Per tutti i casi sopra menzionati andranno preliminarmente valutate le condizioni di stabilità del fronte di scavo per eventuali interventi di riprofilatura dei pendii e per apertura di scavi con altezze del fronte superiori a 1,50 metri.

CLASSE 2: fattibilità geologica con modeste limitazioni

Comprende quelle aree caratterizzate da una strutturazione geologica favorevole alla realizzazione ed allo sviluppo del tessuto urbanistico, ma secondo precisi criteri progettuali finalizzati alla identificazione, caso per caso, delle condizioni specifiche di esercizio e della tipologia delle strutture fondazionali delle future opere. La definizione della presente classe di fattibilità, è stata condotta sulla base sia delle condizioni litologiche/geotecniche che idrogeologiche: infatti la riduzione della profondità di soggiacenza del primo complesso acquifero e la conseguente necessaria definizione preliminare delle condizioni idrogeologiche al contorno diviene di fatto uno degli elementi di valutazione di primario interesse ai fini progettuali; in tale classe si delineano inoltre condizioni generali di maggiore vulnerabilità a carico del primo complesso acquifero.

DEFINIZIONE: depositi di origine fluvioglaciale appartenenti al Complesso dell'Oglio (*Unità di Palosco*) costituenti il Livello Fondamentale della Pianura (L.F.P.). Depositi granulari prevalenti contraddistinti da soggiacenza plurimetrica del primo complesso acquifero inferiore o pari a 5 m dal piano campagna.

Morfologia: aree stabili, pianeggianti, altimetricamente rilevate rispetto ai settori interessati da attività erosivo-deposizionali fluviali antiche ed attuali del fiume Oglio. Assenza di problematiche idraulico-esondative legate al fiume Oglio.

Litologia: la struttura litostratigrafica presunta per il primo sottosuolo è del tutto assimilabile a quella definita per la classe di fattibilità 01:

0,00 - 0,20 m	<i>Terreno di coltivo costituito da limi brunastri più o meno sabbiosi</i>
0,20 - 0,70 m	<i>Depositi di alterazione costituiti da limi più o meno sabbiosi localmente associati a frazioni ghiaiose in genere disperse nella matrice</i>
0,70 - 3,50 m	<i>Ghiaia di varia pezzatura, presumibilmente medio-grossolana associata a subordinati depositi sabbiosi in genere ben lavati</i>
3,50 - 8.50 m	<i>Ghiaia di varia pezzatura associata ad abbondante matrice sabbiosa più o meno limosa limosa</i>
8.50 - 15.0 m	<i>Ghiaia medio grossolana prevalente con sabbia; abbondanti ciottoli.</i>

Idrologia di superficie: assenza di strutture idrografiche limitanti ai fini programmatici ad esclusione delle eventuali aree di rispetto previste per il reticolo idrografico principale e minore. Fenomeni di stagnazione idrica superficiale scarsi o nulli.

Idrogeologia: assenza di strutture idrogeologiche peculiari quali fontanili o zone di risorgive attive; soggiacenza della *falda acquifera a profondità pari o inferiore a 5 m circa dal piano campagna.*

Geotecnica: struttura geotecnica generale ipotizzata:

- a - litozona superiore: spinta sino a circa 3.50 m da p.c. caratterizzata da buon grado di addensamento
- b - litozona inferiore: spinta sino a 8.50 m da p.c. presenta depositi da sciolti a mediamente addensati
- c - litozona basale spinta sino a 15 m circa da p.c. da addensata a molto addensata

L'elemento valutativo limitante ai fini progettuali è costituito dai possibili moderati caratteri di addensamento della litozona b e dalla profondità di soggiacenza del primo complesso acquifero. Lo sviluppo di tale classe si sviluppa sul L.F.P. in prossimità del limite amministrativo meridionale del territorio di Pumenengo.

PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ 2

Le problematiche di primaria importanza per questa classe riguardano essenzialmente gli aspetti di ordine geotecnico ovvero la possibile presenza di depositi contraddistinti da caratteri di addensamento non pienamente soddisfacenti ai fini progettuali. Dovrà inoltre essere valutata la profondità del primo complesso acquifero onde ovviare problematiche di interferenza idrogeologica. Ogni intervento edilizio e/o progetto che preveda variazione di destinazione d'uso del territorio dovrà essere attentamente valutato e subordinato alla definizione delle problematiche sito-specifiche con la finalità di ottimizzare gli interventi medesimi e di non alterare l'assetto idraulico e naturalistico-ambientale del territorio.

Indagini Pre-Progettuali

CASO A: Opere di edilizia pubblica, edifici di importanza strategica, edifici ad elevato grado di frequentazione (edifici sensibili - I^a categoria)

a - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standard spinte ad una profondità non inferiore a 15 - 20 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimo di prove è pari a 5-8 per singola infrastruttura in progetto e/o secondo criteri cautelativi proporzionali all'entità dell'opera prevista. Nel caso di disomogeneità dei caratteri del sottosuolo il numero minimo previsto potrà essere proporzionalmente incrementato sulla base delle esigenze sito specifiche emerse.

b - caratterizzazione geognostica del sottosuolo tramite sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità significative ai fini progettuali e completati da prove S.P.T. in foro con intervalli di steps variabili da 1.0 a 2.0 m circa. Prelievo di campioni rimaneggiati (nel caso di orizzonti incoerenti) o indisturbati classe Q5 (nel caso di orizzonti coesivi). Numero minimo di sondaggi pari a 1/2 e/o proporzionati all'entità ed all'importanza strategica dell'opera prevista.

c - analisi di laboratorio geotecnico di identificazione: analisi granulometriche, prove di plasticità di Atterberg, peso di volume dei terreni allo stato naturale, peso specifico dei granuli, prove di resistenza al taglio (angolo di attrito e coesione) e classificazione geotecnica terre secondo la norma CNR-UNI 10006.

d - le indagini idrogeologiche finalizzate alla definizione delle condizioni idrauliche e di soggiacenza dei corpi idrici presenti e la loro interfaccia/interferenza con le opere progettuali (definizione livelli statici della tavola d'acqua, variazioni stagionali dei medesimi, stima della massima escursione stagionale prevedibile ecc...) mediante eventuali stazioni piezometriche di monitoraggio.

e - caratterizzazione sismica sito specifica mediante definizione delle velocità medie delle onde S nei primi 30 m di profondità (parametro Vs30), definizione della categorizzazione sismica dei suoli e definizione dello spettro di risposta sismica.

f - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO B: Opere di edilizia privata

Edifici sino a due piani fuoriterra

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose e/o coesive si potranno prelevare campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 4-6 per ciascuna struttura edificatoria. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato e associato ad eventuali indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo).

c - Prospezioni sismiche finalizzate alla definizione del parametro Vs30.

d - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

L'esecuzione di sondaggi a carotaggio rimane comunque caldamente consigliata.

Edifici con oltre due piani fuori terra ed edifici produttivi

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente incoerenti: prelievo di campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 5-8 per struttura edificatoria. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo come specificato in precedenza per il Caso A.

d - Prospezioni sismiche finalizzate alla definizione del parametro Vs30.

e - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO C: Piani di Lottizzazione

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. per la verifica delle litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose si dovranno prelevare campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 6-10 per superficie unitaria pari a 5.000 mq. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - in parziale sostituzione alle prove penetrometriche potranno essere realizzati sondaggi a carotaggio continuo spinti ad una profondità significativa ai fini progettuali e completi di prove S.P.T. in foro eseguiti ad intervalli di avanzamento variabili da 1.00 a 2.00 m. Prelievo di campioni rimaneggiati (nel caso di orizzonti incoerenti) o indisturbati classe Q5 nel caso di livelli coesivi.

d - caratterizzazione sismica sito specifica mediante definizione delle velocità medie delle onde S nei primi 30 m di profondità (parametro Vs30), definizione della categorizzazione sismica dei suoli e definizione dello spettro di risposta sismica.

e - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

Per tutti i casi sopra menzionati andranno preliminarmente valutate le condizioni di stabilità del fronte per eventuali interventi di riprofilatura dei pendii (siano essi costituiti da depositi litoidi o sciolti e contraddistinti da angolo al piede con valore prossimo o superiore all'angolo di attrito interno medio dei materiali coinvolti) e per apertura di scavi con altezze del fronte superiori a 1,50 metri.

CLASSE 3: fattibilità geologica con consistenti limitazioni

In questa classe rientrano i settori territoriali in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso del territorio in funzione dell'entità e della tipologia del rischio rilevato. La definizione della classe di fattibilità è stata subordinata al riscontro di possibili problematiche connesse sia alla potenziale predisposizione delle aree al dissesto idrogeologico (morfodinamiche evolutive) sia ai caratteri geotecnici ed idrogeologici sito specifici. La definizione della classe di fattibilità è stata condotta sulla base delle specifiche condizioni litologiche, geotecniche, idrogeologiche e di **rischio idraulico** portando alla individuazione di *due differenti sottoclassi*: **Sottoclasse 3a** e **Sottoclasse 3b**.

DEFINIZIONE SOTTOCLASSE 3a: Depositi di origine fluviale appartenenti all'unità Formazionale quaternaria Postglaciale (*Alluvioni antiche e recenti del F. Oglio Auct.*). Depositi granulari prevalenti contraddistinti da soggiacenza del primo complesso a piccola profondità (tavola d'acqua rilevabile a 3,00 – 4,50 m circa di profondità dal piano campagna attuale). *Rischio idraulico* (da esondazione) *da moderato a basso*.

Morfologia: aree appartenenti alla valle del Fiume Oglio altimetricamente intermedie tra la superficie della serie terrazzata sommitale (L.F.P.) e la restante parte (maggiormente depressa) della valle fluviale dell'Oglio. Tali aree risulano in genere ben delineate da scarpate morfologiche plurimetrie di altezza compresa tra 3 e 4 m circa.

Litologia: la struttura litostratigrafica presunta per il primo sottosuolo è schematizzabile come segue:

0,00 - 0,20 m	<i>Terreno di alterazione superficiale (vegeto-coltivo) poco sviluppati a notevole componente sabbiosa</i>
0,20 - 0,80 m	<i>terreni di alterazione costituiti da sabbie limose solo localmente passanti a limi sabbiosi (coltre di alterazione) associate a subordinate frazioni ghiaiose.</i>
0,80 - 6.0 m	<i>sabbie da pulite a limose associate ad abbondante ghiaia di varia pezzatura in prevalenza media e grossolana.</i>

Possibile presenza di eterogeneità litologiche a livello locale date da variazioni nello spessore delle coltri di alterazione e dalla comparsa di intercalazioni coesive/pseudocoerenti nei diversi orizzonti sopra descritti.

Idrologia di superficie: assenza di strutture idrografiche limitanti ai fini programmatici ad esclusione delle eventuali aree di rispetto previste per il reticolo idrografico principale e minore. Fenomeni di stagnazione idrica assenti a causa dell'elevata permeabilità dei depositi superficiali.

Idrogeologia: assenza di strutture idrogeologiche peculiari quali fontanili o zone di risorgive attive; profondità di soggiacenza del primo complesso acquifero compresa nel range 0,50 – 1,50 m circa da piano campagna.

Rischio idraulico (da esondazione) **da moderato a basso**.

Geotecnica: presumibili terreni di tipo incoerente prevalenti, con presumibili caratteri di addensamento inferiori rispetto alle classi di fattibilità precedenti.

DEFINIZIONE SOTTOCLASSE 3b: Depositi di origine fluviale appartenenti all'unità Formazionale quaternaria Postglaciale. Depositi granulari prevalenti contraddistinti da soggiacenza del primo complesso acquifero prossima al piano campagna (1,0 – 2,0 m circa di profondità). *Rischio idraulico (da esondazione) da medio a medio-elevato.*

Morfologia: aree appartenenti alla valle fluviale dell'Oglio, altimetricamente depresse rispetto alla superficie terrazzata della sottoclasse 3b; appaiono in parte delineate da terrazzamenti minori contraddistinti da modesti dislivelli.

Litologia: la struttura stratigrafica *presunta* per il primo sottosuolo è schematizzabile come segue:

0,00 - 0,20 m	<i>Terreno di vegeto-coltivoda mediamente sviluppato a notevole componente sabbiosa</i>
0,20 -0,50 m	<i>sabbie limose solo localmente passanti a limi sabbiosi (coltre di alterazione). Sovente tale orizzonte può risultare poco distinguibile e/o mancante</i>
0,50 – 6.0 m	<i>sabbie da pulite a limose localmente associati a ghiaia di varia pezzatura in prevalenza media e grossolana</i>

Anche in quest'ambito si possono rilevare notevoli eterogeneità litologiche a livello locale date da variazioni dello spessore delle coltri di alterazione e dalla comparsa di intercalazioni pseudocoerenti/granulari nei diversi orizzonti sopra descritti.

Idrologia di superficie: assenza di strutture idrografiche limitanti ai fini programmatici ad esclusione delle eventuali aree di rispetto previste per il reticolo idrografico principale e minore. Possibili locali Fenomeni di stagnazione idrica alla superficie.

Idrogeologia: assenza di strutture idrogeologiche peculiari quali fontanili o zone di risorgive; profondità di soggiacenza del primo complesso acquifero compresa nel range 0,50 – 1,50 m circa da piano campagna.

Rischio idraulico da esondazione da medio a medio elevato

Geotecnica: presumibili terreni di tipo incoerente prevalenti, con caratteri di addensamento da contenuto ad assai contenuto ad elevato grado d'imbibizione (saturi).

PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ 3

Le tematiche di primaria importanza riguardano gli aspetti *geologico-tecnici*, *idrogeologici* ed *idraulici* per i quali dovrà essere posta particolare attenzione alla definizione delle problematiche sito specifiche ed alla mitigazione e/o risoluzione delle medesime mediante progettazioni oculate. Dovranno essere previste ed attuate *indagini geologico-tecniche* puntuali finalizzate alla definizione e quantificazione dei rischi progettuali intrinseci relativi alle singole opere. Le problematiche di ordine geotecnico risultano connesse al presumibile modesto grado di addensamento dei terreni ed alla presumibile eterogeneità litologica, tessiturale e geometrica dei medesimi.

Tutti gli interventi che prevedono variazione di destinazione d'uso del suolo (ristrutturazioni di edifici in essere, nuove edificazioni) dovranno essere adeguatamente supportati da *indagini idrauliche ed idrogeologiche mirate*, e redatti secondo criteri chiaramente cautelativi; si sottolinea come le progettazioni dovranno tenere in debita considerazione la *problematica idraulica* ivi esistente (rischio da esondazione) ai fini di attuare interventi edificatori secondo criteri di massima sicurezza ovvero verificati in condizioni idrauliche di massimo sfavore.

Indagini Pre-Progettuali

CASO A: Opere di edilizia pubblica, edifici di importanza strategica, edifici ad elevato grado di frequentazione (edifici sensibili - I^a categoria)

a - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standard spinte ad una profondità non inferiore a 15 - 20 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimo indicativo di prove è pari a 8-10 per singola infrastruttura in progetto e/o concepito in modo proporzionale all'entità dell'opera prevista. Nel caso di disomogeneità dei caratteri del sottosuolo il numero minimo previsto potrà essere proporzionalmente incrementato sulla base delle esigenze sito specifiche emerse.

b - caratterizzazione geognostica del sottosuolo tramite sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità significative ai fini progettuali e completati da prove S.P.T. in foro con intervalli di steps variabili da 1.00 a 1.50 m circa. Prelievo di campioni rimaneggiati (nel caso di livelli sabbiosi) o indisturbati classe Q5 nel caso di livelli coesivi. Il numero minimo di sondaggi dovrà essere proporzionato all'entità ed all'importanza strategica dell'opera prevista.

c - analisi di laboratorio geotecnico di identificazione: analisi granulometriche, prove di plasticità di Atterberg, peso di volume dei terreni allo stato naturale, peso specifico dei granuli, prove di resistenza al taglio (angolo di attrito e coesione) e classificazione geotecnica terre secondo la norma CNR-UNI 10006.

d - indagini idrogeologiche finalizzate alla chiara identificazione delle condizioni e di soggiacenza dei corpi idrici presenti e la loro interfaccia/interferenza con le opere progettuali (definizione livelli statici della tavola d'acqua, variazioni stagionali dei medesimi, stima della massima escursione stagionale prevedibile ecc...); realizzazione di eventuali stazioni piezometriche di monitoraggio.

e - caratterizzazione sismica sito specifica mediante definizione delle velocità medie delle onde S nei primi 30 m di profondità (parametro Vs30), definizione delle categorizzazioni sismiche dei suoli e definizione dello spettro di risposta sismica in base a quanto previsto dalla normativa in ottemperanza delle N.T.C. 14/01/2008.

f - analisi preliminare accurata delle **condizioni idrauliche sito specifiche** mediante redazione di apposito studio di compatibilità ambientale che definisca in modo univoco, in fase pre-progettuale, il grado di rischio idraulico ed i necessari interventi di mitigazione e/o abbattimento del rischio.

g - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO B: Opere di edilizia privata (residenziale e produttiva)

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose prelievo di campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare dovrà

essere valutato in base all'entità della struttura edificatoria in progetto. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo come specificato per il Caso A.

d – identificazione delle *condizioni idrogeologiche e di soggiacenza dei corpi idrici* presenti e la loro possibile interferenza con le opere progettuali (definizione livelli statici della tavola d'acqua, variazioni stagionali dei medesimi, stima della massima escursione stagionale prevedibile ecc...) e realizzazione di eventuali stazioni piezometriche di monitoraggio.

e – analisi preliminare accurata delle *condizioni idrauliche sito specifiche* mediante redazione di apposito studio di compatibilità ambientale che definisca in modo univoco, in fase pre-progettuale, il grado di rischio idraulico e gli interventi di mitigazione e/o abbattimento del rischio necessari.

f - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atte a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

Anche nel caso di interventi e/o **edificazioni di piccola volumetria** e, in ogni caso per *interventi di ristrutturazione e mantenimento funzionale* di edifici in essere che prevedano modificazioni dei carichi strutturali, dovranno essere previste adeguate indagini geologico-tecniche di approfondimento, finalizzate all'individuazione di eventuali problematiche sito specifiche. Si dovrà predisporre un programma di indagini mirate contenente perlomeno gli elementi di base previsti dalla normativa in vigore (D.M. 14/01/2008):

CLASSE 4: fattibilità geologica con gravi limitazioni

Tale classe accorpa quei settori in cui sono state riconosciute gravi limitazioni alla modifica della destinazione d'uso del territorio, tali da determinare, in virtù delle potenzialità di rischio individuate, l'esclusione di qualsivoglia nuovo intervento edificatorio (settori di inedificabilità assoluta), fatta eccezione per gli interventi di regimazione idraulica finalizzati alla realizzazione di sistemazioni idrauliche ed idrogeologiche. Per le strutture edificatorie in essere saranno consentiti gli interventi di ristrutturazione, mantenimento funzionale e consolidamento così come definito dall' art 31 lettere a), b), c) della legge 457/1978. Eventuali proposte di declassazione di settori territoriali rientranti in questa classe (sempre che prevista dalla Tabella 01: "classi di ingresso" della D.G.R. n.8/7374 del 28 maggio 2008) dovranno essere corredate da adeguato studio geologico, idrogeologico ed idraulico di supporto, che ne verifichi le condizioni di pericolosità, il grado di rischio sito specifico e garantisca la compatibilità degli interventi nel contesto generale mediante adeguati interventi di mitigazione.

Morfologia: settori direttamente connessi ai corsi d'acqua superficiali appartenenti al reticolo idrico principale (settori territoriali rientranti nelle fasce fluviali A e B definite dal P.A.I.) e al reticolo idrico minore; zone di tutela assoluta dei pozzi ad uso idricopotabile così come definito dalla D.Lgs 152/06; aree periodicamente allagate, settori d'alveo attuale del Fiume Oglio, zone umide e di lanca fluviale.

Litologie: per lo più assimilabili a quelle definite per la classe 3b.

Idrologia di superficie: canalizzazioni e/o bacini idrici naturali a carattere perenne o temporaneo. Fenomeni di ristagno di acque al suolo

Idrogeologia: condizioni di soggiacenza prossime al piano topografico con affioramento a livello locale della falda acquifera; qualsivoglia tipologia di intervento dovrà vertere alla non modificazione dei flussi idrici superficiali e sotterranei, nè al loro abbattimento o alla regimazione forzata di alvei naturali. **Rischio**

idraulico da esondazione elevato: in questa classe rientrano i settori territoriali più prossimali e topograficamente raccordabili alle zone d'alveo attuali, zone umide, zone di lanca e settori cartograficamente identificati dal P.A.I. come rientranti nelle fasce di rispetto fluviale A e B..

Geotecnica: presumibili terreni contraddistinti da grado di addensamento assai contenuto a notevole variabilità laterale.

PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ 4

La necessità di preservare l'assetto idraulico, idrogeologico ed ambientale di questi settori territoriali impone il divieto assoluto all'edificabilità, consentendo altresì unicamente interventi di regimazione idraulica e di consolidamento arginale degli alvei costituenti il reticolo idrico oltre che la loro manutenzione ordinaria e straordinaria finalizzata alla rimozione ed eliminazione di materiale di ostacolo al naturale deflusso delle acque in occasione di eventi di piena.

Indagini Pre-Progettuali

Nel caso di *interventi di ristrutturazione e mantenimento funzionale* di edifici in essere che prevedano modificazioni anche minime dei carichi strutturali, dovranno essere previste adeguate indagini geologico-tecniche di approfondimento finalizzate all'individuazione di eventuali problematiche sito specifiche. Si dovrà predisporre un programma di indagini mirate come di seguito specificato:

a - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare dovrà essere proporzionale all'intervento previsto con numero proporzionale al tipo di intervento; eventualmente integrate da sondaggi a carotaggio continuo. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di indagini in sito potrà essere proporzionalmente incrementato sulla base delle specifiche condizioni rilevate.

b – caratterizzazione geolitologica mediante esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità indicativa parva ad almeno 3-4 m dal piano campagna.

c - stesura di relazione geotecnica (conforme alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni ammissibili previste. Definizione delle condizioni di rischio idrogeologico ed idraulico sito specifiche mediante apposito studio di supporto.

APPENDICE

OPERE DI CAPTAZIONE IDRICA

Le aree di salvaguardia della **captazioni ad uso idropotabile**, ai sensi dell'art. 94 del D. L. 152/2006, vengono distinte in:

- "**zona di rispetto**" (criterio geometrico ai sensi della D.G.R. n. 6/15137: porzione di cerchio di raggio 200 m, con centro nel punto di captazione, estesa a monte dell'opera di presa e delimitata a valle dall'isoipsa passante per la captazione stessa)
- "**zona di tutela assoluta**" rientrante invece nella *classe IV* in precedenza definita.

Nelle aree ricadenti nell'ambito della "zona di rispetto" delle opere di captazione idropotabile, dovranno essere vietate, in accordo con i disposti dell'art. 94 del D.L. 152/2006, le seguenti attività:

- dispersione di fanghi ed acque reflue, anche se depurati;
- accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
- aree cimiteriali;
- apertura di cave che possano essere in connessione con la falda;
- apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione delle caratteristiche qualitative della risorsa idrica;
- gestione di rifiuti;
- stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- pozzi perdenti;
- pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. Per gli insediamenti o le attività di cui sopra, preesistenti, ove possibile e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, andranno adottate le misure per il loro allontanamento; in ogni caso dovrà essere garantita la loro messa in sicurezza.

La disciplina, all'interno della zona di rispetto, delle seguenti attività:

- fognature;
- edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione;
- opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio;
- distribuzione di concimi chimici e fertilizzanti in agricoltura nei casi in cui esista un piano regionale o provinciale di fertilizzazione;
- le pratiche agronomiche e i contenuti dei piani fertilizzazione precedentemente citati;

dovrà invece essere conformata alle prescrizioni fissate dalla Regione Lombardia con D.G.R. n. VII/12693 del 10/04/2003.

Le "zone di tutela assoluta", (rientranti nella *classe IV*), sempre ai sensi dell'art. 94 del D.L. 152/2006, dovranno essere adeguatamente protette ed adibite esclusivamente alla captazione ed alle infrastrutture di servizio.

RISERVA NATURALE “BOSCHETTO DELLA CASCINA CAMPAGNA”

In seguito alla deliberazione del Consiglio Regionale del 20.03.1991 - V/135 , all'interno del territorio comunale di Pumenengo è stata istituita la riserva naturale “**Boschetto della Cascina Campagna**”, sita nel settore meridionale in corrispondenza dei territori estesi ai piedi del limite terrazzato del livello fondamentale della pianura. Vengono qui di seguito riportati gli elementi fondamentali della suddetta delibera:

Istituzione: Riserva naturale “Boschetto della Cascina Campagna”

Finalità: - conservazione dell'originario bosco planiziario padano
- controllo della fruizione del territorio ai fini scientifici e didattici

Classificazione: “parziale botanica”

Gestione: Consorzio del parco naturale dell'Oglio Nord, prima del suo insediamento la gestione riguarda l'Amministrazione provinciale di Bergamo

Pianificazione: il piano della riserva naturale, che deve essere preceduto da uno studio relativo alle condizioni ambientali pregresse, attuali e future, deve regolamentare le attività antropiche consentite e contenere eventuali proposte di modifica dei confini per renderli più adeguati alla realizzazione delle finalità per cui la riserva è stata istituita.

Divieti e limitazioni alle attività antropiche:

- realizzazione di edifici
- costruire o modificare strutture preesistenti, ad eccezione di quanto previsto dal piano in funzione delle finalità della riserva
- realizzazione di insediamenti produttivi
- apertura di cave
- impiantare campeggi liberi o organizzati
- attuare movimenti di terra o comunque interventi che modifichino la morfologia del suolo
- costruire recinzioni fisse
- sosta o parcheggio con mezzi motorizzati, ad eccezione di quelli di servizio
- abbandonare rifiuti
- svolgere attività pubblicitaria, folkloristica , sportivo o picnic
- accendere fuochi
- raccogliere o comunque danneggiare la flora
- impiantare o introdurre nuovi elementi floristici o faunistici che alterino l'equilibrio esistente
- esercitare caccia o attività di pascolo
- esercitare attività che comunque danneggino o modifichino l'ambiente

14.0 - NORME GEOLOGICHE DI PIANO

In considerazione di quanto esposto nella relazione geologica ed in accordo con i criteri fissati dalla Regione Lombardia (D.G.R. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 e succ. mod. ed int.), la zonizzazione del territorio comunale di **Pumenengo** è stata definita sulla base di quattro classi di fattibilità (v. Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano), a cui si applicano le seguenti normative d'uso.

Si sottolinea che gli approfondimenti di carattere geologico-tecnico di seguito previsti per ciascuna classe di fattibilità (v. **PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ**) rappresentano linee guida di base che non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dal D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" a cui si fa sempre specifico riferimento.

CLASSE 1: FATTIBILITÀ GEOLOGICA SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI

Comprende quelle aree caratterizzate da una strutturazione geologica favorevole alla realizzazione ed allo sviluppo del tessuto urbanistico. In esse viene quindi identificata una categorizzazione ottimale al fine di un potenziale sviluppo anche diversificato in ambito urbanistico-edificatorio.

DEFINIZIONE: depositi di origine fluvioglaciale e fluviale appartenenti al Complesso dell'Oglio (*Unità di Palosco*) ed in minima parte all' unità Postglaciale (pg1) (depositi costituenti il Livello Fondamentale della Pianura Auct. - L.F.P.).
Depositati granulari prevalenti contraddistinti da soggiacenza plurimetrica del primo complesso acquifero, in genere *superiore* a 5-6 m dal piano campagna.

Morfologia: aree stabili, pianeggianti, altimetricamente rilevate rispetto ai settori interessati da attività erosivo-deposizionali fluviali antiche ed attuali del fiume Oglio. Assenza di problematiche idraulico-esondative legate al fiume Oglio.

Litologie: la struttura litostratigrafica presunta per il primo sottosuolo è riassumibile come segue:

0,00 - 0,20 m	<i>Terreno di coltivo costituito da limi brunastri più o meno sabbiosi</i>
0,20 - 0,70 m	<i>Depositati di alterazione costituiti da limi più o meno sabbiosi localmente associati a frazioni ghiaiose in genere disperse nella matrice</i>
0,70 - 3,50 m	<i>Ghiaia di varia pezzatura, presumibilmente medio-grossolana associata a subordinati depositati sabbiosi in genere ben lavati</i>
3,50 - 8.50 m	<i>Ghiaia di varia pezzatura associata ad abbondante matrice sabbiosa più o meno limosa limosa</i>
8.50 - 15.0 m	<i>Ghiaia medio grossolana prevalente con sabbia; abbondanti ciottoli.</i>

Idrologia di superficie: diffusa presenza del strutture a carattere irriguo; presenza delle aree di rispetto previste per il reticolo idrografico principale e minore. La granulometria grossolana dei sedimenti, unitamente all'esiguo spessore della coltre di copertura permette il rapido deflusso delle acque meteoriche nel sottosuolo. Assenza di fenomeni di stagnazione superficiale.

Idrogeologia: assenza di strutture idrogeologiche peculiari quali fontanili o zone di risorgiva attive; livello freatico stimabile intorno a circa 6-10 m da piano campagna attuale a seconda del settore considerato con escursioni stagionali dell'ordine di 1,00-1,50 m. Tale ultimo elemento (escursioni stagionali) costituisce un parametro di valutazione fondamentale ai fini progettuali.

Geotecnica: struttura geomeccanica generale ipotizzata:

- a - litozona superiore: spinta sino a circa 3.50 m da p.c. caratterizzata da buon grado di addensamento
- b - litozona inferiore: spinta sino a 8.50 m da p.c. presenta depositati da sciolti a mediamente addensati
- c - litozona basale spinta sino a 15 m circa da p.c. da addensata a molto addensata

L'elemento valutativo limitante ai fini progettuali è costituito dalla possibile presenza di una litozona sabbioso-ghiaiosa inferiore con moderati caratteri di addensamento. La programmazione delle indagini pre-progettuali in tutto questo settore dovrà quindi vertere alla definizione di questa problematica geotecnica ed alla conseguente verifica, caso per caso, delle eventuali problematiche in essere.

PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ 1

Le problematiche di primaria importanza per questa classe riguardano essenzialmente gli aspetti di ordine geotecnico ovvero la possibile presenza di depositi contraddistinti da caratteri di addensamento non pienamente soddisfacenti ai fini progettuali. La soggiacenza del primo complesso acquifero, sebbene stimata ad una profondità compresa tra 6 ed oltre 10 m, costituisce comunque un elemento progettuale non sottovalutabile soprattutto per interventi edificatori che prevedano strutture interrato di una certa importanza.

Indagini Pre-Progettuali

CASO A: Edifici strumentali ed abitazioni civili di altezza non superiore ai 10 metri

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose si potranno prelevare campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 10 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 4.00 per struttura edificatoria o definito secondo criteri proporzionali al tipo d'intervento. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - Prospezioni sismiche finalizzate alla definizione del parametro Vs30.

d - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

L'esecuzione di sondaggi a carotaggio rimane comunque caldamente consigliata.

CASO B: Opere di edilizia pubblica

Edifici di altezza superiore ai 10 metri e/o sottoposti a carichi dinamici

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose prelievo di campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimo di prove è pari a 4-8 per singola infrastruttura in progetto e/o valutato secondo criteri cautelativi proporzionali all'entità dell'opera prevista. Nel caso di disomogeneità dei caratteri del sottosuolo il numero minimo previsto potrà essere proporzionalmente incrementato sulla base delle esigenze sito specifiche emerse.

c - Esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo spinti ad una profondità di 15-20 m da p.c., completati da prove S.P.T. a fondo foro eseguite ad intervalli di avanzamento variabili da 1.00 a 1.50 m. Prelievo di campioni rimaneggiati

(nel caso di terreni incoerenti) o indisturbati classe Q5 nel caso di livelli coesivi. Il numero minimale di sondaggi da eseguire dovrà essere valutato secondo criteri cautelativi proporzionali all'entità dell'opera prevista.

d - Prospezioni sismiche finalizzate alla definizione del parametro Vs30.

e - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO C: Piani di Lottizzazione

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. per la verifica delle litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose si dovranno prelevare campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 10 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 6-8 per superficie unitaria pari a 10.000 mq e/o valutato secondo criteri cautelativi proporzionali all'entità dell'intervento urbanistico previsto. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - in alternativa le prove penetrometriche potranno essere sostituite per il 50% da sondaggi a carotaggio continuo come specificato nel paragrafo precedente

d - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO D: Settori territoriali posti in prossimità del limite morfologico del sistema terrazzato sommitale (orlo terrazzato del sistema terrazzato sommitale - L.F.P. Auct.)

Si tratta dei settori sviluppati sul L.F.P. Auct, per una fascia di estensione stimata di 60 m lineari circa, in prossimità dell'orlo di terrazzo principale (limite morfologico della serie terrazzata sommitale).

In quest'ambito gli interventi progettuali dovranno essere corredati da indagini come esplicitato nel **Caso B** ponendo particolare attenzione all'interazione progetto/struttura morfologica procedendo alla conseguente verifica delle condizioni di stabilità del versante. Inoltre dovranno essere attentamente valutate le condizioni sismiche sito specifiche emerse dallo studio della P.S.L. condotto.

Per tali settori viene sconsigliata la realizzazione di edifici ad elevato sviluppo verticale.

Per tutti i casi sopra menzionati andranno preliminarmente valutate le condizioni di stabilità del fronte di scavo per eventuali interventi di riprofilatura dei pendii e per apertura di scavi con altezze del fronte superiori a 1,50 metri.

CLASSE 2: FATTIBILITÀ GEOLOGICA CON MODESTE LIMITAZIONI

Comprende quelle aree caratterizzate da una strutturazione geologica favorevole alla realizzazione ed allo sviluppo del tessuto urbanistico, ma secondo precisi criteri progettuali finalizzati alla identificazione, caso per caso, delle condizioni specifiche di esercizio e della tipologia delle strutture fondazionali delle future opere. La definizione della presente classe di fattibilità, è stata condotta sulla base sia delle condizioni litologiche/geotecniche che idrogeologiche: infatti la riduzione della profondità di soggiacenza del primo complesso acquifero e la conseguente necessaria definizione preliminare delle condizioni idrogeologiche al contorno diviene di fatto uno degli elementi di valutazione di primario interesse ai fini progettuali; in tale classe si delineano inoltre condizioni generali di maggiore vulnerabilità a carico del primo complesso acquifero.

DEFINIZIONE: depositi di origine fluvioglaciale appartenenti al Complesso dell'Oglio (*Unità di Palosco*) costituenti il Livello Fondamentale della Pianura (L.F.P.). Depositi granulari prevalenti contraddistinti da soggiacenza plurimetrica del primo complesso acquifero inferiore o pari a 5 m dal piano campagna.

Morfologia: aree stabili, pianeggianti, altimetricamente rilevate rispetto ai settori interessati da attività erosivo-deposizionali fluviali antiche ed attuali del fiume Oglio. Assenza di problematiche idraulico-esondative legate al fiume Oglio.

Litologia: la struttura litostratigrafica presunta per il primo sottosuolo è del tutto assimilabile a quella definita per la classe di fattibilità 01:

0,00 - 0,20 m	<i>Terreno di coltivo costituito da limi brunastri più o meno sabbiosi</i>
0,20 - 0,70 m	<i>Depositi di alterazione costituiti da limi più o meno sabbiosi localmente associati a frazioni ghiaiose in genere disperse nella matrice</i>
0,70 - 3,50 m	<i>Ghiaia di varia pezzatura, presumibilmente medio-grossolana associata a subordinati depositi sabbiosi in genere ben lavati</i>
3,50 - 8.50 m	<i>Ghiaia di varia pezzatura associata ad abbondante matrice sabbiosa più o meno limosa limosa</i>
8.50 - 15.0 m	<i>Ghiaia medio grossolana prevalente con sabbia; abbondanti ciottoli.</i>

Idrologia di superficie: assenza di strutture idrografiche limitanti ai fini programmatici ad esclusione delle eventuali aree di rispetto previste per il reticolo idrografico principale e minore. Fenomeni di stagnazione idrica superficiale scarsi o nulli.

Idrogeologia: assenza di strutture idrogeologiche peculiari quali fontanili o zone di risorgive attive; soggiacenza della *falda acquifera a profondità pari o inferiore a 5 m circa dal piano campagna.*

Geotecnica: struttura geotecnica generale ipotizzata:

- a - litozona superiore: spinta sino a circa 3.50 m da p.c. caratterizzata da buon grado di addensamento
- b - litozona inferiore: spinta sino a 8.50 m da p.c. presenta depositi da sciolti a mediamente addensati
- c - litozona basale spinta sino a 15 m circa da p.c. da addensata a molto addensata

L'elemento valutativo limitante ai fini progettuali è costituito dai possibili moderati caratteri di addensamento della litozona b e dalla profondità di soggiacenza del primo complesso acquifero. Lo sviluppo di tale classe si sviluppa sul L.F.P. in prossimità del limite amministrativo meridionale del territorio di Pumenengo.

PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ 2

Le problematiche di primaria importanza per questa classe riguardano essenzialmente gli aspetti di ordine geotecnico ovvero la possibile presenza di depositi contraddistinti da caratteri di addensamento non pienamente soddisfacenti ai fini progettuali. Dovrà inoltre essere valutata la profondità del primo complesso acquifero onde ovviare problematiche di interferenza idrogeologica. Ogni intervento edilizio e/o progetto che preveda variazione di destinazione d'uso del territorio dovrà essere attentamente valutato e subordinato alla definizione delle problematiche sito-specifiche con la finalità di ottimizzare gli interventi medesimi e di non alterare l'assetto idraulico e naturalistico-ambientale del territorio.

Indagini Pre-Progettuali

CASO A: Opere di edilizia pubblica, edifici di importanza strategica, edifici ad elevato grado di frequentazione (edifici sensibili - I^a categoria)

a - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standard spinte ad una profondità non inferiore a 15 - 20 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimo di prove è pari a 5-8 per singola infrastruttura in progetto e/o secondo criteri cautelativi proporzionali all'entità dell'opera prevista. Nel caso di disomogeneità dei caratteri del sottosuolo il numero minimo previsto potrà essere proporzionalmente incrementato sulla base delle esigenze sito specifiche emerse.

b - caratterizzazione geognostica del sottosuolo tramite sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità significative ai fini progettuali e completati da prove S.P.T. in foro con intervalli di steps variabili da 1.0 a 2.0 m circa. Prelievo di campioni rimaneggiati (nel caso di orizzonti incoerenti) o indisturbati classe Q5 (nel caso di orizzonti coesivi). Numero minimo di sondaggi pari a 1/2 e/o proporzionati all'entità ed all'importanza strategica dell'opera prevista.

c - analisi di laboratorio geotecnico di identificazione: analisi granulometriche, prove di plasticità di Atterberg, peso di volume dei terreni allo stato naturale, peso specifico dei granuli, prove di resistenza al taglio (angolo di attrito e coesione) e classificazione geotecnica terre secondo la norma CNR-UNI 10006.

d - le indagini idrogeologiche finalizzate alla definizione delle condizioni idrauliche e di soggiacenza dei corpi idrici presenti e la loro interfaccia/interferenza con le opere progettuali (definizione livelli statici della tavola d'acqua, variazioni stagionali dei medesimi, stima della massima escursione stagionale prevedibile ecc...) mediante eventuali stazioni piezometriche di monitoraggio.

e - caratterizzazione sismica sito specifica mediante definizione delle velocità medie delle onde S nei primi 30 m di profondità (parametro Vs30), definizione della categorizzazione sismica dei suoli e definizione dello spettro di risposta sismica.

f - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO B: Opere di edilizia privata

Edifici sino a due piani fuoriterra

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose e/o coesive si potranno prelevare campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 4-6

per ciascuna struttura edificatoria. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato e associato ad eventuali indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo).

c - Prospezioni sismiche finalizzate alla definizione del parametro Vs30.

d - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

L'esecuzione di sondaggi a carotaggio rimane comunque caldamente consigliata.

Edifici con oltre due piani fuori terra ed edifici produttivi

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente incoerenti: prelievo di campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 5-8 per struttura edificatoria. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo come specificato in precedenza per il Caso A.

d - Prospezioni sismiche finalizzate alla definizione del parametro Vs30.

e - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO C: Piani di Lottizzazione

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. per la verifica delle litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose si dovranno prelevare campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare viene indicato pari a 6-10 per superficie unitaria pari a 5.000 mq. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - in parziale sostituzione alle prove penetrometriche potranno essere realizzati sondaggi a carotaggio continuo spinti ad una profondità significativa ai fini progettuali e completi di prove S.P.T. in foro eseguiti ad intervalli di avanzamento variabili da 1.00 a 2.00 m. Prelievo di campioni rimaneggiati (nel caso di orizzonti incoerenti) o indisturbati classe Q5 nel caso di livelli coesivi.

d - caratterizzazione sismica sito specifica mediante definizione delle velocità medie delle onde S nei primi 30 m di profondità (parametro Vs30), definizione della categorizzazione sismica dei suoli e definizione dello spettro di risposta sismica.

e - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

Per tutti i casi sopra menzionati andranno preliminarmente valutate le condizioni di stabilità del fronte per eventuali interventi di riprofilatura dei pendii (siano essi costituiti da depositi litoidi o sciolti e contraddistinti da angolo al piede con valore prossimo o superiore all'angolo di attrito interno medio dei materiali coinvolti) e per apertura di scavi con altezze del fronte superiori a 1,50 metri.

CLASSE 3: FATTIBILITÀ GEOLOGICA CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

In questa classe rientrano i settori territoriali in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso del territorio in funzione dell'entità e della tipologia del rischio rilevato. La definizione della classe di fattibilità è stata subordinata al riscontro di possibili problematiche connesse sia alla potenziale predisposizione delle aree al dissesto idrogeologico (morfodinamiche evolutive) sia ai caratteri geotecnici ed idrogeologici sito specifici. La definizione della classe di fattibilità è stata condotta sulla base delle specifiche condizioni litologiche, geotecniche, idrogeologiche e di **rischio idraulico** portando alla individuazione di *due differenti sottoclassi*: **Sottoclasse 3a** e **Sottoclasse 3b**.

DEFINIZIONE SOTTOCLASSE 3a: Depositi di origine fluviale appartenenti all'unità Formazionale quaternaria Postglaciale (*Alluvioni antiche e recenti del F. Oglio Auct*). Depositi granulari prevalenti contraddistinti da soggiacenza del primo complesso a piccola profondità (tavola d'acqua rilevabile a 3,00 – 4,50 m circa di profondità dal piano campagna attuale). *Rischio idraulico* (da esondazione) *da moderato a basso*.

Morfologia: aree appartenenti alla valle del Fiume Oglio altimetricamente intermedie tra la superficie della serie terrazzata sommitale (L.F.P.) e la restante parte (maggiormente depressa) della valle fluviale dell'Oglio. Tali aree risultano in genere ben delineate da scarpate morfologiche plurimetriche di altezza compresa tra 3 e 4 m circa.

Litologia: la struttura litostratigrafica presunta per il primo sottosuolo è schematizzabile come segue:

0,00 - 0,20 m	<i>Terreno di alterazione superficiale (vegeto-coltivo) poco sviluppati a notevole componente sabbiosa</i>
0,20 - 0,80 m	<i>terreni di alterazione costituiti da sabbie limose solo localmente passanti a limi sabbiosi (coltre di alterazione) associate a subordinate frazioni ghiaiose.</i>
0,80 - 6.0 m	<i>sabbie da pulite a limose associate ad abbondante ghiaia di varia pezzatura in prevalenza media e grossolana.</i>

Possibile presenza di eterogeneità litologiche a livello locale date da variazioni nello spessore delle coltri di alterazione e dalla comparsa di intercalazioni coesive/pseudocoerenti nei diversi orizzonti sopra descritti.

Idrologia di superficie: assenza di strutture idrografiche limitanti ai fini programmatici ad esclusione delle eventuali aree di rispetto previste per il reticolo idrografico principale e minore. Fenomeni di stagnazione idrica assenti a causa dell'elevata permeabilità dei depositi superficiali.

Idrogeologia: assenza di strutture idrogeologiche peculiari quali fontanili o zone di risorgive attive; profondità di soggiacenza del primo complesso acquifero compresa nel range 0,50 – 1,50 m circa da piano campagna.

Rischio idraulico (da esondazione) ***da moderato a basso***.

Geotecnica: presumibili terreni di tipo incoerente prevalenti, con presumibili caratteri di addensamento inferiori rispetto alle classi di fattibilità precedenti.

DEFINIZIONE SOTTOCLASSE 3b: Depositi di origine fluviale appartenenti all'unità Formazionale quaternaria Postglaciale. Depositi granulari prevalenti contraddistinti da soggiacenza del primo complesso acquifero prossima al piano campagna (1,0 – 2,0 m circa di profondità). *Rischio idraulico (da esondazione) da medio a medio-elevato.*

Morfologia: aree appartenenti alla valle fluviale dell'Oglio, altimetricamente depresse rispetto alla superficie terrazzata della sottoclasse 3b; appaiono in parte delineate da terrazzamenti minori contraddistinti da modesti dislivelli.

Litologia: la struttura stratigrafica *presunta* per il primo sottosuolo è schematizzabile come segue:

0,00 - 0,20 m	<i>Terreno di vegeto-coltivoda mediamente sviluppato a notevole componente sabbiosa</i>
0,20 - 0,50 m	<i>sabbie limose solo localmente passanti a limi sabbiosi (coltre di alterazione). Sovente tale orizzonte può risultare poco distinguibile e/o mancante</i>
0,50 – 6.0 m	<i>sabbie da pulite a limose localmente associati a ghiaia di varia pezzatura in prevalenza media e grossolana</i>

Anche in quest'ambito si possono rilevare notevoli eterogeneità litologiche a livello locale date da variazioni dello spessore delle coltri di alterazione e dalla comparsa di intercalazioni pseudocoerenti/granulari nei diversi orizzonti sopra descritti.

Idrologia di superficie: assenza di strutture idrografiche limitanti ai fini programmatici ad esclusione delle eventuali aree di rispetto previste per il reticolo idrografico principale e minore. Possibili locali Fenomeni di stagnazione idrica alla superficie.

Idrogeologia: assenza di strutture idrogeologiche peculiari quali fontanili o zone di risorgive; profondità di soggiacenza del primo complesso acquifero compresa nel range 0,50 – 1,50 m circa da piano campagna.

Rischio idraulico da esondazione da medio a medio elevato

Geotecnica: presumibili terreni di tipo incoerente prevalenti, con caratteri di addensamento da contenuto ad assai contenuto ad elevato grado d'imbibizione (saturo).

PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ 3

Le tematiche di primaria importanza riguardano gli aspetti *geologico-tecnici*, *idrogeologici* ed *idraulici* per i quali dovrà essere posta particolare attenzione alla definizione delle problematiche sito specifiche ed alla mitigazione e/o risoluzione delle medesime mediante progettazioni oculate. Dovranno essere previste ed attuate *indagini geologico-tecniche* puntuali finalizzate alla definizione e quantificazione dei rischi progettuali intrinseci relativi alle singole opere. Le problematiche di ordine geotecnico risultano connesse al presumibile modesto grado di addensamento dei terreni ed alla presumibile eterogeneità litologica, tessiturale e geometrica dei medesimi.

Tutti gli interventi che prevedono variazione di destinazione d'uso del suolo (ristrutturazioni di edifici in essere, nuove edificazioni) dovranno essere adeguatamente supportati da *indagini idrauliche ed idrogeologiche mirate*, e redatti secondo criteri chiaramente cautelativi; si sottolinea come le progettazioni dovranno tenere in debita considerazione la *problematica idraulica* ivi esistente (rischio da esondazione) ai fini di attuare interventi edificatori secondo criteri di massima sicurezza ovvero verificati in condizioni idrauliche di massimo sfavore.

Indagini Pre-Progettuali

CASO A: Opere di edilizia pubblica, edifici di importanza strategica, edifici ad elevato grado di frequentazione (edifici sensibili - I^a categoria)

a - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standard spinte ad una profondità non inferiore a 15 - 20 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimo indicativo di prove è pari a 8-10 per singola infrastruttura in progetto e/o concepito in modo proporzionale all'entità dell'opera prevista. Nel caso di disomogeneità dei caratteri del sottosuolo il numero minimo previsto potrà essere proporzionalmente incrementato sulla base delle esigenze sito specifiche emerse.

b - caratterizzazione geognostica del sottosuolo tramite sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità significative ai fini progettuali e completati da prove S.P.T. in foro con intervalli di steps variabili da 1.00 a 1.50 m circa. Prelievo di campioni rimaneggiati (nel caso di livelli sabbiosi) o indisturbati classe Q5 nel caso di livelli coesivi. Il numero minimo di sondaggi dovrà essere proporzionato all'entità ed all'importanza strategica dell'opera prevista.

c - analisi di laboratorio geotecnico di identificazione: analisi granulometriche, prove di plasticità di Atterberg, peso di volume dei terreni allo stato naturale, peso specifico dei granuli, prove di resistenza al taglio (angolo di attrito e coesione) e classificazione geotecnica terre secondo la norma CNR-UNI 10006.

d - indagini idrogeologiche finalizzate alla chiara identificazione delle condizioni e di soggiacenza dei corpi idrici presenti e la loro interfaccia/interferenza con le opere progettuali (definizione livelli statici della tavola d'acqua, variazioni stagionali dei medesimi, stima della massima escursione stagionale prevedibile ecc...); realizzazione di eventuali stazioni piezometriche di monitoraggio.

e - caratterizzazione sismica sito specifica mediante definizione delle velocità medie delle onde S nei primi 30 m di profondità (parametro Vs30), definizione della categorizzazione sismica dei suoli e definizione dello spettro di risposta sismica in base a quanto previsto dalla normativa in ottemperanza delle N.T.C. 14/01/2008.

f - analisi preliminare accurata delle **condizioni idrauliche sito specifiche** mediante redazione di apposito studio di compatibilità ambientale che definisca in modo univoco, in fase pre-progettuale, il grado di rischio idraulico ed i necessari interventi di mitigazione e/o abbattimento del rischio.

g - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

CASO B: Opere di edilizia privata (residenziale e produttiva)

a - esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità di 3-4 m da p.c. onde verificare le litologie esistenti a livello locale; nel caso di litologie prettamente sabbiose prelievo di campioni rimaneggiati da destinare ad analisi di laboratorio al fine della determinazione del fuso granulometrico.

b - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare dovrà essere valutato in base all'entità della struttura edificatoria in progetto. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di prove dovrà essere proporzionalmente incrementato.

c - realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo come specificato per il Caso A.

d – identificazione delle *condizioni idrogeologiche e di soggiacenza dei corpi idrici* presenti e la loro possibile interferenza con le opere progettuali (definizione livelli statici della tavola d'acqua, variazioni stagionali dei medesimi, stima della massima escursione stagionale prevedibile ecc...) e realizzazione di eventuali stazioni piezometriche di monitoraggio.

e – analisi preliminare accurata delle *condizioni idrauliche sito specifiche* mediante redazione di apposito studio di compatibilità ambientale che definisca in modo univoco, in fase pre-progettuale, il grado di rischio idraulico e gli interventi di mitigazione e/o abbattimento del rischio necessari.

f - stesura di relazione geologica e geotecnica (conformi alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atte a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni previste.

Anche nel caso di interventi e/o **edificazioni di piccola volumetria** e, in ogni caso per *interventi di ristrutturazione e mantenimento funzionale* di edifici in essere che prevedano modificazioni dei carichi strutturali, dovranno essere previste adeguate indagini geologico-tecniche di approfondimento, finalizzate all'individuazione di eventuali problematiche sito specifiche. Si dovrà predisporre un programma di indagini mirate contenente perlomeno gli elementi di base previsti dalla normativa in vigore (D.M. 14/01/2008):

CLASSE 4: fattibilità geologica con gravi limitazioni

Tale classe accorpa quei settori in cui sono state riconosciute gravi limitazioni alla modifica della destinazione d'uso del territorio, tali da determinare, in virtù delle potenzialità di rischio individuate, l'esclusione di qualsivoglia nuovo intervento edificatorio (settori di inedificabilità assoluta), fatta eccezione per gli interventi di regimazione idraulica finalizzati alla realizzazione di sistemazioni idrauliche ed idrogeologiche. Per le strutture edificatorie in essere saranno consentiti gli interventi di ristrutturazione, mantenimento funzionale e consolidamento così come definito dall' art 31 lettere a), b), c) della legge 457/1978. Eventuali proposte di declassazione di settori territoriali rientranti in questa classe (sempre che prevista dalla Tabella 01: "classi di ingresso" della D.G.R. n.8/7374 del 28 maggio 2008) dovranno essere corredate da adeguato studio geologico, idrogeologico ed idraulico di supporto, che ne verifichi le condizioni di pericolosità, il grado di rischio sito specifico e garantisca la compatibilità degli interventi nel contesto generale mediante adeguati interventi di mitigazione.

Morfologia: settori direttamente connessi ai corsi d'acqua superficiali appartenenti al reticolo idrico principale (settori territoriali rientranti nelle fasce fluviali A e B definite dal P.A.I.) e al reticolo idrico minore; zone di tutela assoluta dei pozzi ad uso idricopotabile così come definito dalla D.Lgs 152/06; aree periodicamente allagate, settori d'alveo attuale del Fiume Oglio, zone umide e di lanca fluviale.

Litologie: per lo più assimilabili a quelle definite per la classe 3b.

Idrologia di superficie: canalizzazioni e/o bacini idrici naturali a carattere perenne o temporaneo. Fenomeni di ristagno di acque al suolo

Idrogeologia: condizioni di soggiacenza prossime al piano topografico con affioramento a livello locale della falda acquifera; qualsivoglia tipologia di intervento dovrà vertere alla non modificazione dei flussi idrici superficiali e sotterranei, nè al loro abbattimento o alla regimazione forzata di alvei naturali. **Rischio idraulico da esondazione elevato;** in questa classe rientrano i settori territoriali più prossimali e topograficamente raccordabili alle zone d'alveo attuali, zone umide, zone di lanca e settori cartograficamente identificati dal P.A.I. come rientranti nelle fasce di rispetto fluviale A e B..

Geotecnica: presumibili terreni contraddistinti da grado di addensamento assai contenuto a notevole variabilità laterale.

PRESCRIZIONI CLASSE DI FATTIBILITÀ 4

La necessità di preservare l'assetto idraulico, idrogeologico ed ambientale di questi settori territoriali impone il divieto assoluto all'edificabilità, consentendo altresì unicamente interventi di regimazione idraulica e di consolidamento arginale degli alvei costituenti il reticolo idrico oltre che la loro manutenzione ordinaria e straordinaria finalizzata alla rimozione ed eliminazione di materiale di ostacolo al naturale deflusso delle acque in occasione di eventi di piena.

Indagini Pre-Progettuali

Nel caso di *interventi di ristrutturazione e mantenimento funzionale* di edifici in essere che prevedano modificazioni anche minime dei carichi strutturali, dovranno essere previste adeguate indagini geologico-tecniche di approfondimento finalizzate all'individuazione di eventuali problematiche sito specifiche. Si dovrà predisporre un programma di indagini mirate come di seguito specificato:

a - caratterizzazione geotecnica del sottosuolo tramite prove penetrometriche standardizzate sino ad una profondità non inferiore ai 15 m da p.c. oppure a rifiuto. Il numero minimale di prove da realizzare dovrà essere proporzionale all'intervento previsto con numero proporzionale al tipo di intervento; eventualmente integrate da sondaggi a carotaggio continuo. Nel caso di disomogeneità del sottosuolo il numero di indagini in sito potrà essere proporzionalmente incrementato sulla base delle specifiche condizioni rilevate.

b - caratterizzazione geolitologica mediante esecuzione di scavi esplorativi sino ad una profondità indicativa pari ad almeno 3-4 m dal piano campagna.

c - stesura di relazione geotecnica (conforme alle prescrizioni del D.M. 14/01/2008) atta a definire i caratteri di esercizio specifici delle opere di fondazione, la tipologia progettuale ottimale, entità dei cedimenti (stima) in relazione alle sollecitazioni ammissibili previste. Definizione delle condizioni di rischio idrogeologico ed idraulico sito specifiche mediante apposito studio di supporto.

APPENDICE

Relativamente alle limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore (Carta dei Vincoli), si richiamano i seguenti riferimenti:

- vincoli derivanti dall'istituzione delle fasce di rispetto fluviali così come definite dal Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
- vincoli derivanti dall'istituzione della Riserva Naturale "Boschetto della Cascina Campagna"
- vincoli di polizia idraulica, ai sensi della d.g.r. n. 7/7868 del 25/01/2002 e s.m.i., così come definiti nello studio redatto per l'individuazione del Reticolo Idrico Minore
- aree di salvaguardia della captazioni ad uso idropotabile, ai sensi dell'art. 94 del D. L. 152/2006, distinte in "zona di rispetto" (criterio geometrico ai sensi della D.G.R. n. 6/15137: porzione di cerchio di raggio 200 m, con centro nel punto di captazione, estesa a monte dell'opera di presa e delimitata a valle dall'isoipsa passante per la captazione stessa) e "zona di tutela assoluta". Nelle aree ricadenti nell'ambito della "zona di rispetto" delle opere di captazione idropotabile, dovranno essere vietate, in accordo con i disposti dell'art. 94 del D.L. 152/2006, le seguenti attività:

- dispersione di fanghi ed acque reflue, anche se depurati;
- accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
- aree cimiteriali;
- apertura di cave che possano essere in connessione con la falda;
- apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione delle caratteristiche qualitative della risorsa idrica;
- gestione di rifiuti;
- stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- pozzi perdenti;
- pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. Per gli insediamenti o le attività di cui sopra, preesistenti, ove possibile e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, andranno adottate le misure per il loro allontanamento; in ogni caso dovrà essere garantita la loro messa in sicurezza.

La disciplina, all'interno della zona di rispetto, delle seguenti attività:

- fognature;
- edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione;
- opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio;
- distribuzione di concimi chimici e fertilizzanti in agricoltura nei casi in cui esista un piano regionale o provinciale di fertilizzazione;
- le pratiche agronomiche e i contenuti dei piani fertilizzazione precedentemente citati;

dovrà invece essere conformata alle prescrizioni fissate dalla Regione Lombardia con D.G.R. n. VII/12693 del 10/04/2003.

Le "zone di tutela assoluta", sempre ai sensi dell'art. 94 del D.L. 152/2006, dovranno essere adeguatamente protette ed adibite esclusivamente alla captazione ed alle infrastrutture di servizio.

NORMATIVA ANTISISMICA

Per quanto concerne la normativa antisismica, considerando che il Comune di Pumenengo ricade in Zona sismica 2, si specifica quanto segue:

- nelle aree ricadenti negli scenari **PSL Z3 e Z4** eventuali varianti al PGT che comportino l'introduzione di nuove previsioni concernenti edifici strategici e/o rilevanti dovranno essere supportate da adeguata documentazione geologico-tecnica, in variante al presente studio della componente geologica, che contenga quanto previsto dalle vigenti norme in materia di approfondimento sismico di **II livello**.

Si ribadisce pertanto che per qualsivoglia tipologia di edificio strategico e/o rilevante, così come individuati dal D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/2003, sussiste l'obbligo di procedere, in fase pianificatoria, agli approfondimenti di secondo livello;

- nelle aree ricadenti negli scenari **PSL Z2** la definizione di eventuali previsioni concernenti edifici strategici e/o rilevanti in ambiti così identificati nella carta PSL comporterà l'obbligo di attuazione in fase progettuale di approfondimento sismico di III livello.

RISERVA NATURALE "BOSCHETTO DELLA CASCINA CAMPAGNA"

In seguito alla deliberazione del Consiglio Regionale del 20.03.1991 - V/135 , all'interno del territorio comunale di Pumenengo è stata istituita la riserva naturale "**Boschetto della Cascina Campagna**", sita nel settore meridionale in corrispondenza dei territori estesi ai piedi del limite terrazzato del livello fondamentale della pianura. Vengono qui di seguito riportati gli elementi fondamentali della suddetta delibera:

Istituzione: Riserva naturale "Boschetto della Cascina Campagna"

Finalità: - conservazione dell'originario bosco planiziario padano

- controllo della fruizione del territorio ai fini scientifici e didattici

Classificazione: "parziale botanica"

Gestione: Consorzio del parco naturale dell'Oglio Nord, prima del suo insediamento la gestione riguarda l'Amministrazione provinciale di Bergamo

Pianificazione: il piano della riserva naturale, che deve essere preceduto da uno studio relativo alle condizioni ambientali pregresse, attuali e future, deve regolamentare le attività antropiche consentite e contenere eventuali proposte di modifica dei confini per renderli più adeguati alla realizzazione delle finalità per cui la riserva è stata istituita.

Divieti e limitazioni alle attività antropiche:

- realizzazione di edifici
- costruire o modificare strutture preesistenti, ad eccezione di quanto previsto dal piano in funzione delle finalità della riserva
- realizzazione di insediamenti produttivi
- apertura di cave
- impiantare campeggi liberi o organizzati
- attuare movimenti di terra o comunque interventi che modifichino la morfologia del suolo
- costruire recinzioni fisse
- sosta o parcheggio con mezzi motorizzati, ad eccezione di quelli di servizio
- abbandonare rifiuti
- svolgere attività pubblicitaria, folkloristica , sportivo o picnic
- accendere fuochi
- raccogliere o comunque danneggiare la flora
- impiantare o introdurre nuovi elementi floristici o faunistici che alterino l'equilibrio esistente
- esercitare caccia o attività di pascolo
- esercitare attività che comunque danneggino o modifichino l'ambiente

ALLEGATO 01

SCHEDE POZZI PUBBLICI

ALLEGATO 02

SEZIONE IDROGEOLOGICA

ALLEGATO 03

**SCHEDE LITOLOGICHE DI RIFERIMENTO PER
GLI SCENARI PSL Z4**

TAVOLE

Cartografie tematiche territoriali

<u>Tavola 01</u> – CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA	Scala 1:5.000
<u>Tavola 02</u> – CARTA IDROLOGICA, IDROGEOLOGICA ED IDRAULICA	Scala 1:5.000
<u>Tavola 03</u> – CARTA GEOLOGICO-TECNICA	Scala 1:5.000
<u>Tavola 04</u> – CARTA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (P.S.L.)	Scala 1:5.000
<u>Tavola 05</u> – CARTA DEI VINCOLI	Scala 1:5.000
<u>Tavola 06</u> – CARTA DI SINTESI	Scala 1:5.000
<u>Tavola 07</u> - CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA	Scala 1:5.000
<u>Tavola 08</u> - CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA	Scala 1:10.000