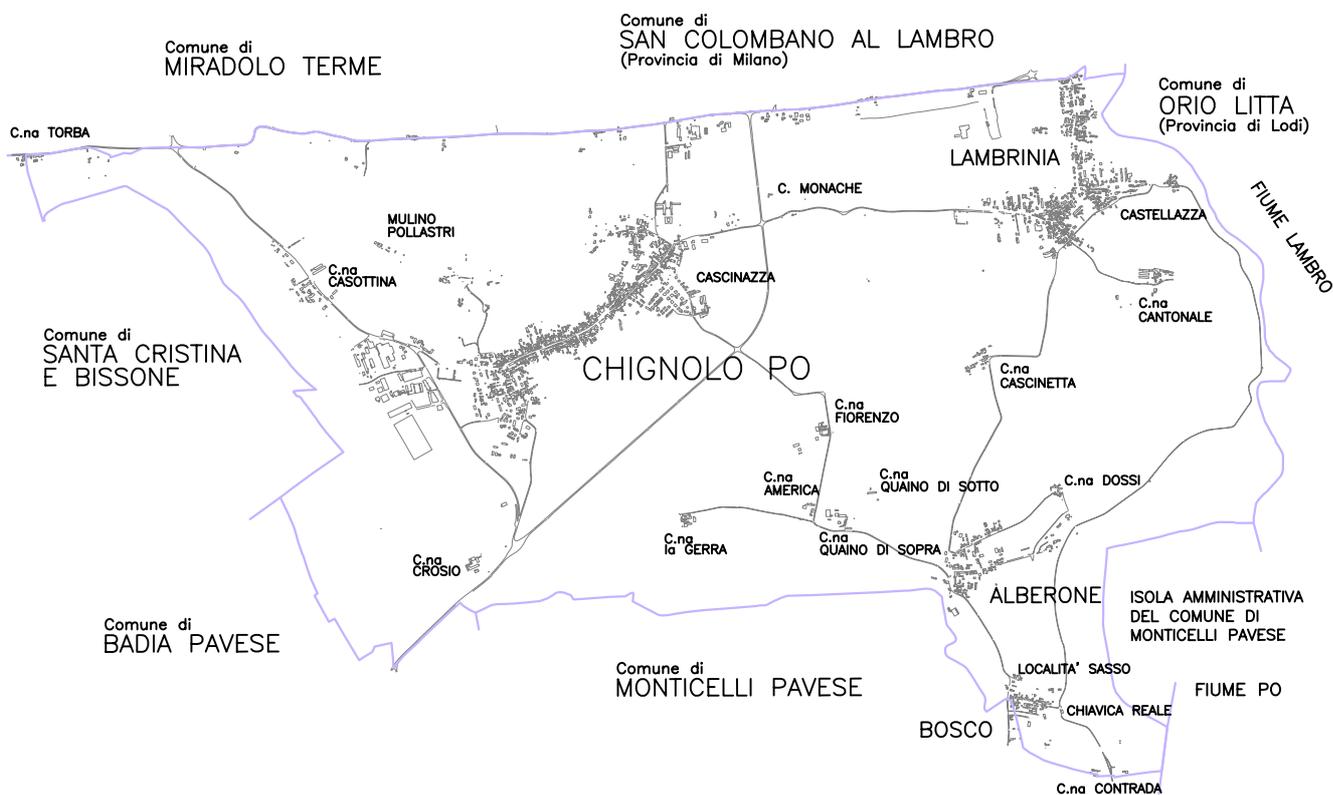




Comune di **CHIGNOLO PO** Provincia di Pavia
PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

**COMPONENTE GEOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA**

L.R. 11 marzo 2005 n°12 - art. 57, lettera a), comma 1; D.G.R. 30 novembre 2011 n°9/2616



RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Sindaco
Ing. ANTONIO BONATI

Il Professionista incaricato
Dott. Geol. DANIELE CALVI

Segretario Comunale
Dott.ssa MARGHERITA VERONESI

Responsabile del procedimento
Dott. Arch. ANGELO GUALANDI

maggio 2013

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	OGGETTO DELLO STUDIO	1
1.2	DOCUMENTAZIONE REALIZZATA	2
1.3	DOCUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
1.4	ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO	5
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E CLIMATICO	8
2.1	CARATTERIZZAZIONE FISIOGRAFICA	8
2.2	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE AFFIORANTI	9
2.3	GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO	10
2.4	ASSETTO GEOLOGICO – STRUTTURALE	11
	2.4.1 Implicazioni neotettoniche legate alla presenza del Colle di San Colombano	12
2.5	GEOMORFOLOGIA	13
	2.5.1 Paleoidrografia – Il Colatore Nerone e il fiume Lambro Meridionale	14
	2.5.2 Il rilievo isolato di Chignolo Po	15
2.6	ASPETTI PEDOLOGICI E DI USO DEL SUOLO	17
2.7	CLIMATOLOGIA	18
3.	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO	20
3.1	IDROGRAFIA SUPERFICIALE	20
3.2	DETERMINAZIONE DEL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE E MINORE	21
3.3	IDROGRAFIA SOTTERRANEA	26
	3.3.1 Assetto idrogeologico generale dell'area	26
	3.3.2 Struttura idrogeologica di dettaglio	26
	3.3.3 Implicazioni idrogeologiche e idrochimiche connesse alla presenza della struttura del Colle di San Colombano	27
3.4	CLASSI DI PERMEABILITÀ	29

4.	ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE SISMICA NEI PIANI DI GOVERNO DEL TERRITORIO	31
4.1	PREMESSA	31
4.1.1	Pericolosità, vulnerabilità e rischio	33
4.2	INFORMAZIONI RELATIVE ALLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO COMUNALE DI CHIGNOLO PO	38
4.2.1	Dati storici	38
4.2.2	Database Macrosismico Italiano 2004 (DBMI04) – Estrazione dei dati	40
4.3	QUADRO NORMATIVO NAZIONALE E REGIONALE	43
4.3.1	Azione sismica – Categoria di sottosuolo	46
4.3.2	Azione sismica – Zone sismiche	47
4.4	METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI SISMICI DI SITO	49
4.5	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE DEL TERRITORIO COMUNALE DI CHIGNOLO PO SECONDO LE INDICAZIONE DELLE D.G.R. 22 DICEMBRE 2005, N°8/1566	51
5.	CARATTERISTICHE GEOLOGICO – APPLICATIVE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO	55
5.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE	55
5.2	CAPACITÀ PROTETTIVA DEI SUOLI NEI CONFRONTI DELLE ACQUE PROFONDE	56
6.	ZONAZIONE DEL TERRITORIO – METODOLOGIA UTILIZZATA	58
6.1	CARATTERISTICHE DI VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI	58
6.2	INDIVIDUAZIONE DELLE AREE OMOGENEE DAL PUNTO DI VISTA DELLA PERICOLOSITÀ / VULNERABILITÀ RIFERITA ALLO SPECIFICO FENOMENO CHE LE GENERA	59
6.3	ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI DI INGRESSO	60

FIGURE IN TESTO

Fig. 1	<i>Inquadramento dell'area nel sistema cartografico regionale</i>	8
Fig. 2	<i>Sequenza litologica della scarpata di scavo posta in corrispondenza dell'Ambito Territoriale Estrattivo ATg56 / g57-t57 del P.C.P.</i>	10
Fig. 3	<i>Il rilievo isolato di Chignolo Po</i>	15
Fig. 4	<i>Implicazioni paleo-idrografiche connesse alla presenza della struttura del Colle di San Colombano al Lambro sul percorso del fiume Lambro Meridionale</i>	16
Fig. 5	<i>Diagramma di Bagnols e Gausсен. Andamento mensile delle temperature e delle precipitazioni per la stazione di Pavia, da ERSAL, 1996 - I SUOLI DEL PARCO DEL TICINO SETTORE MERIDIONALE -</i>	19
Fig. 6	<i>Tabella comparativa Grado Richter – Grado M.C.S.</i>	32
Fig. 7	<i>Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV, aprile 2004)</i>	34
Fig. 8	<i>Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. - Dettaglio per la Regione Lombardia (INGV, aprile 2004)</i>	35
Fig. 9	<i>Massime intensità Macrosismiche osservate in Italia (Fonte I.N.G.V.)</i>	39
Fig. 10	<i>Massime intensità macrosismiche registrate in Lombardia (fonte INGV)</i>	40
Fig. 11	<i>Elenco dei terremoti in cui risulta citata la località di Chignolo Po (PV)</i>	40
Fig. 12	<i>Zonazione sismogenetica ZS9 (da Rapporto conclusivo del Gruppo di lavoro per la redazione della Mappa di pericolosità sismica – INGV, aprile 2004)</i>	42

TABELLE IN TESTO

TAB.1	<i>Reticolo idrico minore di competenza del Comune di Chignolo Po</i>	23
TAB.2	<i>Scheda tecnica reticolo idrico minore di competenza del Comune di Chignolo Po</i>	24
TAB.3	<i>Osservazioni sismiche a Pavia</i>	41
TAB.4	<i>Classificazione del territorio regionale a seguito dell'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03</i>	44
TAB.5A	<i>Provincia di Pavia - Raffronto tra il precedente quadro normativo e l'attuale</i>	45
TAB.5B	<i>Comuni della Provincia di Pavia ricadenti in zona 2 e zona 3 a seguito dell'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03</i>	45
TAB.6	<i>Livello di approfondimento dello studio in relazione alla zona sismica di appartenenza</i>	50
TAB.7	<i>Comune di Chignolo Po - Scenari di pericolosità sismica locale ed effetti sismici locali attesi</i>	52
TAB.8	<i>Comune di Chignolo Po - Classi di pericolosità sismica per ogni scenario di pericolosità sismica locale</i>	53
TAB.9	<i>Classi di ingresso dei poligoni individuati nella carta di sintesi</i>	61

ALLEGATI

BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

1. INTRODUZIONE

1.1 OGGETTO DELLO STUDIO

Lo studio in oggetto si propone di fornire al Comune di Chignolo Po (PV), una conoscenza aggiornata e completa del proprio territorio dal punto di vista geologico - geotecnico e della vocazione d'uso, basata sull'analisi dettagliata e sulla valutazione incrociata dei fattori ambientali, territoriali ed antropici che lo contraddistinguono, al fine di una tutela ambientale preventiva nei riguardi del rischio idrogeologico e idraulico.

Il presente lavoro, redatto congiuntamente al Piano di governo del Territorio (PgT) del Comune di Chignolo Po, è stato predisposto secondo due livelli conoscitivi e diagnostici: uno generale di inquadramento, riguardante l'intera superficie territoriale ed un suo significativo intorno (Tavole 1-2-3 - scala 1:10.000), ed uno di dettaglio, limitatamente al territorio comunale (23,12 Km² - riferimento Tavole 4-5-6-7-8 - scala 1:5.000), interessato in tutta la sua estensione dalla copertura aerofotogrammetrica (Esecuzione: S.CA.DI. s.n.c. - Milano 2012).

In particolare, lo studio di dettaglio ha interessato le seguenti località:

- Chignolo Po (capoluogo comunale)
- Lambrinia
- Alberone
- Bosco

oltre che i numerosi cascinali uniformemente distribuiti su tutto il territorio, a testimonianza della spiccata vocazione agricola di questi luoghi:

C.na Casottina	C.na Quaino di Sotto
Molino Pollastri	C.na Quaino di Sopra
C.na Zanardi	C.na San Germano
C.na Crosio	Località Castellazzo
Molino Cavalloni	C.na Cantonale
C.na Oca	C.na Cascinetta
C.na Monache	C.na Dossi
C.na Redenta	Località Madonnina
C.na Gerra	C.na Sasso
C.na America	Cà di Rat
C.na Fiorenzo	C.na Contrada

1.2 DOCUMENTAZIONE REALIZZATA

La valutazione delle componenti fisiche che hanno interagito o interagiscono con il territorio e che lo caratterizzano (elementi geologici, geomorfologici, idrogeologici e geotecnici), ha permesso di giungere alla stesura di 8 elaborati cartografici di riferimento, concepiti per essere letti in funzione della pianificazione urbanistica e dell'edificabilità del territorio, allestiti sia alla scala 1:10.000 (Tavole n°1-2-3), che alla scala 1:5.000 (Tavole n°4-5-6-7-8).

Tutti gli elaborati grafici vengono realizzati su supporto informatico. In particolare, tutte le tavole vengono realizzate in formato numerico File *AutoCAD drawing* (.dwg); inoltre la Tavola n°4 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI" e la Tavola n°8 "CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO ESTESA ALL'INTERO TERRITORIO COMUNALE", vengono fornite su supporto informatico in formato shapefile ArcView (.shp), per l'aggiornamento del Sistema Informativo Territoriale, ai sensi dell'art. 3 della L.R. 12/05.

Documentazione di analisi – carte di inquadramento generale

	SCALA
1. CARTA GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICA	1:10.000
2. CARTA PEDOLOGICA	1:10.000
3. CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO	1:10.000

Documentazione di analisi – carta di inquadramento di dettaglio

4. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI	1:5.000
5. CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO	1:5.000

Documentazione di sintesi

6. CARTA DEI VINCOLI ESISTENTI	1:5.000
7. CARTA DI SINTESI	1:5.000
8. CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO ESTESA ALL'INTERO TERRITORIO COMUNALE	1:5.000

La tavola n°8, in particolare, riporta la zonazione del territorio del Comune di Chignolo Po in classi e sottoclassi di fattibilità geologica a diversa limitazione (numerate da 2A a 4C in ordine crescente di limitazioni e condizionamenti, secondo quanto stabilito dalla D.G.R. 22 dicembre 2005, n°8/1566 e suoi aggiornamenti - D.G.R. 28 maggio 2008, n°8/7374; D.G.R. 30 novembre 2011, n°9/2616 -, con riferimento alla *Norme geologiche di Piano*) consentendo, in ultima analisi, di trarre delle indicazioni generali relativamente alle cautele da adottare per gli interventi di Piano e alla tipologia

degli studi geologici e delle indagini da effettuare per gli approfondimenti del caso, finalizzati alla riduzione del rischio idrogeologico e idraulico.

Fanno infine parte integrante del presente lavoro le seguenti relazioni:

Relazioni tecniche

- a) RELAZIONE ILLUSTRATIVA
- b) NORME GEOLOGICHE DI PIANO
- c) RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE – STRATIGRAFIE POZZI PER ACQUA
- d) RELAZIONE SULLE INDAGINI SISMICHE

In particolare, la "RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE - STRATIGRAFIE POZZI PER ACQUA" contiene la documentazione recuperata presso l'Ufficio Tecnico del Comune, presso Enti Pubblici e studi professionali privati relativa ad indagini a diverse finalità (studi geologico - tecnici e idrogeologici) condotte nell'ambito del territorio comunale di Chignolo Po, utili alla caratterizzazione dell'area di studio.

I dati relativi alle opere di captazione ad uso pubblico censite nel corso del presente studio e di cui sia nota la stratigrafia, vengono allegare alla relazione medesima e trasmesse su supporto informatico in formato .pdf.

Per quanto riguarda infine la valutazione dell'amplificazione sismica locale, la metodologia utilizzata è quella prevista dalla D.G.R. n°8.1566.2005 del 22.12.2005 e s.m.e.i. (1° livello di approfondimento), con riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche, sia attraverso l'utilizzo di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, ha previsto la redazione della CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL), nella quale è stata riportata la classificazione e la perimetrazione delle aree suscettibili di amplificazione sismica (aree a Pericolosità Sismica Locale).

Per quanto riguarda il Comune di Chignolo Po (zona sismica 4), si è inoltre proceduto alla classificazione della categoria di sottosuolo secondo la normativa sismica ed al calcolo del parametro V_{s30} in n°2 siti significativi (rifer. Tavola 4 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI"), contraddistinti dalla presenza di costruzioni strategiche e/o rilevanti, come definite ai sensi della D.G.R. n°14964/2003 e con riferimento al d.d.u.o. n°19904/2003.

Le indagini, redatte conformemente ai contenuti dell'O.P.C.M. n°3274/2003 e al D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", sono state costituite da n°2 profili sismici con modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (utilizzo della metodologia MASW), con strumentazione e stendimento da sismica a rifrazione e l'impiego di geofoni verticali con frequenza propria 4,5 Hz, con interdistanza geofonica pari a 2 metri ed uso di sismografo multicanale di 24 canali. Le risultanze di dette indagini costituiscono parte integrante della "RELAZIONE SULLE INDAGINI SISMICHE".

1.3 DOCUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per lo studio fotogeologico, i rilievi diretti condotti in sito e la stesura degli elaborati scritto - grafici ci si è avvalsi della seguente documentazione di base:

— C.T.R. Regione Lombardia 1994 scala 1:10.000:

Sezioni

- B7e4 "San Colombano al Lambro"
- B7e5 "Pieve Porto Morone"
- C7a4 "Livraga"
- C7a5 "Monticelli Pavese"

— Cartografia I.G.M. scala 1:25.000

Sezioni

- Foglio 59 quadrante II Tavola NE "Corteolona"
- Foglio 60 quadrante III Tavola NO "Chignolo Po"

— Cartografia scala 1:5.000 e 1:2.000 del territorio comunale di Chignolo Po da fotorestituzione

— fotografie aeree a colori alla scala 1:20.000 - volo del 28-06-1980

— fotografie aeree B/N alla scala 1:33.000 - volo 1991 I.G.M.

— fotografie aeree in B/N alla scala \cong 1:25.000 relative al volo 1994: strisciata 28 - fotografie da 0513 a 0521; strisciata 29B - fotografie da 0367 a 0373.

Nella fase di analisi si è inoltre utilizzata la seguente documentazione (con riferimento ai disposti di cui all'Allegato 1 della D.G.R. 22 dicembre 2005, n°8/1566 e suoi aggiornamenti - D.G.R. 28 maggio 2008, n°8/7374; D.G.R. 30 novembre 2011, n°9/2616 -):

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO

"PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)" - TAVOLE DI DELIMITAZIONE DALLE FASCE FLUVIALI

- FOGLIO 161 - CASALPUSTERLENGO - PO23 SCALA 1:50.000
- FOGLIO 161 SEZ. I - CASALPUSTERLENGO PO27 - LAMBRO 01 SCALA 1:25.000
- FOGLIO 161 SEZ. IV - SAN COLOMBANO AL LAMBRO PO29 - LAMBRO 02 SCALA 1:25.000
- TAVOLA 161020 - LAMBRO 02 - I SCALA 1:10.000
- TAVOLA 161030 - LAMBRO 01 - IV SCALA 1:10.000
- TAVOLA 161070 - LAMBRO 01 - III SCALA 1:10.000

REGIONE LOMBARDIA

- GeoPortale
<http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>
⇒ Basi tematiche ⇒ Geologia e difesa del suolo
Studi Geologici - Servizio di Mappa (ArcIMS) - PAI Dissesti
Studi Geologici - Servizio di Mappa (ArcIMS) - PAI Fasce Fluviali
Applicativo Studi Geologici Comunali
- Base dati geografica: GEOIFFI
PROGETTO IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Lombardia
Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia
<http://www.cartografia.regione.lombardia.it/GeoIFFI>

PROVINCIA DI PAVIA

- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale - Provincia di Pavia - (P.T.C.P., Approvato con deliberazione di Consiglio Provinciale n°53/33382 del 7 novembre 2003).
Tavola 3.2b *Previsioni di tutela e valorizzazione delle risorse paesistiche e ambientali*
Tavola 3.3b *Quadro sinottico delle Invarianti*
- Piano Cave della Provincia di Pavia approvato dal Consiglio Regionale – Regione Lombardia - in data 20/02/2007 con D.C.R. n°VIII/344.
- Provincia di Pavia - Settore Cave – Individuazione di possibili geositi nel territorio della Provincia di Pavia (2003)
- Provincia di Pavia - Settore Cave - "I Geositi della Provincia di Pavia" - L. Pellegrini - P.L. Vercesi, dicembre 2005

COMUNE DI CHIGNOLO PO

STUDIO GEOLOGICO - TECNICO TERRITORIALE - L.R. n°41/97 - Dott. Geol. Daniele Calvi (aprile 2004)

1.4 ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

Lo studio geologico - tecnico territoriale si è articolato nelle seguenti fasi:

- raccolta e interpretazione dei dati e dei documenti disponibili in letteratura nonché reperiti presso enti pubblici e studi professionali privati, relativi a studi precedenti a diverse finalità (studi geologici, geotecnici e idrogeologici) condotti nell'ambito del territorio comunale di Chignolo Po ed utili alla caratterizzazione dell'area di studio.

La ricerca ha coinvolto, in diversa misura, i seguenti Enti:

- Ufficio Tecnico Comunale di Chignolo Po
 - Regione Lombardia – Struttura Territoriale Regionale (STER) di Pavia
 - Amministrazione Provinciale di Pavia Assessorato al Territorio - Servizio Geologico e Settore Tutela e Valorizzazione Ambientale – Settore acqua
 - Università degli Studi di Pavia - Dipartimento di Scienze della Terra
 - C.A.P. Gestione S.p.A. - Milano
 - ACAOP S.p.A. - Stradella
- analisi fotointerpretativa
 - analisi areale di tutto il territorio comunale di Chignolo Po e di un suo significativo intorno che ha previsto, accanto ai rilievi geologici di tipo tradizionale, una preliminare caratterizzazione geotecnica dei terreni di copertura, sia attraverso la raccolta e la successiva elaborazione dei dati esistenti, sia attraverso l'esame di alcune scarpate naturali (terrazzi fluviali) e artificiali (scarpate di scavo di cave attive e cessate). Per quanto il lavoro di rilevamento sia stato condizionato dalla scarsità degli affioramenti, i rilievi hanno comunque consentito l'individuazione degli elementi che possono influire sull'idoneità delle aree stesse in funzione urbanistica
 - analisi idrogeologica, eseguita sia attraverso il censimento dei pozzi per acqua (rifer. Tavola 3 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO" e Tavole 5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO"), sia attraverso la rielaborazione dei dati idrogeologici relativi ai pozzi ad uso potabile presenti all'interno del territorio comunale di Chignolo Po, con definizione delle modalità di circolazione delle acque nel primo sottosuolo e individuazione delle aree di potenziale vulnerabilità idrogeologica
 - elaborazione dei dati climatici (piovosità, temperatura)
 - mappatura del reticolo idrografico principale e minore (rifer. Tavole n°5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO"). Questa fase dello studio ha consentito l'individuazione di alcune problematiche relative alla circolazione idrica in superficie e l'evidenziazione di alcune situazioni di potenziale criticità.
 - valutazione delle problematiche inerenti la sismicità del territorio comunale, finalizzate alla predisposizione della Tavola n°4 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI".

Le informazioni inerenti alla caratterizzazione stratigrafico - geotecnica e idrogeologica del territorio comunale di Chignolo Po, desunte dalle stratigrafie delle indagini geognostiche eseguite, sono state rielaborate al fine di renderle uniformi e quindi facilmente confrontabili. Esse costituiscono parte integrante della "RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE – STRATIGRAFIE POZZI PER ACQUA", allegata al presente lavoro.

I dati raccolti sono costituiti da (refer. Tavola n°4 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI" per la loro ubicazione):

- n°59 diagrafie relative a prove penetrometriche statiche "*cone penetration test*" (C.P.T. 01_59)
- n°08 diagrafia relativa a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 30 centimetri (D.C.P.T.₃₀ 01_08)
- n°3 stratigrafie relative a sondaggi geognostici a campionamento continuo (S 01_03)

Vengono inoltre fornite n°4 stratigrafie di pozzi per acqua ad uso potabile, di cui 3 attualmente in uso ("Monache 2", "Monache 3" e "Chignolo 1") e 1 dismesso ("Monache 1").

Per quanto riguarda l'ubicazione dei pozzi per acqua ricadenti nell'ambito del territorio comunale di Chignolo Po (sia ad uso potabile che domestico), si faccia riferimento alla Tavola n°5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO".

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E CLIMATICO

2.1 CARATTERIZZAZIONE FISIOGRAFICA

Il territorio del Comune di Chignolo Po (PV) si sviluppa su di una superficie complessiva di 23,12 Km² (pari a 2312 ettari), compresa dal punto di vista amministrativo tra i comuni di Miradolo Terme e San Colombano al Lambro (MI) a Nord, Santa Cristina e Bissone e Badia Pavese a Ovest, Orio Litta (LO) ad Est, Monticelli Pavese a Sud.

Il Comune è costituito da un capoluogo - Chignolo Po - e da tre frazioni principali: Lambrinia, Bosco e Alberone, oltre che da numerosi cascinali sparsi nella campagna. Grazie alla sua posizione geografica, all'intersezione tra la ex Strada Statale 234 "Codognese" (SS 234), ora Strada Provinciale 234 Codognese (SP ex SS 234) e la ex Strada Statale 412 "della Val Tidone" (SS 412), ora Strada Provinciale 412 della Val Tidone (SP ex SS 412), Chignolo Po è uno dei comuni più importanti della zona, cerniera tra l'Oltrepò pavese - piacentino e la pianura Pavese e milanese.

Dal punto di vista fisiografico, il territorio di Chignolo Po si trova ubicato in sinistra idrografica del Fiume Po, in una fascia di pianura pavese ricompresa tra i tratti terminali dei tracciati dei fiumi Olona e Lambro. Lo stesso fiume Lambro definisce a Est il confine territoriale del comune. Dal punto di vista altimetrico la zona può essere considerata di bassa pianura, essendo contenuta tra le quote di 48 metri circa s.l.m. (area golenale del fiume Po) e 72 metri circa s.l.m. (piano generale terrazzato a Nord di Chignolo Po). Nella figura sottostante è rappresentata la collocazione dell'area studiata rispetto al sistema cartografico regionale (C.T.R. Regione Lombardia).



Fig. 1 Inquadramento dell'area nel sistema cartografico regionale

2.2 UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE AFFIORANTI

Nel complesso il territorio del Comune di Chignolo Po risulta modellato all'interno di sedimenti quaternari continentali di origine alluvionale (refer. Tav.1 "CARTA GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICA"), abbandonati dal Fiume Po e dal suo tributario Lambro Settentrionale in relazione alle vicende climatiche che hanno caratterizzato la regione nel Pleistocene (glaciazioni) e nell'Olocene (normale avvicendamento di piene e magre). Con riferimento alla Tav.1, in particolare, i vari depositi continentali sono stati raggruppati nelle seguenti unità lito-stratigrafiche:

- **ALLUVIONI ATTUALI (OLOCENE SUPERIORE - ATTUALE)**

- UNITÀ DI BADIA PAVESE

- La composizione litologica dei depositi comprende limi, sabbie e ghiaie prevalenti, con disposizione casuale, legata alle divagazioni del fiume Po in epoca antecedente la realizzazione delle opere di arginatura che ne hanno, di fatto, "congelato" il tracciato. Localmente associati a questi depositi si rinvengono intercalati dei livelli torbosi.

- L'Unità di Badia Pavese occupa la porzione di pianura compresa nella fascia di meandreggiamento recente del fiume Po, caratterizzata dalla presenza delle tracce dei paleomeandri dello stesso corso d'acqua, originatisi in epoca storica.

- Lo stesso fiume Po è inoltre responsabile del modellamento della scarpata, alta in alcuni punti anche 12-15 metri, che separa l'unità in parola dal ripiano su cui insistono gli abitati di Chignolo Po e Lambrinia.

- **ALLUVIONI RECENTI (OLOCENE MEDIO - SUPERIORE)**

- Limi, sabbie e ghiaie prevalenti. Questi depositi sono costituiti dai sedimenti depositi dal fiume Lambro Meridionale in epoca protostorica in corrispondenza del solco d'erosione situato a Nord dell'abitato di Chignolo Po, la cui presenza è appunto correlabile con il primitivo transito nell'area dello stesso Lambro Meridionale, che attualmente confluisce nel fiume Lambro all'altezza di Sant'Angelo Lodigiano, a Nord del Colle di San Colombano (refer. paragrafo 2.5.1.).

- **FLUVIALE RECENTE (PLEISTOCENE SUPERIORE - WURM)**

- UNITÀ DI SANTA CRISTINA E BISSONE

- Questo livello è comunemente definito "*Piano Generale Terrazzato*" (P.G.T.) o "*Livello Fondamentale della Pianura*" a Nord del fiume Po. L'unità è costituita da sabbie prevalenti, localmente inglobanti lenti di ghiaia, ghiaietto e/o limi più o meno sabbiosi. La parte superficiale, alterata, dello spessore medio di circa quattro metri, è generalmente costituita da sabbie o sabbie limose di colorazione brunastra e rossiccia. I depositi alluvionali di questa unità si differenziano dai precedenti per la loro posizione a quote più elevate e per la loro età, riconducibile all'ultima grande fase di espansione glaciale (Wurm).

- La sequenza litologica è ben evidenziata dalle scarpate di scavo poste in corrispondenza dell'ambito di cava attiva posto immediatamente a Nord di località Bissone, in Comune di Santa Cristina e Bissone (refer. Fig.2), oltre che in corrispondenza dell'ambito di cava dismessa posto a Nord di Cascina Crosio, in Comune di Chignolo Po (refer. Tav.5).



Fig. 2 Sequenza litologica della scarpata di scavo posta in corrispondenza dell'Ambito Territoriale Estrattivo ATg56 / g57-t57 del P.C.P..

2.3 GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO

L'analisi delle litofacies e delle caratteristiche sedimentologiche dei depositi che costituiscono il primo sottosuolo dell'area studiata, è stata svolta sulla base delle informazioni desunte dalle stratigrafie relative alle trivellazioni di n°4 pozzi per acqua ad uso potabile e di n°3 sondaggi geognostici esplorativi per ricerca d'acqua (rifer. RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE – STRATIGRAFIE POZZI PER ACQUA).

I pozzi "MONACHE 1", "MONACHE 2" e "MONACHE 3" sono collocati ad Est di Chignolo Po, lungo la strada per Lambrinia e sono tutti siti sullo stesso ripiano morfologico.

Le successioni clastiche esaminate sono sostanzialmente simili, essendo caratterizzate dalla presenza di litologie in prevalenza sabbiose fino alla profondità di circa 22-23 metri, cui segue un livello di argille grigie con fossili (substrato roccioso) che si spinge sino ad una profondità minima accertata di 33 metri dal p.c..

L'orizzonte acquifero produttivo è posizionato all'incirca tra i 7 e i 15 metri di profondità, in corrispondenza di un orizzonte sabbioso-ghiaioso. La parte sommitale delle sequenze dei pozzi "MONACHE 1" e "MONACHE 2" presenta un'abbondante componente argillosa.

Non dissimile dalle precedenti risulta la stratigrafia del pozzo "CHIGNOLO 1", ubicato ad Est dell'ambito di cava cessata posto nei pressi di Cascina Crosio (rifer. Tav.5), che si spinge fino ad una profondità di 31 metri dal p.c.

Qui prevalgono i materiali sabbiosi fino a circa 24 metri; seguono poi materiali argillosi. Un livello argilloso è inoltre presente tra i 15 ed i 19 metri di profondità.

I livelli acquiferi sono posizionati tra gli 11 metri ed i 15 metri e tra i 19 metri ed i 24 metri di profondità.

Le successioni litologiche dei sondaggi esplorativi S1-S3 (spinti fino a notevole profondità), rispecchiano nella loro parte sommitale quelle dei pozzi per acqua, essendo intercettati livelli per lo più sabbiosi con subordinate intercalazioni argillose e limose (S1 e S2).

A profondità rispettivamente superiori ai 20 metri (S1), ai 27 metri (S2) ed ai 22 metri (S3), prevalgono invece i materiali a granulometria fine, argille e limi.

In S1 viene individuato anche un livello torboso dello spessore di circa 5 metri, collocato tra i 30 metri ed i 35 metri di profondità dal p.c.

In conclusione, gli orizzonti profondi a dominanza argillosa, intercettati sia durante la realizzazione dei pozzi che dei sondaggi geognostici esplorativi, corrispondono a depositi sedimentari di ambiente costiero e marino di età quaternaria antica e pre - quaternaria.

La loro presenza a limitata profondità è da correlare con l'assetto tettonico generale dell'area, condizionato dalla vicinanza con l'alto strutturale del Colle di San Colombano, dove terreni quaternari antichi e pre-quaternari risultano direttamente affiorare in superficie.

Le condizioni idrogeologiche e la distribuzione dei livelli acquiferi risentono perciò, oltre che delle irregolarità stratigrafico - sedimentarie del materasso alluvionale, anche delle peculiarità geologiche del substrato marino (rifer. paragrafo 2.5).

2.4 ASSETTO GEOLOGICO - STRUTTURALE

L'assetto geologico della porzione di Pianura pavese investigata, pur rivelando quale motivo di fondo la sovrapposizione di una coltre alluvionale deposta dal Fiume Po su di un basamento marino piegato e fagliato, denota una gamma di situazioni assai differenziate, in grado di influenzare sensibilmente la circolazione idrica sotterranea.

In particolare, il settore di pianura pavese prospiciente il rilievo isolato del Colle di San Colombano (situato immediatamente a Nord del Comune di Chignolo Po), è caratterizzato dalla vicinanza al piano campagna di un substrato roccioso costituito da rocce marine quaternarie (Calabriano) e pre-quaternarie (Tortoniano).

Il sollevamento dei questi depositi marini ha influenzato lo spessore dei depositi continentali creando due zone distinte: l'ambito della pianura pavese e milanese dove lo spessore raggiunge i 200-300 metri (a Nord del Colle di San Colombano), e la zona compresa fra il fiume Olona e il fiume Lambro, dove la coltre alluvionale presenta uno spessore compreso tra un minimo di 12÷13 metri ed un massimo di 30 metri.

In quest'ultima zona, inoltre, la superficie di appoggio tra le stesse alluvioni e il substrato si avvicina costantemente al piano campagna procedendo da Sud verso Nord, con inclinazioni assai variabili da luogo a luogo, in funzione della conformazione strutturale del basamento, fino ad annullarsi in corrispondenza del Colle di San Colombano.

In generale quindi, procedendo dalla pianura verso il Colle di San Colombano, la sezione delle coltri risulta cuneiforme e la loro immersione risulta ruotare di 360° attorno allo stesso Colle.

2.4.1 IMPLICAZIONI NEOTETTONICHE LEGATE ALLA PRESENZA DEL COLLE DI SAN COLOMBANO

Il Colle di San Colombano si sviluppa per 70-80 metri sulla quota media del "Piano Generale Terrazzato", ha una forma stretta e allungata lungo la direttrice WNW-ESE (estendendosi per circa 2 Km in larghezza e 8 Km in lunghezza) e raggiunge i 146 metri di altitudine presso la località di Madonna del Monte.

Il rilievo nel suo complesso presenta un profilo asimmetrico, con elevate pendenze (intorno ai 40°-45°) sul fianco orientale e pendenze più dolci (intorno ai 30°) su quello occidentale arrivando, nei dintorni di Monteleone, a costituire un lieve declivio che si raccorda con la circostante pianura.

Gli ordini di terrazzi alluvionali che in alcuni settori lo rivestono, se visti in sezione longitudinale, appaiono altimetricamente arcuati, indice del lento ma progressivo innalzamento dell'anticlinale che, grazie alle ricerche effettuate (prospezioni A.G.I.P. dei decenni passati), risulta essere l'elemento strutturale dominante (più precisamente, si tratta di una piega anticlinale asimmetrica molto fagliata, con asse disposto in direzione W-E e con piano assiale emergente dalla pianura circa 2 km a nord dal rilievo collinare -Desio A., 1966; Pieri M. e Groppi G., 1981-).

Tale struttura è strettamente legata all'apparato appenninico, in particolare allo "Sperone di Stradella", e ne rappresenta la porzione affiorante più avanzata.

Oltre alle prospezioni A.G.I.P., altre prove a conferma della natura di tali strutture e della continua attività tettonica dell'area in epoca recente, sono rappresentate da:

- L'incurvamento altimetrico verso l'alto dei vari depositi alluvionali, non solo di quelli più vecchi portati alla luce dal sollevamento, ma anche di quelli più giovani che si raccordano al Colle. Facendo riferimento alle pendici settentrionali notiamo che alcuni di questi depositi (Fluviale Recente), presentano giaciture anche di 5°-10° con immersione verso nord, quindi l'opposto di ciò che avviene nella circostante pianura;
- Le varie ondulazioni del Piano Generale Terrazzato, come nella zona a Sud di Inverno;
- L'aumentata velocità del fiume Lambro che ha provocato una violenta azione di erosione del suo tratto terminale soprattutto nelle alluvioni oloceniche;
- Le deviazioni del reticolo idrografico, ed in particolare del fiume Lambro Meridionale, verso Nord-Est.

2.5 GEOMORFOLOGIA

La configurazione fisiografica del territorio è basata sulla presenza della depressione del fiume Po che, a grandi linee, funge da asse di simmetria fra la pianura pavese a Nord e quella oltrepadana a Sud. Dal punto di vista geomorfologico, la fascia di pianura pavese rivierasca al fiume Po è caratterizzata dalla presenza dei terrazzamenti alluvionali, la cui genesi è legata essenzialmente alle variazioni climatiche quaternarie, anche se non si può escludere un legame con il progressivo innalzamento del Colle di San Colombano e della pianura circostante in età olocenica (rifer. paragrafo 2.4). Quali unici elementi positivi si possono rilevare:

- il terrazzo che, delimitato da una scarpata alta in alcuni punti anche 12-15 metri, individua il ripiano morfologico su cui insistono gli abitati di Chignolo Po e Lambrinia. La stessa scarpata non presenta un andamento regolare in quanto in più punti è intaccata da tagli artificiali da ricollegare con attività estrattive e/o antropiche in genere, svoltesi in passato (rifer. Tavola n°5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO");
- il rilievo isolato situato poco ad Est di Chignolo Po (rifer. Par. 2.5.2 e Fig.3), costituito da un lembo del "Piano Generale Terrazzato" rimasto isolato a causa dell'erosione del fiume Po (a Sud) e del Lambro Meridionale in epoca protostorica (a Nord);
- l'arginatura del fiume Po e del fiume Lambro, la quale si eleva di circa 7 metri rispetto alla piana circostante, nonché alcune arginature minori che bordano le rogge e i colatori facenti parte del reticolo idrografico secondario.

La superficie topografica del Piano Generale Terrazzato, la cui acclività è compresa tra il 2,0 e il 5,0‰, è in particolare caratterizzata in corrispondenza del territorio comunale di Chignolo Po dalla bassura morfologica prospiciente l'asta valliva del Colatore Nerone. Questa fascia di terreno, a debole inclinazione, risulta essere stata modellata nel corso dei secoli da spianamenti e rimodellamenti artificiali, che hanno contribuito ad addolcire le originali scarpate morfologiche.

Il tracciato del Colatore Nerone risulta avere infatti subito nel corso dei secoli notevoli variazioni. In epoca tardo medioevale (prima metà del XVII secolo), come testimoniano le carte catastali dell'epoca, il colatore si presentava fortemente meandreggiante e probabilmente ricco di zone umide e paludose.

Il tracciato attuale, per quanto a tratti ancora decisamente sinuoso (tratto ad Ovest di Cascina Nerone), è quindi il risultato di diversi interventi di regolarizzazione eseguiti dall'uomo nel corso degli ultimi due secoli, come testimoniato dalle cronache d'epoca: *"Aperto questo canale per opera della natura, scorreva da Gerenzago ad Inverno, a Monteleone, a Miradolo, a Santa Cristina; raccogliitore dei fondi e delle colline di Monteleone e di Miradolo, era da principio mal sopportato dalle case che rasentava ed alle terre tra le quali scorreva, talché i possessori di esse furono necessitati di aiutare la natura incidendogli qua e là un letto più regolare"*.

Peraltro, l'idea di governare stabilmente il corso non sorse che nel 1706. Furono gli agenti del Collegio Germanico che per primi invocarono provvedimenti da parte di Filippo V Re di Spagna e Duca di Milano. Ma i provvedimenti o non furono emanati o furono insufficienti, finché nel 1759

l'Ingegnere Gerolamo Forni, istituì uno speciale consorzio allo scopo di spurgare il colatore e di utilizzarne le acque.

Il Colatore Nerone è oggi diviso in due tronchi: superiore ed inferiore, regolato da due distinti consorzi. Il consorzio superiore ha per scopo di tenere attivato lo scolo dei comuni di Gerenzago, Inverno e Monteleone, Miradolo Terme e Santa Cristina e Bissone; il consorzio inferiore è detto delle Gariga (il Colatore Nerone acquista infatti il nome di Roggia Nerone - Gariga in territorio di Chignolo Po), ed adopera le acque per l'irrigazione dei terreni nella vallata del Po a Sud dell'abitato di Chignolo Po.

Vale la pena infine di sottolineare come, in tempi storici e protostorici, sia il livello di pianura più elevato ("Piano Generale Terrazzato") che le aree prossimali al bordo della scarpata che separa il Fluviale recente dalla fascia di meandreggiamento del fiume Po e del fiume Lambro (Alluvioni attuali e recenti), hanno rappresentato siti favorevoli all'insediamento umano, in relazione sia alla vicinanza di fonti d'approvvigionamento di acqua sia, contemporaneamente, per la protezione offerta dalla posizione sopraelevata che preservava dal rischio di esondazioni (Dall'Aglio P.L. e Marchetti G., 1989).

2.5.1 PALEOIDROGRAFIA - IL COLATORE NERONE E IL FIUME LAMBRO MERIDIONALE

Il "Piano Generale Terrazzato" della pianura padana (P.G.T.), a Nord della linea ferroviaria Pavia - Cremona, in corrispondenza dell'alveo del Colatore Nerone risulta debolmente inciso, presentando un dislivello di circa 3 metri tra la superficie principale (quota media 71 metri s.l.m.) e lo stesso solco di erosione (quota 68 metri s.l.m.). Tale depressione, che lambisce il margine del rilievo di San Colombano, a Sud della stessa linea ferroviaria Pavia - Cremona diventa una vera e propria incisione che, in modo sempre più marcato, a Chignolo Po si porta al livello delle Alluvioni attuali.

L'entità di tale incisione, da considerarsi sproporzionata per il corso d'acqua che attualmente la solca, ne determina l'importante significato paleoidrografico. A generare tale avvallamento sarebbe infatti stato il fiume Lambro Meridionale che, fino ad epoca presumibilmente protostorica (ipotesi supportata dai dati archeologici dell'area), doveva essere un diretto affluente di sinistra del Po.

Il fiume Lambro Meridionale attualmente scorre con direzione SSE fino nei pressi di Villanterio; oltrepassato l'abitato assistiamo ad una brusca deviazione di circa 90° del suo corso in direzione ENE, direzione che mantiene fino al punto di confluenza nel fiume Lambro Settentrionale, all'altezza di Sant'Angelo Lodigiano.

Studi recenti imputano questa brusca deviazione ai movimenti di sollevamento della struttura del Colle di San Colombano in epoca quaternaria, che avrebbero determinato la creazione di un ostacolo naturale al proseguimento del corso del fiume in direzione SSE (rifer. Fig.4).

A seguito di questo sollevamento il Lambro Meridionale, giunto nei luoghi dove attualmente sorge l'abitato di Villanterio, sarebbe stato costretto a divagare ed a cercare una nuova via per il deflusso delle sue acque, finendo così a confluire nel fiume Lambro all'altezza di Sant'Angelo Lodigiano, per quanto non si possa comunque escludere che un intervento antropico potrebbe aver assecondato la naturale tendenza alla divagazione del corso d'acqua, facilitando così il cambio di percorso.

2.5.2 IL RILIEVO ISOLATO DI CHIGNOLO PO

A rafforzare le tesi esposte nel paragrafo precedente (suffragate comunque da numerose evidenze sia di tipo morfologico sia legate all'idrografia superficiale) e a completare il quadro geomorfologico dell'area studiata, va infine sottolineata la presenza di un lembo di ripiano wurmiano completamente isolato dal "Piano Generale Terrazzato", situato a NW di Cascina Casottina, in territorio di Chignolo Po.

Esso altro non è che un lembo del "livello fondamentale della pianura" rimasto isolato a causa dell'azione erosiva combinata (seppure condotta in tempi diversi) del fiume Po -a Sud- e del "paleo" Lambro Meridionale -a Nord-.

La sommità di questo "rilievo testimone", che raggiunge i 15 metri sul piano delle Alluvioni Recenti, è perfettamente raccordabile con il vicino ripiano (posto circa 200 metri a Nord) da cui è stato separato.



Fig. 3 Il rilievo isolato di Chignolo Po

Questo rilievo nasconde un significato scientifico e didattico notevole, essendo una preziosa fonte di informazioni sull'antica confluenza che portava il "paleo" Lambro Meridionale a sfociare nel fiume Po, nonché un'importante fonte di informazioni sull'antropizzazione antica dell'area, come dimostrano numerosi dati archeologici.

L'evoluzione del tracciato del "paleo" Lambro Meridionale e del fiume Po in epoca storica e protostorica avrebbe quindi determinato le attuali peculiarità morfologiche: la presenza del piccolo rilievo isolato e la esigua larghezza del ripiano su cui sorge l'abitato di Chignolo Po, stretto tra gli antichi percorsi dei due fiumi.

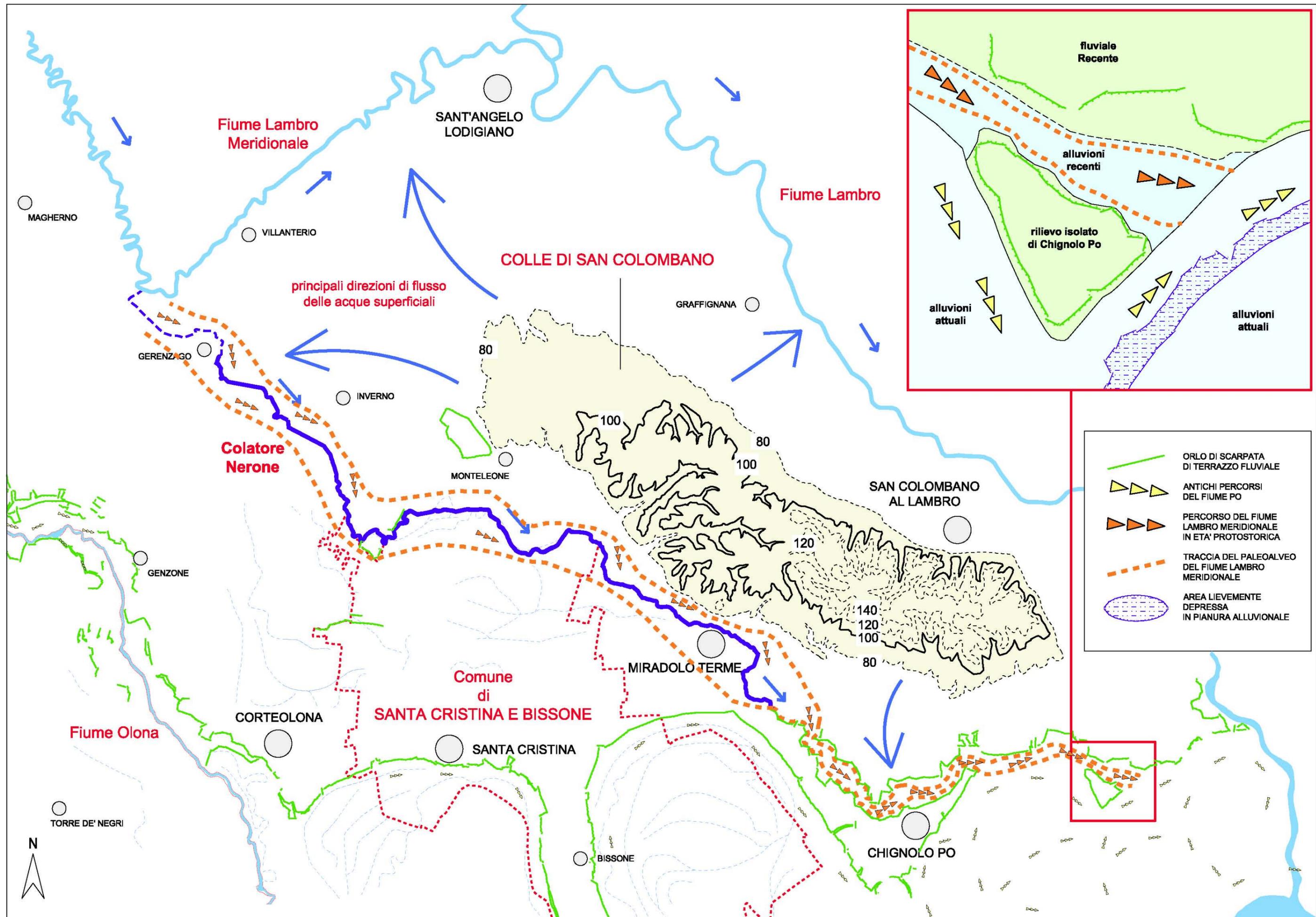


Figura 4 Implicazioni paleo-idrografiche connesse alla presenza della struttura del Colle di San Colombano al Lambro sul percorso del fiume Lambro meridionale

2.6 ASPETTI PEDOLOGICI E DI USO DEL SUOLO

Le informazioni di seguito riportate, evidenziate anche in Tavola 2 "CARTA PEDOLOGICA", sono tratte da: *Base Informativa Suoli - Territorio della Provincia di Pavia, ottobre 2003 - Progetto Carta Pedologica, versione 2*. In corrispondenza del territorio comunale di Chignolo Po sono presenti tre dei cinque sistemi di pedo-paesaggio con cui viene catalogato il territorio lombardo.

Essi sono:

- *il sistema dei terrazzi rilevati sull'attuale pianura (R);*
- *il sistema della piana fluvioglaciale e fluviale costituente il livello fondamentale della pianura (L);*
- *il sistema delle valli alluvionali di pianura (V).*

Il limite morfologico tra i tre sistemi è evidente essendo contrassegnato dalle scarpate d'erosione fluviale, per quanto localmente rimodellate od oblite, anche se è lo studio dei caratteri dei suoli a guidare e confermare la loro distinzione concettuale e cartografica.

I tre sistemi sono stati suddivisi in sottosistemi e unità di paesaggio, che rappresentano ambiti morfogenetici più circoscritti (refer. Tav.2).

Per ogni sistema o sottosistema, con l'obiettivo di fornire la sintesi pedologica dei grandi ambienti, vengono descritti i principali fattori della pedogenesi collegandoli alla classificazione dei suoli espressa a livello di grande gruppo Soil Taxonomy (Keys, 1994).

Nelle superfici del *sistema dei terrazzi rilevati sull'attuale pianura (R)*, è presente il sottosistema dei terrazzi intermedi di età rissiana (RI) che caratterizzano il rilievo di San Colombano e Miradolo, presente con alcune superfici residuali ad esso limitrofe poco o per nulla rilevate sul sistema del livello fondamentale della pianura.

Queste superfici, di origine fluvioglaciale, sono caratterizzate da suoli che evidenziano un'intensa evoluzione con formazione di orizzonti argillosi ed una successione di più cicli pedogenetici con formazione di orizzonti glossici (Haplustalfs).

Nelle superfici del *sistema della piana fluvioglaciale e fluviale costituente il livello fondamentale della pianura (L)*, sono presenti suoli in genere evoluti (Haplustalfs), talvolta con profilo disturbato dall'erosione o dall'attività antropica. Solo localmente la presenza di depositi grossolani fin dalla superficie o la minore età delle superfici determinano suoli con caratteri meno evoluti (Ustochrepts). Il sistema L è rappresentato nell'area dal sottosistema LF, contraddistinto dalla presenza di un'idrografia organizzata di tipo meandriforme costituita esclusivamente da sedimenti fluviali fini, privi di pietrosità in superficie e di scheletro nel suolo ("bassa pianura sabbiosa"). Esso rappresenta le aree più stabili dal punto di vista geomorfologico, a bassa energia di rilievo e senza evidenze morfologiche particolari.

La divagazione dei corsi d'acqua dell'antica piana a meandri che caratterizzava queste aree non interessa questo sistema da lungo tempo ed i suoli maggiormente rappresentati sono gli Alfisuoli, con limitata diffusione degli Inceptisuoli nelle aree più recenti, prossime alle linee di canale dell'antico sistema fluviale o a quelle sottoposte ad intensa erosione superficiale o caratterizzate da un difficile sgrondo delle acque.

Gli Inceptisuoli (Ustocrepts) sono legati principalmente a superfici nelle quali l'evolversi dei processi pedogenetici è stata limitata dal drenaggio difficoltoso o dal ringiovanimento delle superfici ad opera della più recente attività fluviale; sono riconoscibili in questi suoli i tratti di una moderata evoluzione, rappresentata da sviluppo di struttura e colore di suolo e decarbonatazione parziale o totale del profilo, frequentemente accompagnate da evidenze di idromorfia anche intensa. Quando la rimozione dei carbonati non è stata completa si rilevano orizzonti profondi di accumulo di carbonato di calcio (orizzonte calcico).

Nelle superfici del *sistema di paesaggio delle valli alluvionali (V)* è presente il sottosistema VA (alluvioni più recenti). I suoli sono generalmente poco evoluti, con un orizzonte profondo di alterazione poco evidente (*Ustochrepts*); suoli con evidente decarbonatazione ed accumulo profondo di carbonati si rinvengono solamente in aree caratterizzate da rotte o meandri molto antichi.

Suoli a basso o nullo grado di differenziazione dai sedimenti fluviali originari (*Ustifluvents* ed *Ustipsamments*) sono tipici delle superfici a più alto rischio di inondazione della piana del Po, ma possono essere reperiti anche in ventagli di rotta recenti (rotte del 1951 e 1994).

In queste superfici i suoli sono poco o per nulla evoluti; la pedogenesi appare infatti essere stata condizionata dal drenaggio difficoltoso e dalla granulometria grossolana dei materiali di partenza che hanno consentito una limitata differenziazione dei suoli rispetto ai sedimenti originari oppure hanno mantenuto le peculiarità dei sedimenti originari senza alcuna differenziazione di orizzonti genetici.

Il territorio di Chignolo Po risulta essere intensamente coltivato. Agricoltura e allevamento sono rappresentate dalle produzioni di cereali, quali mais, grano, erbe da foraggio per l'allevamento bovino (accompagnato dalla presenza di industria casearia), e pioppeti, che grazie alla ricchezza idrica, troviamo concentrate nella fascia prossima al corso del fiume Po.

2.7 CLIMATOLOGIA

Per quanto concerne le condizioni climatiche del territorio, sia per quanto riguarda i dati pluviometrici che le temperature rilevate, si fa riferimento ai dati meteorologici elaborati dall'E.R.S.A.L. e relativi agli ultimi anni.

Sia per quanto concerne la temperatura che per la piovosità si assumono a riferimento i valori relativi alla stazione di Pavia, relativi rispettivamente ai periodi 1950-1981 e 1950-1979.

Il territorio in esame presenta le caratteristiche di un clima *temperato umido ad estate calda*, di tipo *subcontinentale*, complessivamente caratterizzato dal punto di vista pluviometrico dalla presenza di due massimi e due minimi ben marcati, che caratterizzano la distribuzione delle precipitazioni nell'anno medio.

Dei massimi il principale cade in autunno (ottobre-novembre), il secondario a maggio. I minimi sono posizionati nei mesi di gennaio e luglio.

Il quantitativo annuo medio di precipitazioni risulta compreso tra i 900 e i 1000 millimetri.

Il regime pluviometrico è pertanto classificabile come *sublitoraneo*, intermedio tra il tipo *padano* e quello *appenninico* (Ottone & Rossetti, 1980).

Per quanto riguarda la piovosità, va infine rilevato come durante l'ultimo decennio molti inverni sono stati caratterizzati da periodi particolarmente poveri di precipitazioni (in particolare gli inverni 1988-89 ed quelli dei primi anni 90).

I dati relativi agli anni 1995-1996 indicherebbero in via di attenuazione questo fenomeno, in quanto si è assistito a un incremento delle precipitazioni. In particolare il gennaio 1996 risulta essere stato uno dei più piovosi del secolo (rifer. analisi delle serie storiche di Milano Brera).

Mediante il diagramma di Bagnols e Gaussien, è possibile definire i mesi nei quali le precipitazioni (P) in mm sono inferiori al doppio della temperatura media (2T), espresse in °C. In base a questo diagramma risulta che a Pavia non si verificano mesi "secchi" (nessuna intersezione tra le curve).

La temperatura media risulta essere stata 12,5°; con una media del mese più freddo (gennaio) di 1,1° ed una media del mese più caldo (luglio) di 23,2°. L'escursione termica media è pari a 22,1°: pertanto il clima, dal punto di vista termico, va senz'altro inquadrato come continentale.

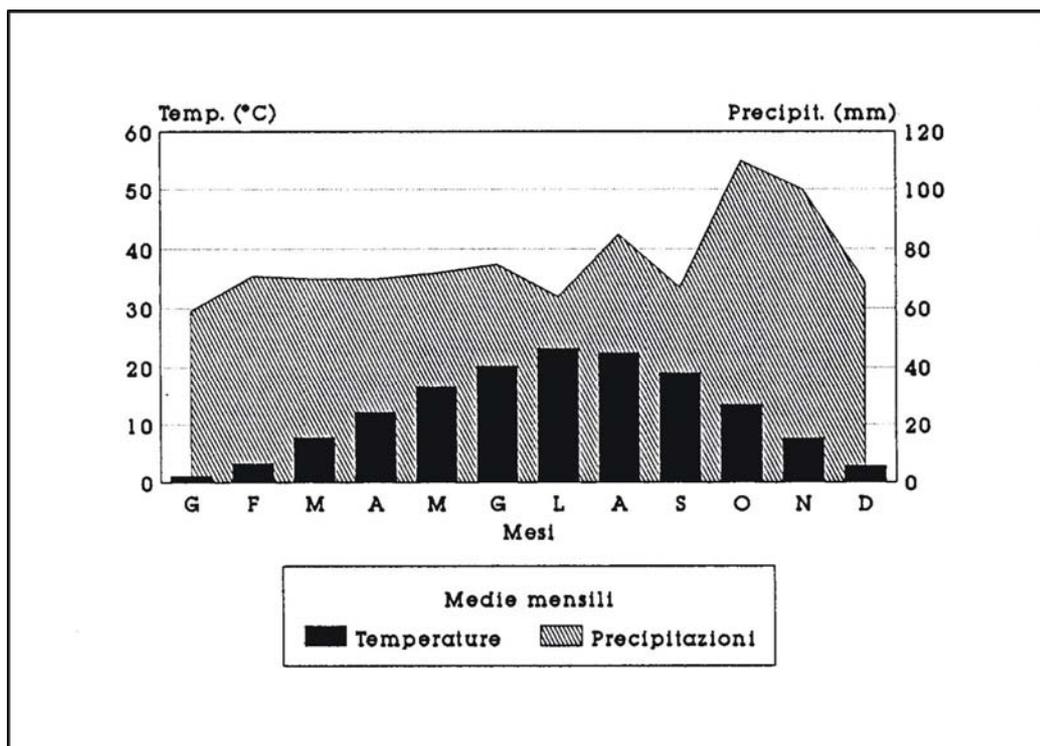


Fig. 5 Diagramma di Bagnols e Gaussien. Andamento mensile delle temperature e delle precipitazioni per la stazione di Pavia, da ERSAL, 1996 - I SUOLI DEL PARCO DEL TICINO SETTORE MERIDIONALE -

3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

3.1 IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Per quanto riguarda l'idrografia di superficie, l'elemento dominante è rappresentato dal Fiume Po che lambisce il territorio comunale di Chignolo Po nella sua porzione di SE, e dal fiume Lambro, che segna all'incirca con il suo corso parte del confine orientale del Comune con la Provincia di Lodi. Quest'ultimo, in particolare, presenta nel suo tratto terminale una direzione prevalentemente NW-SE ed un tracciato sinuoso e ben incassato nei depositi wurmiani del P.G.T.

L'idrografia secondaria è rappresentata da una fitta rete di canali, in parte naturali ed in parte artificializzati (rogge e fossi colatori, con funzione irrigua e/o di scolo per le acque meteoriche), per lo più dotati di modeste portate (rifer. Tav. 3 e Tavola n°5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO").

Nella fascia di meandreggiamento recente del fiume Po la relativa impermeabilità dei terreni superficiali (copertura e substrato pedologico), data dalla presenza di limi di stanca depositi dallo stesso corso d'acqua in concomitanza degli eventi alluvionali verificatisi in epoca storica, rende ragione dell'elevata ramificazione della rete idrografica secondaria, mentre, in corrispondenza dei terreni del Fluviale Recente (ripiano di Chignolo Po e Lambrinia), la loro minore diffusione è strettamente legata alla maggiore permeabilità del terreno superficiale (copertura e substrato pedologico), di natura prevalentemente sabbiosa.

Poiché è risaputa l'interdipendenza che può esistere tra acque superficiali e falda freatica, è importante osservare che comunque i suddetti canali, attivi per buona parte dell'anno, non essendo rivestiti disperdono nel sottosuolo notevoli quantità d'acqua. Le condizioni litostratigrafiche complessive permettono di individuare all'interno dei depositi alluvionali, almeno due orizzonti acquiferi collocati all'interno di corpi sedimentari sabbioso - ghiaiosi, separati tra loro da intercalazioni limoso - argillose (rifer. stratigrafie pozzi per acqua ad uso potabile presenti in corrispondenza del territorio comunale).

Sulla base dei dati freatimetrici disponibili, è possibile indicare per la prima falda libera un senso di flusso preferenziale diretto all'incirca verso SSE-SE, ovvero verso l'asta fluviale del Fiume Po, per via dell'effetto drenante operato da quest'ultimo (si vedano a tal proposito le direzioni di flusso indicate in Tav.3, da intendersi comunque come sostanzialmente indicative).

Nello studio dell'assetto idrogeologico locale, assume infine particolare importanza la presenza del paleoalveo del fiume Lambro Meridionale, che costituisce un caso particolare di modifica idrografica, come descritto al paragrafo 2.5.

Per quanto riguarda le opere di difesa idraulica, l'intero territorio di Chignolo Po è protetto da un'arginatura maestra che si innesta, nei pressi di Castellaro, sulla scarpata del terrazzo wurmiano, proteggendo la retrostante porzione di pianura dalle possibili esondazioni connesse con eventi di piena catastrofica del fiume Po e del fiume Lambro. Inondabile, in caso di piene straordinarie, risulta anche la porzione di ripiano alluvionale recente posta in destra del fiume Lambro ad Est di Lambrinia. Qui, per un tratto di circa 150 metri, la riva destra del fiume è protetta da una difesa spondale longitudinale dall'azione scalzante erosiva delle acque correnti.

3.2 DETERMINAZIONE DEL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE E MINORE

Con riferimento ai disposti delle seguenti delibere regionali:

- **D.G.R. n°7/7868/02** "Determinazione del reticolo idrico principale. Trasferimento delle funzioni relative alla polizia idraulica concernenti il reticolo idrico minore come indicato dall'art. 3, comma 114, della L.R. 1/2000 "Determinazione dei canoni regionali di polizia idraulica"
- **D.G.R. n°7/13950/03** "Modifica della D.G.R. 25 gennaio 2002 n°7/7868 "Determinazione del reticolo idrico principale. Trasferimento delle funzioni relative alla polizia idraulica concernenti il reticolo idrico minore come indicato dall'art. 3, comma 114, della L.R. 1/2000 "Determinazione dei canoni regionali di polizia idraulica"
- **D.G.R. n°7/20552/05** "Approvazione del reticolo idrico di competenza dei consorzi di bonifica ai sensi dell'art.10, comma 5 della L.R.7/2003"

il presente lavoro è stato integrato e completato attraverso l'individuazione dei corsi d'acqua riferibili al reticolo principale ed a quello minore, nonché mediante l'individuazione delle relative fasce di rispetto (refer. Tavola n°5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO" e Tavola n°6 "CARTA DEI VINCOLI ESISTENTI").

La cartografia citata recepisce le informazioni riguardanti i corsi d'acqua definiti nello studio sul reticolo principale e minore di competenza comunale del Comune di Chignolo Po, adeguandolo alla normativa vigente.

In corrispondenza del territorio comunale di Chignolo Po sono presenti due corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico principale, di cui all'elenco delle acque pubbliche (Testo Unico n°1775/1933) ed individuati nella D.G.R. n°7/13950/03 -allegato A-:

1. Fiume Po
2. Fiume Lambro

Segue una scheda tecnica descrittiva dei suddetti corsi d'acqua, con indicati la denominazione cartografica (refer. cartografia I.G.M., C.T.R. e mappe catastali); nome e numero identificativo di cui alla D.G.R. n°7/13950 -Allegato A- e Testo Unico R.D. n°1775/1933; Coordinate Gauss Boaga riferite alla sorgente, ovvero punto di entrata nel territorio comunale, e foce, ovvero punto di uscita dal territorio comunale.

Sigla identificativa	PV_001		
Denominazione cartografica			
IGM:	Fiume Po	CTR:	Fiume Po
CATASTALE:	Fiume Po		
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A	Fiume Po		PV001
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933	Fiume Po		001
Coordinate Gauss Boaga	Longitudine		Latitudine
Sorgente / punto di entrata nel territorio comuna	1 542 004		4 996 680
Foce / punto di uscita dal territorio comunale	1 541 962		4 996 972

Sigla identificativa PV_059		
Denominazione cartografica		
IGM: Fiume Lambro	CTR: Fiume Lambro	CATASTALE:
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A		Fiume Lambro Settentrionale PV059
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933		Fiume Lambro Settentrionale 165 o Grande
Coordinate Gauss Boaga		
	Longitudine	Latitudine
Sorgente / punto di entrata nel territorio comuna	1 524 745	4 992 563
Foce / punto di uscita dal territorio comunale	1 526 070	4 994 289

Per quanto riguarda il reticolo idrico minore, esso è stato individuato in base alla definizione del regolamento di attuazione della legge 36/94, ossia "il reticolo idrografico costituito da tutte le acque superficiali" (art. 1 comma 1 del regolamento) "ad esclusione di tutte le acque piovane non ancora convogliate in un corso d'acqua" (art. 1 comma 2 del regolamento).

In particolare sono stati considerati i corsi d'acqua rispondenti ad almeno uno dei seguenti criteri:

- siano indicati come demaniali nelle carte catastali o in base a normative vigenti
- siano stati oggetto di interventi di sistemazione idraulica con finanziamenti pubblici
- siano interessati da derivazioni d'acqua
- siano rappresentati come corsi d'acqua delle cartografie ufficiali (I.G.M., C.T.R.).

I corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico minore di competenza comunale che percorrono il territorio comunale di Chignolo Po, ovvero che ricadono lungo la linea di demarcazione del confine comunale, identificati mediante un apposito toponimo (indicato sulla cartografia C.T.R. in scala 1:10000 e I.G.M. scala 1:25.000) e una sigla identificativa, indicati in Tabella 1 e riportati in evidenza nella Tavola n°5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO" sono:

CHI_001	Cavetto Valcariolo
CHI_002	Cavetto
CHI_003	Cavetto Solaroli
CHI_004	Colatore Laghetto
CHI_005	Colatore Lunardine
CHI_009	Colatore Roggione
CHI_010	

L'esame delle mappe catastali ha infatti evidenziato la presenza di tre colatori attualmente dismessi per quanto catastalmente ancora individuabili e precedentemente inseriti nel reticolo idrico minore di competenza comunale: CHI_006; CHI_007; CHI_008. Anch'essi vengono riportati in Tavola n°5 con apposita simbologia.

Sigla	Denominazione	Lunghezza	Percorso Cartografato	Foce
CHI_001	Cavetto Valcariolo	410 m	da 67,3 m a 63 m s.l.m.	Roggia Bissina Bissone e Roggia Nerone Gariga
CHI_002	Cavetto	870 m	da 70,5 m a 69 m s.l.m.	Roggia Bissina Bissone e Roggia Nerone Gariga
CHI_003	Cavetto Solaroli	830 m	da 67,2 m a 56,3 m s.l.m.	Roggia Bissina Bissone e Roggia Nerone Gariga
CHI_004	Colatore Laghetto	480 m	da 68,7 m a 58,1 m s.l.m.	Roggia Bissina Bissone e Colatore Solaroli
CHI_005	Colatore Lunardine	730 m	da 66,7 m a 60 m s.l.m.	Roggia Bissina Bissone
CHI_009	Colatore Roggione	3070 m	da 56,4 m a 49,8 m s.l.m.	Roggia Cusani e Colatore Divisa Reale
CHI_010		480 m	da 49,6 m a 48,4 m s.l.m.	Canale Allacciante Lambrino

Tabella 1
Reticolo idrico minore di competenza del Comune di Chignolo Po

Per ciascun corso d'acqua appartenente al reticolo idrico minore sono state identificate delle fascia di rispetto e normate le attività vietate o soggette ad autorizzazione (refer. capitolo 5 delle "Norme geologiche di Piano").

Segue una scheda tecnica descrittiva dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico minore di competenza comunale (Tabella 2), con indicati la denominazione cartografica (refer. cartografia I.G.M., C.T.R. e mappe catastali); nome e numero identificativo di cui alla D.G.R. n°7/13950 - Allegato A- e Testo Unico R.D. n°1775/1933; Coordinate Gauss Boaga riferite all'inizio e alla fine del tratto di competenza comunale.

Sigla identificativa CHI_001			
Denominazione cartografica			
IGM:	CTR:	CATASTALE:	Cavetto Valcariolo
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A	.....	.....	.....
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933	.....	.....	.....
Coordinate Gauss Boaga	Longitudine	Latitudine	
Inizio tratto di competenza comunale	1 536 648	5 000 966	
Termine tratto di competenza comunale	1 536 372	5 000 615	
Sigla identificativa CHI_002			
Denominazione cartografica			
IGM:	CTR:	CATASTALE:	Cavetto
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A	.....	.....	.....
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933	.....	.....	.....
Coordinate Gauss Boaga	Longitudine	Latitudine	
Inizio tratto di competenza comunale	1 537 595	5 001 014	
Termine tratto di competenza comunale	1 537 721	5 000 579	

Sigla identificativa CHI_003			
Denominazione cartografica			
IGM:	CTR:	CATASTALE:	Cavetto Solaroli
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A		.....	.....
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933		.....	.....
Coordinate Gauss Boaga	Longitudine		Latitudine
Inizio tratto di competenza comunale	1 538 418		5 000 890
Termine tratto di competenza comunale	1 538 564		5 000 156
Sigla identificativa CHI_004			
Denominazione cartografica			
IGM:	CTR:	CATASTALE:	Colatore Laghetto
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A		.....	.....
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933		.....	.....
Coordinate Gauss Boaga	Longitudine		Latitudine
Inizio tratto di competenza comunale	1 538 629		5 000 801
Termine tratto di competenza comunale	1 538 596		5 000 352
Sigla identificativa CHI_005			
Denominazione cartografica			
IGM:	CTR:	CATASTALE:	Colatore Lunardine
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A		.....	.....
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933		.....	.....
Coordinate Gauss Boaga	Longitudine		Latitudine
Inizio tratto di competenza comunale	1 539 966		5 001 222
Termine tratto di competenza comunale	1 539 997		5 000 513
Sigla identificativa CHI_009			
Denominazione cartografica			
IGM:	CTR:	CATASTALE:	Colatore Roggione
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A		.....	.....
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933		.....	.....
Coordinate Gauss Boaga	Longitudine		Latitudine
Inizio tratto di competenza comunale	1 539 093		5 000 340
Termine tratto di competenza comunale	1 539 789		4 997 879
Sigla identificativa CHI_010			
Denominazione cartografica			
IGM:	CTR:	CATASTALE:	
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A		.....	.....
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933		.....	.....
Coordinate Gauss Boaga	Longitudine		Latitudine
Inizio tratto di competenza comunale	1 540 854		4 997 246
Termine tratto di competenza comunale	1 541 295		4 997 211

Tabella 2

Scheda tecnica reticolo idrico minore di competenza del Comune di Chignolo Po

Per quanto riguarda gli altri corsi d'acqua riportati in evidenza in Tavola n°5 ed appartenenti al reticolo idrico minore, essi risultano costituiti:

- dai canali del reticolo idrico di irrigazione / di miglioramento fondiario di competenza del Consorzio di Bonifica Est Ticino - Villorosi, ai sensi dell'art.10, comma 5 della L.R. 7/2003:

Colatore Allacciante Lambrino

Colatore del Lambrino

Colatore Divisa Reale

Colatore Roggione

Roggia Bissina – Bissone

Roggia Nerone – Gariga

Scaricatore della Roggia Nerone - Gariga

- dai canali del reticolo idrico di irrigazione / di miglioramento fondiario già ricompresi nell'elenco di cui all'allegato D della D.G.R. 25/01/2002 n°7868, appartenenti alla rete irrigua distrettuale e di competenza dei diversi consorzi a gestione autonoma operanti all'interno del comprensorio e non compresi nell'elenco di cui alla D.G.R. 11/02/2005 n°7/20552 (reticolo idrico di competenza dei consorzi di bonifica):
 - CONSORZIO ROGGIA CUSANI
 - CONSORZIO LIVELLI – ALBERONE
 - CONSORZIO CASCINETTA
- dagli irrigatori gestiti da aziende agricole private che derivano acqua da canali consortili.

L'onere della manutenzione periodica spetta rispettivamente ai diversi consorzi operanti all'interno del comprensorio ed agli utilizzatori (aziende agricole private).

Le derivazioni terziarie ed i fossi di scolo secondari, comunque identificati in Tavola n°5, non vengono presi in considerazione ai fini della gestione delle funzioni di polizia idraulica, mantenendo l'onere della manutenzione periodica a carico dei singoli proprietari frontisti.

3.3 IDROGRAFIA SOTTERRANEA

3.3.1 ASSETTO IDROGEOLOGICO GENERALE DELL'AREA

Nella zona in esame si realizzano condizioni favorevoli ad un'attiva circolazione idrica, con buone caratteristiche di trasmissività degli acquiferi, i quali, senza soluzione di continuità, si connettono con quelli presenti nelle zone più a Nord (territorio milanese).

Queste condizioni geologiche sono ben documentate dalle stratigrafie dei pozzi presenti (rifer. 'RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE – STRATIGRAFIE POZZI PER ACQUA').

Nel sottosuolo dell'area in esame, diversi studi a valenza scientifica condotti precedentemente a questo lavoro, tra cui occorre segnalare "Geologia degli acquiferi Padani della Regione Lombardia" - Regione Lombardia, ENI Divisione Agip, 2002 -, hanno evidenziato la presenza di tre unità idrostratigrafiche di rango superiore (Gruppi Acquiferi), definite da barriere di permeabilità ad estensione regionale.

I Gruppi Acquiferi sono informalmente denominati Gruppo Acquifero A, Gruppo Acquifero B e Gruppo Acquifero C, così definiti partire dal piano campagna.

In corrispondenza dell'area indagata e più in generale nel settore di pianura padana compresa tra Corteolona, Santa Cristina e Bissone e Chignolo Po, le stratigrafie dei pozzi ad uso idropotabile disponibili ed utilizzate per il seguente lavoro (rifer. paragrafo 2.3), ci permettono di caratterizzare in modo estremamente dettagliato il primo Gruppo Acquifero ("A"), attualmente sfruttato in Lombardia in modo intensivo, ancorché spesso interessato da fenomeni di inquinamento.

Il Gruppo Acquifero "A" presenta, in corrispondenza del territorio comunale di Chignolo Po, il suo limite basale ad una profondità compresa tra circa - 50 metri e - 58 metri circa dal piano campagna. In termini assoluti il limite basale del Gruppo Acquifero "A" coincide rispettivamente con le quote di +20 metri e +10 metri circa s.l.m..

Il limite tra il Gruppo Acquifero "A" ed il Gruppo Acquifero "B" è individuato, nelle stratigrafie dei pozzi in parola, dalla comparsa di potenti orizzonti argillosi e/o torbosi - localmente fossiliferi -, dallo spessore variabile ma comunque plurimetrico.

Procedendo verso Nord, il limite del Gruppo Acquifero "A" si approfondisce sempre più, portandosi a circa -87,00 metri dal piano campagna a Salerano sul Lambro (coincidente con la quota di circa - 10,00 metri s.l.m).

3.3.2 STRUTTURA IDROGEOLOGICA DI DETTAGLIO

Le stratigrafie disponibili dei pozzi idrici presenti in zona hanno permesso sia di caratterizzare dal punto di vista litostratigrafico le successioni alluvionali presenti nel sottosuolo, sia di posizionare i diversi orizzonti acquiferi e di individuare i livelli a bassa permeabilità (*acquicludes*), in grado di isolare e separare gli acquiferi stessi. L'analisi ha riguardato in particolare gli acquiferi sfruttati ad uso idropotabile, di cui si è cercato di definire la geometria del tetto e del letto.

A tal fine in Tav.3 sono riportate le perforazioni con stratigrafia nota ubicate all'interno del territorio comunale di Chignolo Po, significative per la ricostruzione della geometria degli acquiferi sotterranei (refer. paragrafo 2.3 per una descrizione dettagliata). Con riferimento ai dati disponibili (stratigrafia e posizionamento dei filtri), i pozzi esaminati risultano attraversare per intero il Gruppo Acquifero "A" ed attestarsi all'interno dell'orizzonte impermeabile che costituisce il limite idrogeologico tra lo stesso Gruppo Acquifero "A" ed il sottostante Gruppo Acquifero "B". A loro volta i filtri sono posizionati all'interno di una o più falde confinate appartenenti al Gruppo Acquifero "A".

In merito all'alimentazione delle falde profonde oggetto di emungimento è possibile ipotizzare che cospicui apporti di acqua avvengano attraverso un meccanismo di flusso lungo strato, con provenienza da zone più settentrionali. Considerando, infatti, l'acclività degli acquiferi e della struttura geologica generale regionale, tale zona d'alimentazione dovrebbe essere collocata nell'Alto Milanese, dove affiorano vaste distese di depositi fluvio - glaciali.

Per quanto riguarda i terreni attraversati dalle perforazioni esaminate (ricadenti nel Gruppo Acquifero "A") s'individua perciò, al di sotto di una prima falda libera superficiale, almeno una falda confinata collocate all'interno di sedimenti sabbiosi e/o sabbioso-ghiaiosi, la quale ha generalmente un comportamento artesiano. Tali acquiferi non possono comunque essere equiparati a vere e proprie falde autonome, in quanto è stata verificata la loro reciproca dipendenza idrologica (refer. "Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia"-Regione Lombardia, Eni divisione Agip; 2002).

Per quanto riguarda l'acquifero principale oggetto di emungimento ricadente nel Gruppo Acquifero "A", una rappresentazione dell'andamento delle curve freaticometriche a scala regionale, mette in evidenza un gradiente idraulico regolarmente decrescente da 0,5 a 0,2%, procedendo da Nord verso Sud. In particolare, nell'areale di Chignolo Po il gradiente è compreso tra lo 0,25% - 0,30% (piano generale terrazzato) e l'1,50% (ripiano alluvionale inferiore).

A scala locale la prima falda libera superficiale mostra un asse preferenziale di deflusso orientato NNW-SSE, con un gradiente dello 0,3%. Fa esclusione il settore più settentrionale del territorio, dove, per la presenza del paleoalveo del fiume Lambro Meridionale, il senso di deflusso della prima falda è condizionato dalla debole depressione morfologica in cui scorre attualmente il colatore Nerone (refer. Tav.3).

L'alimentazione dell'orizzonte freatico superficiale avviene, essenzialmente, attraverso il processo di percolazione. A questa forma di alimentazione concorrono attivamente anche le irrigazioni, tanto che le escursioni della falda freatica risultano strettamente collegate ai cicli delle colture agrarie che comportano larghi consumi d'acqua per l'irrigazione.

3.3.3 IMPLICAZIONI IDROGEOLOGICHE E IDROCHIMICHE CONNESSE ALLA PRESENZA DELLA STRUTTURA DEL COLLE DI SAN COLOMBANO

Per quanto riguarda nello specifico l'areale studiato, l'idrografia sotterranea risulta comunque condizionata dalla presenza del Colle di San Colombano che, per la sua conformazione e posizione esercita una notevole influenza sulla circolazione e sul chimismo della falda freatica della zona, come dimostrano le analisi chimico-fisiche eseguite sulle acque.

Da vari campioni raccolti (Ariati E., Cotta Ramusino S., Peloso G.F. - 1988), si può desumere che esiste una stretta correlazione fra le caratteristiche geologiche e quelle idrogeologiche. La struttura sepolta del Colle allungata e orientata in direzione NW-SE ostacola la circolazione della falda che proviene da NNW deviandola in due direzioni, una orientale ed una meridionale; il Colle costituisce inoltre una locale ma importante fonte di alimentazione idrica, infatti crea una serie di flussi secondari sotterranei con andamento radiale legati alla geometria del nucleo di origine marina e delle coltri alluvionali ad esso sovrapposti.

Da studi effettuati è possibile suddividere la zona attorno al Colle di San Colombano in quattro aree distinte, in cui le acque circolanti presentano caratteristiche chimiche diverse.

- A) La prima zona è caratterizzata da acque freatiche provenienti dal sottosuolo della pianura milanese e presenta valori chimici medi.
- B) Nella seconda zona, le acque presenti nei flussi idrici principali e secondari, si mescolano a quelle meteoriche che, drenate dal reticolo del Colle o disperse sotto al piano campagna, scendono ai piedi dell'alto strutturale e si mescolano a quelle presenti nella prima zona.
- C) Le acque che invece s'infiltrano in corrispondenza della zona del Colle, venendo a contatto con gli strati marini del nucleo si arricchiscono maggiormente di sali, principalmente Calcio, Magnesio e bicarbonati. Sempre in quest'area, sembra sia presente una risalita d'acqua profonda, prevalentemente da livelli marini attraverso fratture, che si mescola a quelle d'infiltrazione superficiale. Questo fatto è dimostrato dai risultati delle analisi chimiche che indicano elevate concentrazioni di Sodio e di Cloruri in alcune zone del Colle. Ulteriore conferma è la presenza di acque salso - bromo - iodiche raggiunte dai pozzi artesiani nella località di Miradolo Terme.
- D) L'ultima zona, a Sud del rilievo (in corrispondenza dell'area studiata), risente della vicinanza al fiume Po, dove le coltri alluvionali sono molto potenti. In questo settore si ha una libera circolazione delle acque sotterranee, che permette lo scambio continuo fra le acque di falda e quelle meno mineralizzate del fiume.

Si può quindi fare un quadro generale sul chimismo delle acque di falda precisando che quelle circolanti nelle rocce di origine marina (Calabriano - Tortoniano) presentano una maggior concentrazione di Calcio, Magnesio e bicarbonato, mentre a Sud del rilievo si ritrova un maggior arricchimento di Sodio e Cloruri legati alla più antica serie marina.

Le acque circolanti nei depositi alluvionali presentano una scarsa mineralizzazione, perché mescolate ad altre povere di sali.

Da segnalare la presenza a San Colombano al Lambro, in località Gerette, di sei pozzi di cui cinque forniscono acqua salso - bromo - iodica ed uno di acqua sulfurea con profondità dai 12 ai 16 metri, mentre più note sono le Terme di Miradolo, alimentate da pozzi artesiani con profondità dai 20 ai 25 metri che danno acque salso bromo iodiche.

3.4 CLASSI DI PERMEABILITÀ

In relazione alla varietà litologica superficiale evidenziata dall'elaborazione dei dati raccolti nel corso dell'indagine, al fine di una preliminare caratterizzazione idrogeologica del terreno nell'ambito del territorio comunale di Chignolo Po si possono individuare in via semplificativa cinque ambiti omogenee a diverso grado di permeabilità, riferiti alla tipologia del substrato pedologico (rifer. Tavola n°3 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO"):

AREE A PERMEABILITÀ BASSA O NULLA

Corrispondenti alla seguente sottounità di cui alla Tav.2 "Carta Pedologica":

VA7.1 Meandri abbandonati del fiume Po, situati in posizione depressa rispetto alle aree circostanti; spesso attraversati da canali di ridotte dimensioni e con frequenti evidenze di idromorfia; a substrato limoso - argilloso o limoso sabbioso con frequenti intercalazioni di torba. I suoli senza torba corrispondono a depositi di canale riempito e generalmente sono in posizione leggermente rilevata.

AREE A PERMEABILITÀ MEDIO - BASSA

Corrispondenti alla seguente sottounità di cui alla Tav.2 "Carta Pedologica":

- RI3.1 Fasce colluviali di raccordo con il livello fondamentale, caratterizzate da basse pendenze e da profilo lievemente concavo. Il substrato è limoso;
- VA3.2 Superfici pianeggianti situate nei pressi di Spessa, Pieve Porto Morone e Chignolo Po, relative ad antiche divagazioni del Po, a substrato non calcareo, sabbioso-limoso;
- VA7.2 Meandro abbandonato del Po, situato in posizione depressa rispetto alle aree circostanti; attraversato da canali di ridotte dimensioni e con frequenti evidenze di idromorfia; a substrato limoso - argilloso o sabbioso.

AREE A PERMEABILITÀ MEDIA

Corrispondenti alla seguente sottounità di cui alla Tav.2 "Carta Pedologica":

VA3.3 Superfici pianeggianti o debolmente ondulate, situate nei pressi di Chignolo Po, Badia Pavese e Belgioioso, separate dalle golene aperte del Po dall'argine maestro o da scarpate, costituite da un'alternanza di depositi di barra di centro canale più grossolani e depositi di barra di meandro. Substrato calcareo, sabbioso-limoso.

AREE A PERMEABILITÀ MEDIO - ALTA

Corrispondenti alla seguente sottounità di cui alla Tav.2 "Carta Pedologica":

- LF5.1 Superfici prossime alla scarpata morfologica che delimita la piana a meandri del Po, distribuita tra Linarolo e Lambrinia, con depositi sabbiosi;
- VA3.1 Superfici dei terrazzi del Po da più tempo interessati da alluvioni, a substrato sabbioso, non calcareo, debolmente ondulate e in genere leggermente rilevate rispetto alle superfici circostanti;
- VA8.2 Terrazzi del fiume Lambro Meridionale e del Cavo Nerone situati tra Miradolo Terme e Chignolo Po, a pendenza debole o bassa, a substrato sabbioso;

VA6.2 Superfici collocate lungo il corso del Po, da S. Zenone a Lambrinia, generalmente separate dalle golene aperte o dall'alveo del fiume da una scarpata, a substrato calcareo, sabbioso-limoso, pianeggianti o debolmente ondulate, costituite da una alternanza di depositi di barra di centro canale più grossolani, e depositi di barra di meandro.

AREE A PERMEABILITA' ALTA,

Corrispondenti alle seguenti sottounità di cui alla Tav.2 "Carta Pedologica":

N4 Pietraie o depositi fluviali attivi;

LF2.3 Superfici che rappresentano le aree prossime alle linee di canale dell'antico sistema fluviale, di forma nastroforme e talvolta lievemente concave, a substrato prevalentemente sabbioso o sabbioso-ghiaioso.

4. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE SISMICA NEI PIANI DI GOVERNO DEL TERRITORIO

4.1 PREMESSA

Il terremoto è un fenomeno naturale connesso all'improvviso rilascio di energia, prodotto dalla fratturazione di rocce profonde della crosta terrestre, a seguito di un complesso processo di accumulo di energia direttamente connesso alla deformazione delle stesse rocce.

La fase di accumulo richiede tempi molto lunghi (decine - centinaia di anni) a fronte di tempi molto più ridotti (misurati in secondi per un dato evento) della fase di rilascio dell'energia.

Il fenomeno non è mai costituito da un evento isolato, ma il processo di rilascio di energia avviene attraverso una successione di terremoti (*periodo sismico*), e quindi attraverso una serie di fratture in un determinato intervallo di tempo, che può essere anche molto lungo (mesi o anni).

All'interno del periodo sismico (detto anche *sciame sismico*) è in genere possibile distinguere il terremoto più violento (scossa principale), da altri che lo precedono (*foreshock*) o lo seguono (*aftershock*). Talvolta le repliche possono presentare energie paragonabili alla scossa principale.

La zona sorgente si assimila ad un punto detto *ipocentro*, il corrispondente sulla superficie terrestre è detto *epicentro*. Tuttavia quando si parla di ipocentro di un terremoto non va inteso un punto preciso, come nel caso di un'esplosione sotterranea, ma una superficie di faglia di una certa ampiezza e variamente orientata.

Le rocce attorno alla frattura si deformano elasticamente: le singole particelle si allontanano dalla posizione di equilibrio e vi ritornano per azione delle forze elastiche di richiamo; così oscillando trasmettono la deformazione alle porzioni adiacenti.

Il luogo geometrico dei punti che vengono raggiunti dalla perturbazione nello stesso istante costituisce un fronte d'onda. La velocità di propagazione dipende da caratteri di elasticità del mezzo attraversato, diversi per ciascuno dei tipi di onde, oltre che dalla densità del mezzo stesso.

In estrema sintesi le onde sismiche possono essere così distinte:

- **onde P o primarie:** sono quelle onde che partendo direttamente dall'ipocentro, raggiungono per prime i sensori dei sismografi attraversando gli strati profondi della crosta terrestre. Sono onde di tipo longitudinale e viaggiano comprimendo e dilatando le rocce che attraversano;
- **onde S o secondarie:** raggiungono i sensori dei sismografi dopo un certo intervallo di tempo rispetto alle onde P (la velocità di propagazione è circa 2/3 di quella delle onde P). A differenza delle onde primarie, le onde S sono di tipo trasversale e si muovono con un moto simile all'ondeggiare di una frusta. Dal momento che viaggiano più lentamente rispetto alle onde primarie, confrontando i tempi di arrivo tra le onde P e le onde S è possibile determinare la distanza della stazione sismica dal luogo in cui è avvenuto il terremoto;

- **onde lunghe (o di superficie):** sono onde che si muovono sugli strati superficiali della crosta terrestre, con ampiezza molto variabile. Sono le onde responsabili dei maggiori danni in quanto danno luogo a fenomeni di scuotimento molto irregolari.

La misurazione di un terremoto avveniva nei secoli scorsi in base agli effetti prodotti e, secondo questo approccio, furono definite alcune scale di misurazione macrosimiche, la più famosa delle quali è la *Scala Mercalli*, poi modificata e attualmente impiegata come *Scala M.C.S.* (Mercalli – Cancani – Sieberg).

Le scale macrosismiche misurano *l'intensità* di un terremoto ovvero gli effetti che un terremoto produce sulle costruzioni, sul terreno e sulle persone: il suo valore cambia da luogo a luogo.

Viceversa la *magnitudo* di un terremoto è una grandezza che si rapporta con la quantità di energia trasportata da un'onda sismica e viene calcolata sulla base di misure effettuate sul sismogramma.

L'introduzione del concetto di magnitudo risale al 1935 ad opera di Richter, che in seguito definì la *magnitudo locale (M)*: correlata alla distanza dall'epicentro e all'ampiezza di registrazione (in genere delle onde S o P). In prima approssimazione si usa spesso la *magnitudo durata (Md)* correlata alla durata di registrazione.

Di conseguenza un terremoto è definito da un solo valore di magnitudo, ma da più valori di Intensità a seconda degli effetti locali che produce.

magnitudo Richter	energia (joule)	grado Mercalli
< 3.5	$< 1.6 \times 10^7$	I
3.5	1.6×10^7	II
4.2	7.5×10^8	III
4.5	4×10^9	IV
4.8	2.1×10^{10}	V
5.4	5.7×10^{11}	VI
6.1	2.8×10^{13}	VII
6.5	2.5×10^{14}	VIII
6.9	2.3×10^{15}	IX
7.3	2.1×10^{16}	X
8.1	$> 1.7 \times 10^{18}$	XI
> 8.1	.	XII

Figura 6 - Tabella comparativa Grado Richter – Grado M.C.S.

4.1.1. PERICOLOSITÀ, VULNERABILITÀ E RISCHIO

PERICOLOSITÀ SISMICA

La *PERICOLOSITÀ SISMICA* è la probabilità che si verifichi in un dato luogo o entro una data area ed entro un certo periodo di tempo un terremoto capace di causare dei danni.

In termini schematici si può parlare di:

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE - La pericolosità sismica di base è intesa come la misura dello scuotimento al suolo atteso in un dato sito. La pericolosità di base definisce l'entità massima dei terremoti ipotizzabili per una determinata area in un determinato intervallo di tempo: è indipendente dalla presenza di manufatti e persone ed è correlata alle caratteristiche sismo-genetiche dell'area.

PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE - La pericolosità sismica locale rappresenta la modificazione indotta da particolari condizioni geologiche e/o morfologiche all'intensità con cui le onde sismiche si manifestano in superficie.

Per la determinazione della *PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE* si procede alla determinazione della sequenza temporale degli eventi sismici nel territorio considerato, ottenuta a partire dai dati contenuti in cataloghi storici dei terremoti.

Viceversa per la definizione della *PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL)* vengono considerate le condizioni geologiche e geomorfologiche locali, che possono produrre delle variazioni della risposta sismica e, tra queste, le aree che presentano particolari conformazioni morfologiche (quali creste rocciose, dorsali, scarpate), dove possono verificarsi focalizzazioni dell'energia sismica incidente. Variazioni dell'ampiezza delle vibrazioni e delle frequenze si possono avere anche alla superficie di depositi alluvionali e di falde di detrito, anche con spessori di poche decine di metri, a causa dei fenomeni di riflessione multipla e di interferenza delle onde sismiche entro il deposito stesso, con conseguenti modificazioni rispetto al moto di riferimento.

Altri casi di comportamento sismico anomalo dei terreni sono quelli connessi con le deformazioni permanenti e/o cedimenti dovuti a liquefazione di depositi sabbiosi saturi di acqua o a densificazioni dei terreni granulari sopra la falda, nel caso si abbiano terreni con caratteristiche meccaniche scadenti.

Sono da segnalare i problemi connessi con i fenomeni di instabilità di vario tipo, come quelli di attivazioni o riattivazione di movimenti franosi e crolli di massi da pareti rocciose.

In relazione alla *PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL)*, va definita l'*Amplificazione locale*, ovvero il rapporto tra l'accelerazione di picco in superficie e l'accelerazione di picco del substrato. L'accelerazione di picco in superficie può dunque essere aumentata dalle condizioni morfologiche, geologiche e geotecniche.

L'acquisizione delle conoscenze circa la *PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL)* è demandata a studi di dettaglio ed in particolare agli studi di *microzonazione sismica (MZS)*, che costituiscono la base di ogni politica di difesa dai terremoti, prima e dopo gli eventi sismici. Ne consegue che la prevenzione del rischio sismico trova la sua naturale applicazione nella programmazione territoriale e nella pianificazione urbanistica.

Per quanto concerne lo studio della *PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE*, sono state avviate numerose attività di ricerca, la più importante delle quali ha portato nell'aprile 2004 alla redazione della nuova *Carta della pericolosità sismica del territorio italiano* (Fig.7), unitamente al relativo rapporto tecnico-scientifico (http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html).

Le sempre maggiori conoscenze in materia portano a far ritenere che gli elaborati sin qui prodotti siano da considerare un importante punto di partenza per le scelte tecnico-amministrative (classificazione sismica), senza tuttavia escludere possibili modifiche e aggiornamenti nel tempo.

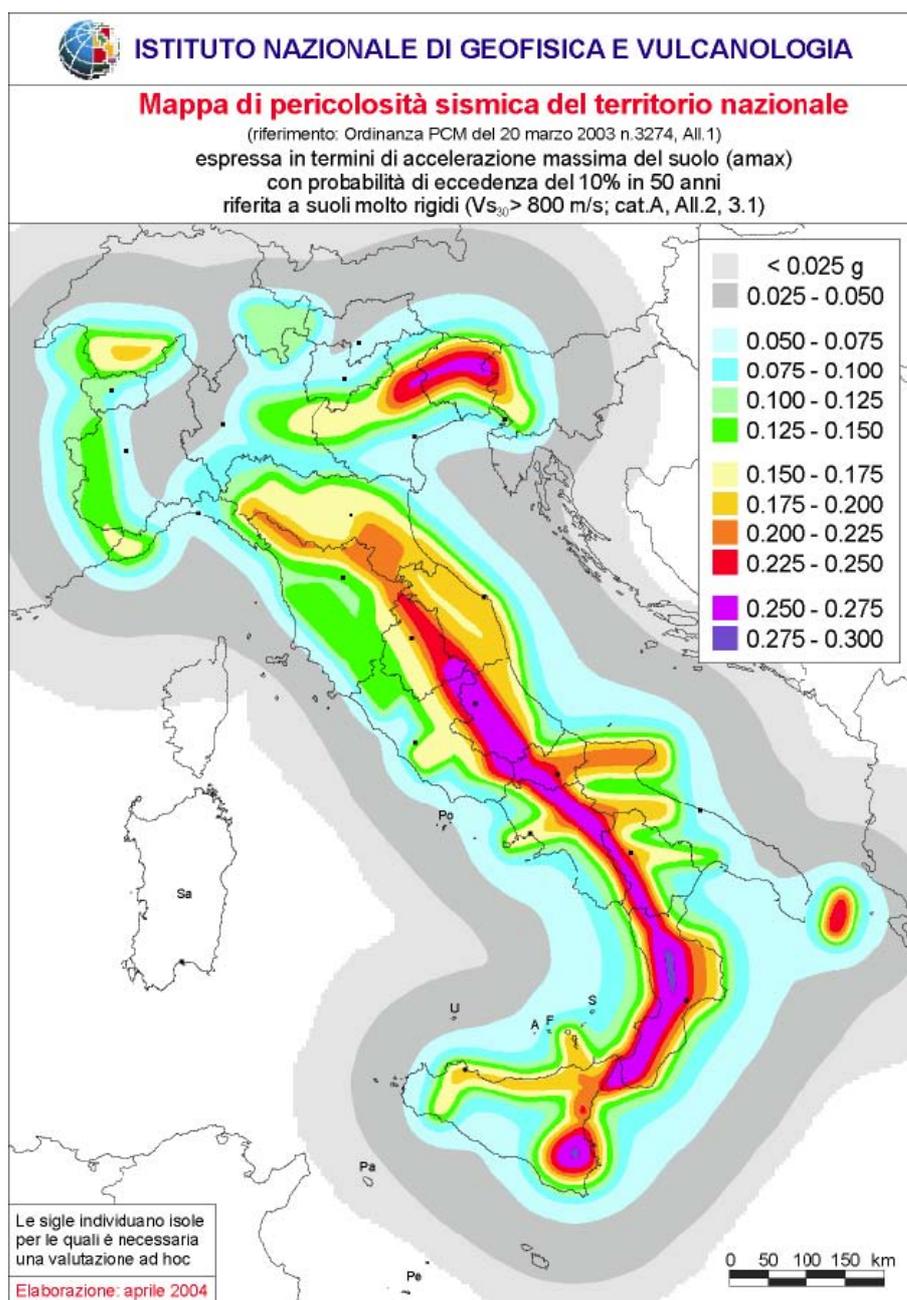


Figura 7 - Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV, aprile 2004)

Nella nuova Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) per suoli molto rigidi ($V_{S30} > 800$ m/sec, cat. A, paragrafo 4.3.1), viene rappresentata l'attesa probabilistica di terremoti (periodo di ritorno $T_r = 475$ anni), caratterizzati da maggiore o minore energia.

Osservando la mappa emerge chiaramente come le aree in cui l'attesa sismica è più significativa corrispondono al settore nord-orientale (Friuli Venezia Giulia e parte del Veneto), l'Appennino settentrionale, l'Appennino centrale e meridionale, l'arco calabro e la Sicilia orientale.

Dall'esame della mappa di dettaglio per la Regione Lombardia (Fig. 8), si può osservare che la Provincia di Pavia è ricompresa in valori di a_{max} mediamente bassi ($0.025 \text{ g} < a_{max} < 0.125 \text{ g}$).

Tali valori di picco sono indotti da attività sismica proveniente dalle vicine aree sismogenetiche nord-appenninica e gardesana.

Va comunque precisato che nel rapporto conclusivo, gli stessi estensori della Mappa suggeriscono comunque di non trascurare la sismicità delle aree rappresentate in grigio, poiché anche in queste zone possono manifestarsi terremoti con intensità significativa ($M = 5$)

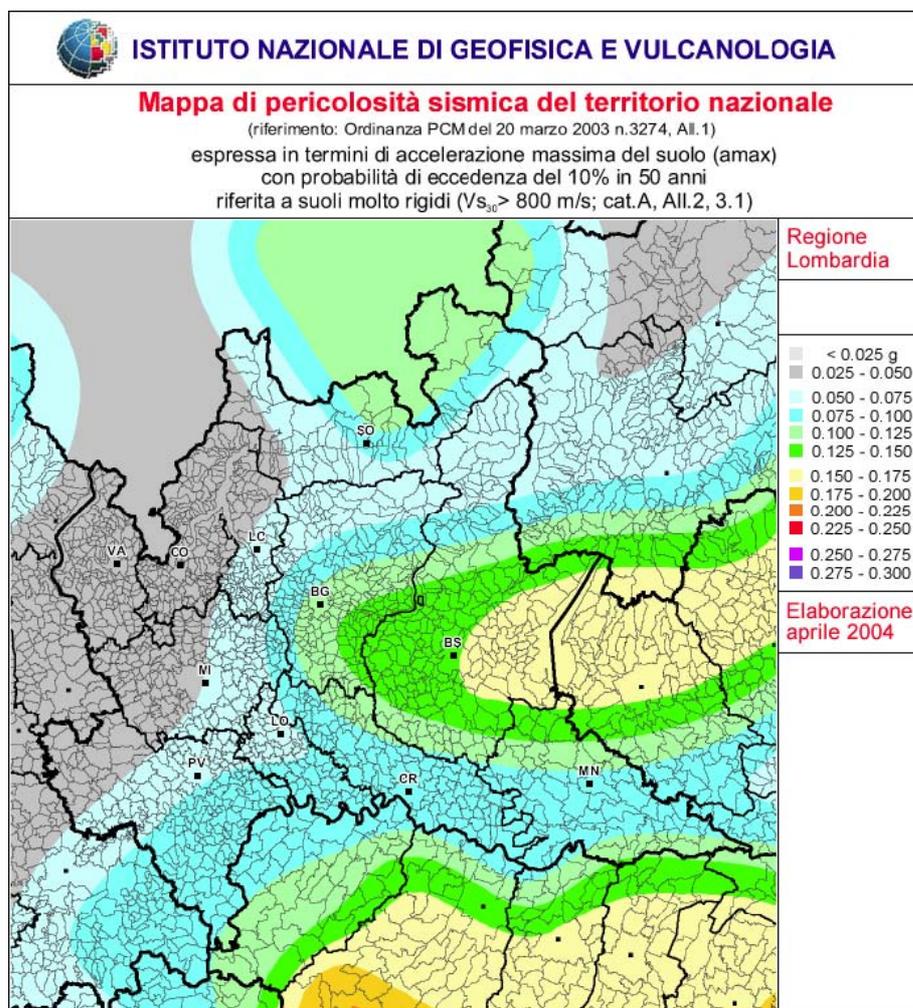


Figura 8 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Dettaglio per la Regione Lombardia (INGV, aprile 2004)

VULNERABILITÀ SISMICA

La *VULNERABILITÀ SISMICA* consiste nella valutazione della propensione di persone, beni o attività a subire danni al verificarsi dell'evento sismico. Essa misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza, dall'altra la capacità residua a svolgere e assicurare le funzioni che il sistema territoriale nel complesso normalmente esplica a regime.

Nell'ottica di una analisi completa della vulnerabilità si pone il problema di individuare non solo i singoli elementi che possono collassare sotto l'impatto del sisma, ma di individuare e quantificare gli effetti che il loro collasso determina sul funzionamento del sistema territoriale.

Le componenti che concorrono alla definizione del concetto di *VULNERABILITÀ* possono essere distinte in:

- *VULNERABILITÀ DIRETTA*: definita in rapporto alla propensione del singolo elemento fisico a subire danni (es: la vulnerabilità di un edificio o di un viadotto)
- *VULNERABILITÀ INDOTTA*: definita in rapporto agli effetti di crisi dell'organizzazione del territorio generati dal collasso / danneggiamento di uno degli elementi fisici (es: la crisi del sistema di trasporto indotta dall'interruzione di una strada)
- *VULNERABILITÀ DIFFERITA*: definita in rapporto agli effetti che si manifestano nella fasi successive all'evento e tali da modificare il comportamento delle popolazioni (es: il disagio della popolazione causa la riduzione occupazionale per il danneggiamento di attività produttive).

Tra i principali elementi fisici della vulnerabilità vanno ricordati:

- danneggiamenti e/o crolli ad edifici residenziali
- danneggiamento e/o crolli ad edifici di pubblico servizio o produttivi
- danneggiamenti al sistema viario e dei trasporti e/o infrastrutture di servizio
- crolli, frane e modifiche all'ambiente naturale.

RISCHIO SISMICO

La seguente definizione e relativi commenti sono tratti da recenti pubblicazioni che il G.N.D.T. (Gruppo Nazionale Difesa Terremoti del C.N.R.) ha pubblicato sull'argomento.

Qualsiasi terremoto sufficientemente forte produce tre tipi di effetti principali: sul suolo, sugli edifici e sulle persone.

Pertanto, dato un evento sismico di caratteristiche prefissate, il *RISCHIO SISMICO* è dipendente dall'estensione e dalla tipologia della zona interessata dall'evento, dal valore dei beni esposti e dal numero di persone coinvolte.

Per un sistema urbanizzato il *RISCHIO SISMICO* (R) può essere descritto simbolicamente dalla relazione:

$$R = Pr \cdot (Pl \cdot Eu \cdot Vs)$$

In cui:

Pr *pericolosità di riferimento*

definisce l'entità massima dei terremoti ipotizzabili per una determinata area in un determinato intervallo di tempo. Questo fattore è indipendente dalla presenza di manufatti o persone, non può essere in alcun modo modificato dall'intervento umano essendo esclusivamente correlato alle caratteristiche sismogenetiche dell'area interessata. Costituisce l'input energetico, in base al quale commisurare gli effetti generabili da un evento sismico.

Pl *pericolosità locale*

rappresenta la modificazione indotta da condizioni geologiche particolari e dalla morfologia del suolo all'intensità con cui le onde sismiche si manifestano in superficie.

Eu *esposizione urbana*

descrive tutto quanto esiste ed insiste su di un determinato territorio, dalla consistenza della popolazione, al complesso del patrimonio edilizio - infrastrutturale e delle attività sociali ed economiche.

Vs *vulnerabilità del sistema urbano*

è riferita alla capacità strutturale che l'intero sistema urbano o parte di esso ha di resistere agli effetti di un terremoto di data intensità. Può essere descritta per mezzo di indicatori sintetici come la tipologia insediativa, o dalla combinazione di parametri quali materiale, struttura, età, numero di piani ecc., al fine di definire zone a vulnerabilità omogenea.

4.2 INFORMAZIONI RELATIVE ALLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO COMUNALE DI CHIGNOLO PO (PV)

4.2.1 DATI STORICI

Per lo studio del fenomeno terremoti, è fondamentale poter disporre di informazioni relativamente al passato, in quanto i terremoti, essendo provocati da cause geologiche, si ripresentano sempre nei medesimi areali.

La ricerca su quanto avvenuto in passato si è avvalsa dei cataloghi predisposti dalla Comunità scientifica ed in particolare della documentazione prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.).

Più in dettaglio sono stati esaminati:

- il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), I.N.G.V., Bologna.
- il Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI04) utilizzate per la compilazione dello stesso catalogo parametrico (CPTI04).

Attraverso l'accesso via web al Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI04), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia per la compilazione del catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI04) è possibile disporre delle osservazioni macrosismiche di tutto il territorio italiano attraverso due modalità: *consultazione per terremoto di riferimento* ovvero *consultazione per località*.

La consultazione per località permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04 (5325 località in totale). Al click sulla località prescelta comparirà nel frame l'elenco dei terremoti in cui essa è citata.

La tabella della storia sismica è ordinabile per intensità al sito (I_s) ovvero per anno di accadimento del fenomeno. La stessa tabella è salvabile in formato MS Excel.

E' inoltre disponibile il diagramma della storia sismica del sito, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5.

Anche i diagrammi sono consultabili sia in modalità statica, tramite semplici immagini in formato GIF, sia in modalità interattiva per chi ha installato il plug-in Adobe SVG Viewer.

In modalità interattiva vengono visualizzati i dati relativi ai terremoti al passaggio del puntatore e cliccando sui pallini verrà aperta una finestra in pop-up con la tabella delle osservazioni e relativa mappa. I diagrammi delle storie sismiche sono salvabili in formato PNG ad alta risoluzione cliccando sull'apposito bottone.

Entrambi gli strumenti sono stati impiegati da appositi gruppi di lavoro per la redazione di studi fondamentali, quali la "*Carta delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani*" (Fig. 9) e la "*Mappa di pericolosità sismica*" di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche.

Per quanto riguarda la Carta delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, si tratta di un elaborato che, per quanto sia stato prodotto alla metà degli anni '90, rappresenta a tutt'oggi un utile strumento di riferimento per l'approccio al rischio sismico.

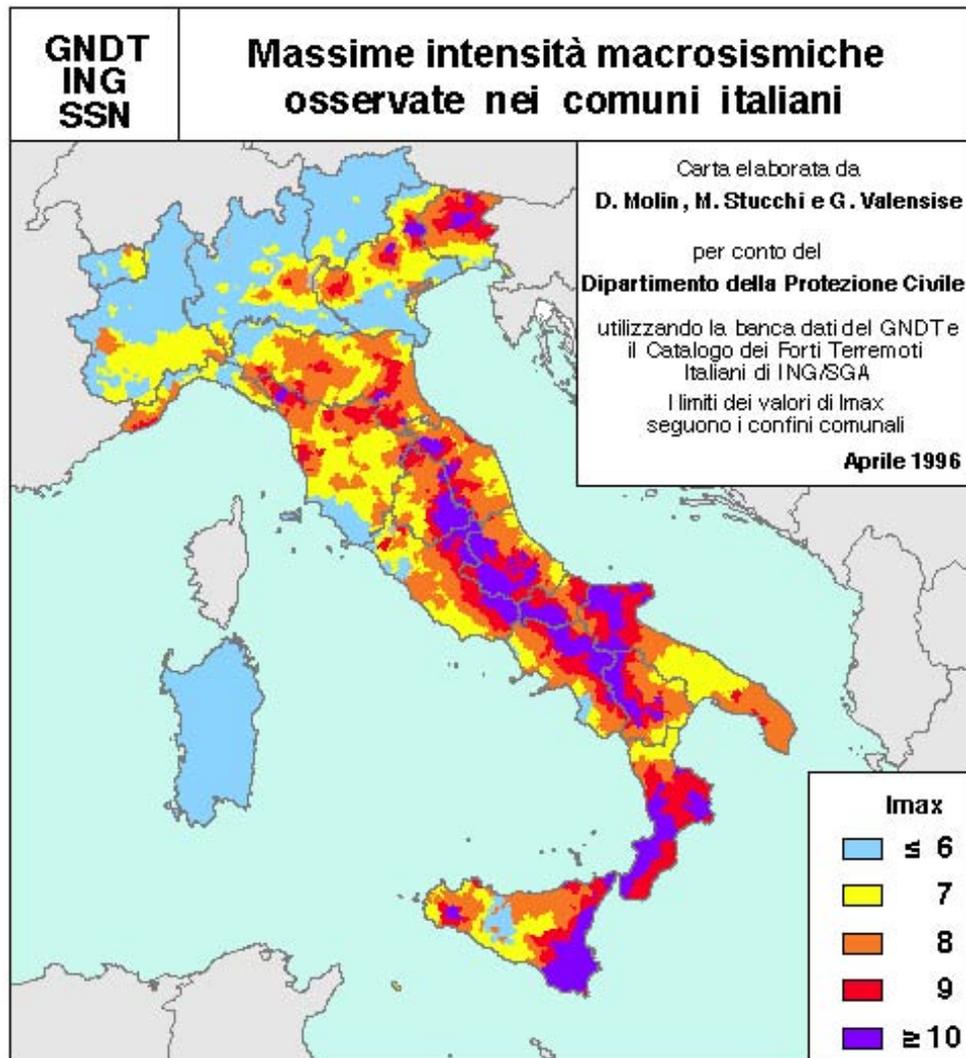


Figura 9 - Massime intensità Macrosismiche osservate in Italia (Fonte I.N.G.V.)

In Figura 10 è riportata la situazione in dettaglio per quanto riguarda le massime intensità macrosismiche osservate in Lombardia. Trattandosi di un elaborato che utilizza i limiti comunali quale cella unitaria, l'aspetto a "macchie di leopardo" che ne deriva, necessita di un'interpretazione elastica alla luce delle conoscenze geologico - morfologiche e tettonico - strutturali che sono alla base del fenomeno sismico.

In ogni caso appare evidente che vengono confermate aree più significative sotto il profilo sismico, quelle del bresciano e dell'oltrepò pavese, mentre vanno approfondite le motivazioni dei risentimenti nel milanese ($I_{max} = 7$).

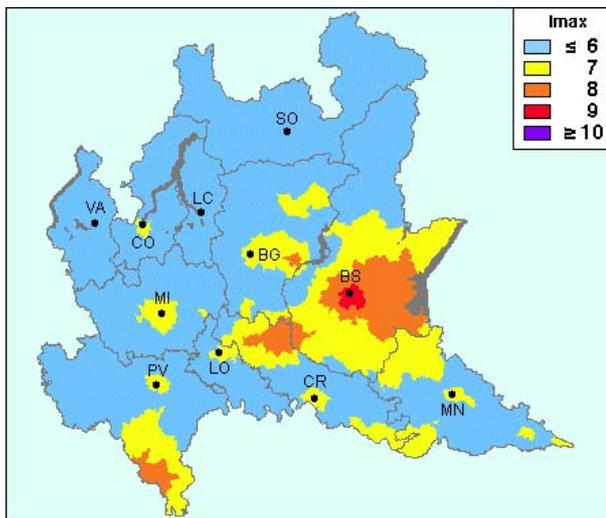


Figura 10
 Massime intensità macrosismiche registrate in Lombardia (fonte INGV)

4.2.2 DATABASE MACROSISMICO ITALIANO 2004 (DBMI04) - ESTRAZIONE DEI DATI

Dalla consultazione del Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI04) per località (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/consultazione/localita.php?visualizzazione=bitmap>), sono emerse tre osservazioni relative al comune di Chignolo Po.

La storia sismica dell'areale di Chignolo Po è segnalata a partire dal 1885, con 3 osservazioni accertate (Fig. 11), tra cui l'evento massimo rappresentato dal terremoto del 7 giugno 1891, con area epicentrale nella Valle D'Illasi. Tra gli ultimi eventi sismici va citato il terremoto molto più recente del 9 novembre 1983, con area epicentrale nel parmense. A questo potrebbe essere ragionevolmente aggiunto anche il recente sisma del 24.11.2004 che ha avuto come epicentro la zona di Salò, sulla sponda bresciana del Lago di Garda. Tutti gli eventi documentati negli ultimi 1000 anni non hanno mai raggiunto nel pavese la soglia dell'8° grado della scala MCS, anche se nelle rispettive zone epicentrali questi effetti sono stati abbondantemente superati.

Effetti	In occasione del terremoto:									
	Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw
4	1885	02	26	20	48			SCANDIANO	6	5.22
4	1983	11	09	16	29	52		Parmense	6-7	5.10
F	1891	06	07	01	06	14		Valle d'Illasi	8-9	5.71

Fig. 11 - Elenco dei terremoti in cui risulta citata la località di Chignolo Po (PV)

Is Intensità al sito (MCS) AE Denominazione dell'area dei maggiori effetti
 Io Intensità epicentrale (MCS) Mw Magnitudo momento

Per quanto riguarda la storia sismica di Chignolo Po, va infine sottolineato come dalla consultazione del Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI04), non risultano presenti osservazioni riferite a terremoti con intensità al sito (Is) uguale o superiore a 4-5.

A completamento dell'analisi storica, sono stati estratti 44 terremoti dal Catalogo CPTI04, che hanno avuto intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5 (cfr. Tabella sottostante).

DATA						AE	Ix	Io	Mw	Is
An	Me	Gi	Ora	Mi	Se	Denominazione dell'area dei maggiori effetti	Intensità massima (MCS)	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo momento	Intensità al sito (MCS)
1117	1	3	13			Veronese	9	9-10	6,49	D
1541	10	22	18			VALLE SCRIVIA	8	8	5,48	4
1695	2	25	5	30		Asolano	10	9-10	6,61	4-5
1759	5	26	1	30		PAVIA	6	6	4,83	6
1802	5	12	9	30		Valle dell'Oglio	8-9	8	5,67	6
1810	12	25	0	45		NOVELLARA	7	7	5,28	4
1826	6	24	12	15		SALO'	5-6	5-6	4,74	2-3
1828	10	9	2	20		Valle dello Staffora	8	7-8	5,67	6
1832	3	13	3	30		Reggiano	7-8	7-8	5,59	F
1854	12	29	1	45		Liguria occidentale	7-8	7-8	5,77	3-4
1875	3	17	23	51		Romagna sud-orient.	8	8	5,74	2
1885	2	26	20	48		SCANDIANO	6	6	5,22	3
1887	2	23	5	21	50	Liguria occidentale	10	9	6,29	4-5
1891	6	7	1	6	14	Valle d'Illasi	9	8-9	5,71	4
1892	1	5				GARDA OCC.	7-8	6-7	4,96	4
1894	11	27				FRANCIACORTA	6-7	6-7	4,95	2-3
1895	3	23				COMACCHIO	6-7	6	4,83	RS
1896	10	16				ALBENGA	6	6	4,90	RS
1898	1	16	12	10	5	Romagna settent.	7	6-7	5,03	NF
1898	3	4				CALESTANO	7	6-7	5,07	3
1901	10	30	14	49	58	Salò'	8	8	5,67	5
1902	6	27	16	48		CASENTINO	6	6	4,83	RS
1905	11	26				IRPINIA	7-8	7	5,32	RS
1907	4	25	4	52		BOVOLONE	6	6	4,94	RS
1908	7	10	2	13	35	Carnia	7-8	7-8	5,34	NF
1909	1	13	0	45		BASSA PADANA	6-7	6-7	5,53	4
1909	8	25	0	22		MURLO	7-8	7-8	5,40	RS
1911	9	13	22	29		CHIANTI	7-8	7	5,14	RS
1913	12	7	1	28		NOVI LIGURE	5	5	4,72	5
1914	10	27	9	22		GARFAGNANA	7	7	5,79	4
1914	10	26	3	45		TAVERNETTE	7	7	5,36	F
1915	1	13	6	52		AVEZZANO	11	11	6,99	NF
1920	9	7	5	55	40	Garfagnana	10	9-10	6,48	5
1945	6	29	15	37	13	Valle dello Staffora	7-8	7-8	5,15	4-5
1945	12	15	5	27		VARZI	6	5-6	4,78	2-3
1951	5	15	22	54		LODIGIANO	6	6-7	5,24	6
1960	3	23	23	8	49	Vallese	6-7	6-7	5,36	3
1967	12	9	3	9		ADRIATICO MER.	5	6	4,83	RS
1971	7	15	1	33	23	Parmense	8	7-8	5,61	3
1972	10	25	21	56		PASSO CISA	5	5	4,95	4
1976	5	6	20			FRIULI	9-10	9-10	6,43	3-4
1976	9	15	9	21	18	Friuli	8-9	8-9	5,92	4
1983	11	9	16	29	52	Parmense	7	6-7	5,10	4
1987	5	2	20	43	53	REGGIANO	6	6	5,05	3-4

Tabella 3 - Osservazioni sismiche a Pavia

Dall'esame della tabella si osserva che gli epicentri dei terremoti selezionati ricadono in 14 casi nella zona sismogenetica ZS911 ("arco di Pavia" e strutture tettoniche connesse).

L'accenno alle zone sismogenetiche, ricorda la stretta relazione che intercorre tra i cataloghi parametrici sismici e le varie zone del territorio nazionale, distinguibili tra loro perché all'interno di ciascuna è individuabile un modello sismotettonico omogeneo.

La più recente zonazione del territorio nazionale, denominata ZS9, è stata presentata nell'appendice 2 al Rapporto conclusivo del Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica, di cui all'Ordinanza PCM 20.03.2003, n°3274.

Si tratta di un'evoluzione della precedente zonazione denominata ZS4 (1996) e pur confermandone il quadro cinematico generale, ha introdotto importanti modifiche, rese possibili dalle conoscenze più recenti sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche.

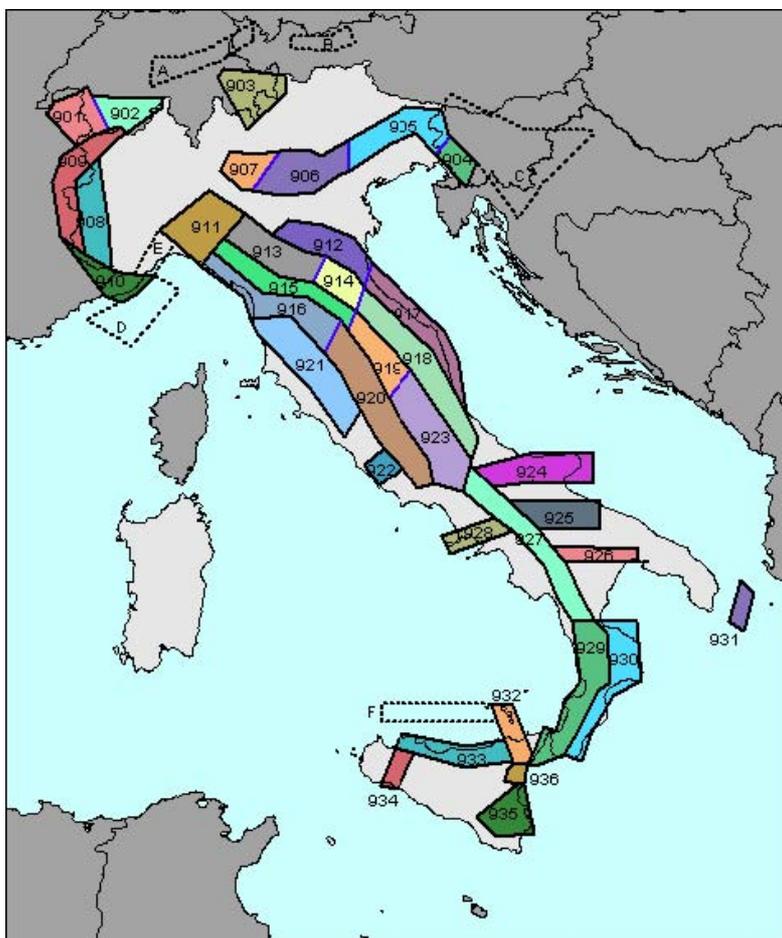


Figura 12

Zonazione sismogenetica ZS9 (da Rapporto conclusivo del Gruppo di lavoro per la redazione della Mappa di pericolosità sismica – INGV, aprile 2004)

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Database Macrosismico Italiano 2004 (DBMI04)

Il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/> Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38. Stucchi et alii. (2007).

4.3 QUADRO NORMATIVO NAZIONALE E REGIONALE

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*", pubblicata sulla G.U. n°105 dell'8 maggio 2003 Supplemento ordinario n°72, sono state individuate in prima applicazione le zone sismiche sul territorio nazionale, e fornita le normative tecnica da adottare per le costruzioni nelle stesse zone sismiche.

La Regione Lombardia, con D.G.R. n°14964 del 7 novembre 2003, ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata Ordinanza 3274/03.

L'Ordinanza n°3274, in regime transitorio più volte prorogato fino al 23.10.2005, è stata ripresa nel D.M. 14 settembre 2005 "*Norme tecniche per le costruzioni*", pubblicato sulla G.U. n°222 del 23 settembre 2005, Supplemento ordinario n°159 e successivamente nel D.M. 14 gennaio 2008 - "*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*", pubblicato sulla G.U. n°29 del 4 febbraio 2008 – Supplemento Ordinario n°30.

A far tempo da tale data è confermata quindi la nuova classificazione sismica del territorio nazionale, così come deliberato dalle singole regioni, e le relative normative, con regime transitorio di 18 mesi a partire dal 23.10.2005 – inizialmente prorogato al 31.12.2007 - (possibilità cioè di applicare la nuova normativa o in alternativa quella previgente individuata dal D.M. 16.01.1996).

Con la pubblicazione sulla G.U. n°302 del 31 dicembre 2007 del D.L. n°248/2007, recante "*Proroga di termini previsti da disposizioni legislative e disposizioni urgenti in materia finanziaria*", veniva ulteriormente prorogato il regime transitorio per l'operatività delle norme tecniche per le costruzioni e la loro conseguente applicazione, di cui al D.M. 14.09.2005 "*Norme tecniche per le costruzioni*", dalla scadenza già prorogata al 31 dicembre 2007 sino al 30 giugno 2009.

A partire dal 1 Luglio 2009 l'unica normativa tecnica di riferimento per le costruzioni è il Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14/01/08, in seguito alla pubblicazione Sulla Gazzetta Ufficiale n°147 del 27/6/2009 - Suppl. Ordinario n°99 della legge di conversione 24 giugno 2009, n°77 «Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile» che, fra le altre, contiene la disposizione che fissa al 1° luglio 2009 l'inizio della vigenza esclusiva del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" per tutte le tipologie di opera.

La nuova classificazione sismica è articolata in 4 zone (rifer. Tabella 4), le prime tre corrispondono, dal punto di vista degli adempimenti previsti dalla Legge 64/74 e s.m. e i., alle zone di sismicità alta (zona 1 ovvero S=12), media (zona 2 ovvero S=9) e bassa (zona 3 ovvero S=6); nella zona 4 ,di nuova introduzione, è data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica.

La Regione Lombardia, con la citata D.G.R. n°14964 del 7 novembre 2003, ha imposto in *Zona Sismica 4*, all'interno della quale risulta ricadere anche il *Comune di Chignolo Po*, l'obbligo della progettazione antisismica per le sole costruzioni "*strategiche e rilevanti*", così come rilevate dal Decreto n°19904 del 21.11.2003.

In sintesi, si è quindi passati dalla precedente classificazione sismica di cui al D.M. 5 marzo 1984, che individuava 41 comuni distribuiti tra le province di Bergamo, Brescia, Cremona e Pavia, tutti in zona 2, alla attuale classificazione sismica, con:

- 41 comuni in zona 2 distribuiti tra le province di Bergamo, Brescia, Cremona, e Pavia,
- 238 comuni in zona 3 distribuiti tra le province di Bergamo, Brescia, Mantova e Pavia
- i restanti 1267 comuni della regione in zona 4

La nuova normativa introduce inoltre, per la definizione delle azioni sismiche di progetto, cinque categorie principali di sottosuolo, individuate dai valori della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo (V_{S30}), mettendo così in evidenza l'importanza nella progettazione, oltre che dei normali parametri geotecnici del terreno di fondazione, anche di quelli elastici, ed enfatizzando l'importanza della velocità delle onde di taglio (V_S) che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei terreni in risposta sismica.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Bergamo	=	4	85	155
Brescia	=	32	116	58
Como	=	=	=	163
Cremona	=	4	=	111
Lecco	=	=	=	90
Lodi	=	=	=	61
Mantova	=	=	21	49
Milano	=	=	=	188
Pavia	=	1	16	173
Sondrio	=	=	=	78
Varese	=	=	=	141
TOTALE	=	41	238	1267

Tabella 4

Classificazione del territorio regionale a seguito dell'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03

Per quanto concerne la Provincia di Pavia, il raffronto tra il precedente quadro normativo e l'attuale, evidenzia quanto riportato in Tabella 5A e 5B.

Secondo la nuova classificazione i 190 comuni della Provincia di Pavia risultano così distribuiti: nessun comune ricade nella zona 1, un solo comune ricade nella zona 2, 16 comuni risultano compresi nella zona 3 ed i restanti 173 comuni sono attribuiti alla zona 4.

La vecchia classificazione (D.M. 5 Marzo 1984) comportava invece che nessun comune ricadesse nelle zone a grado di sismicità alto e basso (caratterizzate rispettivamente da $S = 12$ e $S = 6$), mentre un solo comune ricadeva nella zona a grado di sismicità medio ($S = 9$).

Rischio sismico: classificazione del territorio in Provincia di Pavia				
Vecchia Classificazione (D.M. 5 marzo 1984)	Grado di sismicità alto S = 12	Grado di sismicità medio S = 9	Grado di sismicità basso S = 6	
Comuni interessati	0	1	0	
Classificazione a seguito dell'entrata in vigore dell' O.P.C.M. 3274/03	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Comuni interessati	0	1	16	173

Tabella 5A

Provincia di Pavia - Raffronto tra il precedente quadro normativo e l'attuale

Rischio sismico: classificazione del territorio	Classificazione Precedente (D.M. 5 marzo 1984)	Classificazione a seguito dell'entrata in vigore dell' O.P.C.M. 3274/03
Comuni della Provincia di Pavia ricadenti in zona 2 e zona 3 a seguito dell'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03	Categoria	Zona
1. Bagnaria	N.C.	3
2. Borgoratto Mormorolo	N.C.	3
3. Brallo di Pregola	N.C.	3
4. Cecima	N.C.	3
5. Fortunago	N.C.	3
6. Godiasco	N.C.	3
7. Menconico	N.C.	3
8. Montesegeale	N.C.	3
9. Ponte Nizza	N.C.	3
10. Rocca Susella	N.C.	3
11. Romagnese	N.C.	3
12. Ruino	N.C.	3
13. Santa Margherita di Staffora	N.C.	3
14. Val di Nizza	N.C.	3
15. Valverde	N.C.	3
16. Varzi	2	2
17. Zavattarello	N.C.	3

Tabella 5B

*Comuni della Provincia di Pavia ricadenti in zona 2 e zona 3
 a seguito dell'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03*

4.3.1 AZIONE SISMICA - CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

La normativa prevede l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del sottosuolo ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, mediante l'individuazione di cinque categorie di sottosuolo di riferimento (A - B - C - D - E), più altri due speciali (S1 e S2).

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

- A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 metri.
- B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $CU_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < CU_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- D Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $CU_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
- E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 metri, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (*), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{S30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità.

(*) Per *volume significativo* di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) N_{SPT30} nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente CU_{30} nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori due categorie S1 ed S2 di seguito indicati, è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

- S1 Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{S30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < CU_{30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 metri di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 metri di torba o di argille altamente organiche.
- S2 Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Il parametro V_{S30} utilizzato per la classificazione del terreno corrisponde alla velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 metri di profondità dal piano di posa delle fondazioni e viene calcolato con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (1)$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

In assenza d'informazioni sulle velocità delle onde di taglio, il sito sarà classificato sulla base del valore della resistenza penetrometrica N_{SPT} ovvero della coesione non drenata C_u .

4.3.2 AZIONE SISMICA - ZONE SISMICHE

Ai fini dell'applicazione di questa normativa, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (a_g).

I valori di (a_g), espressi come frazione dell'accelerazione di gravità (g), da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riportati nella tabella seguente, unitamente ai valori di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g).

La procedura messa a punto fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

ZONA	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA SU SUOLO DI CATEGORIA A (a_g)	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (NORME TECNICHE) (a_g/g)	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g/g)
1	0,35g	0,35	> 0,25
2	0,25g	0,25	0,15-0,25
3	0,15g	0,15	0,05-0,15
4	0,05g	0,05	<0,05

Si nota come per il Comune di Chignolo Po, incluso nella zona sismica 4, l'accelerazione orizzontale di picco con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (a_g/g) è inferiore a 0,05 g e l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g) è fissato pari a 0,05.

Per ogni categoria di suolo di fondazione l'O.P.C.M. n°3274 del 20 marzo 2003 indica un fattore S (che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione), variabile tra 1 e 1,35, moltiplicatore dell'accelerazione a_g relativa alla zona indagata.

Per le diverse categorie di terreno, il livello di sismicità di una specifica area viene caratterizzato attraverso il valore dell'accelerazione massima ($a_g S$) e vengono anche definiti i periodi TB – TC – TD che individuano la forma della componente orizzontale e della componente verticale dell'azione sismica.

Categoria suolo	S	TB	TC	TD
A	1,0	0,15	0.40	2.0
B, C, E	1,25	0.15	0.50	2.0
D	1,35	0.20	0.80	2.0

Valori dei parametri dello spettro di risposta elastica della componente orizzontale

Categoria suolo	S	TB	TC	TD
A, B, C, D, E	1,0	0,05	0.15	1.0

Valori dei parametri dello spettro di risposta elastica della componente verticale

In definitiva, in un determinato sito il moto sismico è definito da uno spettro di risposta elastico la cui espressione dipende, tramite opportuni coefficienti numerici, dalle caratteristiche del terreno (fattore S e periodi TB – TC - TD), dal periodo di vibrazione proprio della struttura (T_0), dall'accelerazione al suolo (a_g) e del fattore η che tiene conto dello smorzamento viscoso della struttura.

4.4 METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI SISMICI DI SITO

In adempimento a quanto previsto delle predette normative nazionali, la Regione Lombardia con D.G.R. n°8.1566.2005 del 22.12.2005 "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, n°12", ha individuato una apposita metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, fondata sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate su alcune aree campione regionali, i cui risultati sono contenuti in uno "Studio - Pilota" redatto dal Politecnico di Milano - Dip. di Ingegneria Strutturale, reso disponibile sul SIT regionale.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento, di seguito sintetizzati (il 1° e il 2° relativi alla fase pianificatoria; il 3° alla fase progettuale):

1° livello Riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la classificazione e la perimetrazione delle aree suscettibili di amplificazione sismica (*aree a Pericolosità Sismica Locale - PSL*).

2° livello Caratterizzazione semi - quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree individuate dalla carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di *Fattore di Amplificazione (Fa)*. Il confronto con il valore soglia fornito dalla Regione Lombardia per ciascun Comune (vedi tabella seguente) consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (F_a calcolato, superiore a F_a di soglia). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, utilizzare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore (ad es. i comuni in zona 3 utilizzeranno i valori previsti per la zona 2).

Comune di CHIGNOLO PO Valori di soglia del Fattore di Amplificazione (F_a)	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s	1,40	1,90	2,20	2,00
VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s	1,70	2,40	4,20	3,10

Per il Comune di Chignolo Po, ricadente in zona sismica 4, l'applicazione di tale livello è obbligatoria, all'interno delle aree PSL Z3 e Z4, solo nel caso di costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi del d.d.u.o. n°19904/2003; ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e per le zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche molto diverse (zone Z1a, Z1b, Z1c, Z2 e Z5 della Tabella 6) non è prevista l'applicazione degli studi di 2° livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3° livello, come specificato al punto successivo.

3° livello Definizione quantitativa degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Tale livello si applica in fase progettuale, obbligatoriamente, nei seguenti casi:

- nelle zone sismiche 2 e 3, quando l'indagine di 2° livello (zone Z3 e Z4) indica un fattore di amplificazione F_a maggiore del valore soglia comunale e in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità (zone Z1), cedimenti e/o liquefazione (zone Z2) e zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche molto diverse (zone Z5).
- nelle zone sismiche 4, quando l'indagine di 2° livello indica un fattore di amplificazione F_a maggiore del valore soglia comunale e, limitatamente agli edifici strategici e rilevanti, in presenza di aree perimetrate Z1, Z2 e Z5

Il 3° livello è obbligatorio anche nel caso in cui si stiano progettando costruzioni il cui uso prevede 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.

Gli approfondimenti di 2° e 3° livello non devono essere eseguiti in quelle aree che, per situazioni geologiche, geomorfologiche e ambientali o perché sottoposte a vincolo da particolari normative, siano considerate inedificabili, fermo restando tutti gli obblighi derivanti dall'applicazione di altra normativa specifica. Nella Tabella 6 vengono sintetizzati gli adempimenti e le tempistica in funzione della zona sismica di appartenenza.

Livelli di approfondimento e fasi di applicazione				
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria Obbligatorio per situazioni specifiche		3° livello fase progettuale Obbligatorio per situazioni specifiche
Zona sismica 2-3	Obbligatorio in generale	Obbligatorio:	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già dichiarate inedificabili	Nelle aree indagate con il 2° livello, quando F_a calcolato è maggiore del valore soglia comunale; Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5.
Zona sismica 4	Obbligatorio in generale	Obbligatorio:	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	Nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato è maggiore del valore soglia comunale; Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti

Tabella 6

Livello di approfondimento dello studio in relazione alla zona sismica di appartenenza

4.5 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE DEL TERRITORIO COMUNALE DI CHIGNOLO PO SECONDO LE INDICAZIONI DELLE D.G.R. 22 DICEMBRE 2005, N°8/1566

Per il Comune di Chignolo Po, ricadente in zona sismica 4 (quella a minor grado di sismicità, definita come "bassa sismicità"), la D.G.R. 22 dicembre 2005, n°8/1566 prevede obbligatoriamente, in fase pianificatoria, l'applicazione del primo livello di approfondimento. Esso consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti. Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di:

- osservazioni geologiche
- raccolta dei dati disponibili (cartografia topografica di dettaglio, cartografia geologica e dei dissesti)
- risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito del 1° livello di approfondimento non sono necessarie nuove indagini geotecniche.

Per quanto riguarda il Comune di Chignolo Po, la caratterizzazione sismica del territorio comunale è stata completata attraverso la realizzazione di n°2 stendimenti sismici con modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (utilizzo della metodologia MASW), eseguiti in corrispondenza di n°2 siti contraddistinti dalla presenza di costruzioni strategiche e/o rilevanti (*) (rifer. RELAZIONE SULLE INDAGINI SISMICHE e Tavola 4 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI").

Le indagini sono state redatte conformemente ai contenuti dell'O.P.C.M. n°3274/2003 e al D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni". Attraverso la realizzazione delle suddette indagini si è giunti alla classificazione della categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione secondo la normativa sismica ed al calcolo del parametro V_{S30} .

(*) così come individuate dal d.d.u.o 21 novembre 2003, n°19904 "Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art.2, commi 3 e 4 dell'o.p.c.m. n°3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della D.G.R. n°14964 del 7 novembre 2003"; ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici. Tutte le costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi o attività pericolose per l'ambiente, le reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, le costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti o con funzioni sociali essenziali.

Per quanto riguarda il territorio comunale di Chignolo Po, lo studio relativo al primo livello di approfondimento è consistito in:

- analisi dei dati esistenti, già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento (Tavola n°1 "CARTA GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICA"; Tavola n°5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO")

- redazione della Tavola n°4 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI", elaborata a partire dalle informazioni di carattere litologico e geotecnico utilizzate per la redazione dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale e la definizione lineare delle diverse situazioni tipo (vedi Tabella 7) in grado di determinare gli effetti sismici locali. La tabella è conforme nelle sigle e nella numerazione a quella individuata dalla normativa di settore; sono state pertanto derubricate le zone non riscontrate nel territorio in studio

Per quanto riguarda le modalità di restituzione della Tavola n°4 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI", si sono considerate le indicazioni fornite dall'*Allegato 5* della D.G.R. 22 dicembre 2005, N°8/1566 con relative successivi integrazioni (Integrazioni all'*Allegato 5*, Convenzione tra Regione Lombardia e Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Febbraio 2006).

<i>Sigla</i>	COMUNE DI CHIGNOLO PO SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI SISMICI LOCALI
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti - Riporti compatti (rilevati ferroviari). - Riporti eterogenei non compattati o poco compattati (manufatti arginali del fiume Po e del fiume Lambro)	Cedimenti diffusi
Z2*	Zone con terreni granulari fini e falda superficiale, indicativamente nei primi 5 metri dal piano campagna (depositi inferiori del fiume Lambro; alluvioni attuali del fiume Po)	Possibili fenomeni di liquefazione
Z3a	Zona di ciglio con altezza $h > 10$ metri (orli di terrazzo fluviale, orli di scarpate di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z4a	Zone con prevalenza di depositi alluvionali granulari (piano generale terrazzato" (P.G.T.) o "livello fondamentale della pianura a nord del fiume Po)	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4a*	Zone con depositi alluvionali granulari e/o coesivi con disposizione casuale (alluvioni attuali comprese nella fascia di meandreggiamento recente del fiume Po)	

Tabella 7

Comune di Chignolo Po

Scenari di pericolosità sismica locale ed effetti sismici locali attesi

Nella fase di redazione della CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) sono stati rappresentati con:

- elementi lineari lo scenario Z3a (evidenziando il ciglio della scarpata);
- elementi areali gli scenari Z2, Z2*, Z4a e Z4a*.

In particolare, per quanto riguarda le superfici caratterizzate dalla presenza di materiale di riporto, esse sono state attribuite allo scenario Z2, considerando in questo modo il riporto in generale come materiale poco addensato; questa attribuzione, sebbene non sempre verificabile, è sicuramente cautelativa rispetto alla risposta sismica effettiva.

Gli scenari Z2 e Z2* nell'analisi di primo livello sono evidenziati sulla base del fenomeno prioritario che li caratterizza (cedimenti diffusi e possibili fenomeni di liquefazione). Le prescrizioni da assegnare a questi scenari in fase di pianificazione riguardano, oltre al fenomeno prioritario, anche i fenomeni di possibile amplificazione sismica che dovranno essere valutati in fase di progettazione sulla base degli interventi adottati per risolvere le problematiche prioritarie.

Gli scenari PSL individuati con l'analisi di primo livello sono stati riportati con appositi retini trasparenti nella Tavola n°8 "CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO ESTESA ALL'INTERO TERRITORIO COMUNALE", assegnando a ciascuno le prescrizioni opportune, con specifico riferimento a quanto riportato al paragrafo 2.6 "Normativa sismica del territorio comunale di Chignolo Po" delle Norme geologiche di Piano.

Tale sovrapposizione non comporta comunque un automatico cambio di classe di fattibilità ma fornisce indicazioni su dove poter utilizzare, in fase di progettazione, lo spettro di risposta elastico previsto dal D.M. 14 gennaio 2008, oppure dove sia necessario realizzare preventivamente gli studi di 3° livello, fermo restando la possibilità di utilizzare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore. La CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) permette anche l'assegnazione diretta della classe di pericolosità sismica (da H1 a H4) e dei successivi livelli di approfondimento necessari (vedi Tabella 8):

<i>Sigla</i>	COMUNE DI CHIGNOLO PO SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti - Riporti compatti (rilevati ferroviari). - Riporti eterogenei non compattati o poco compattati (manufatti arginali del fiume Po e del fiume Lambro)	H2 – livello di approfondimento 3°
Z2*	Zone con terreni granulari fini e falda superficiale, indicativamente nei primi 5 metri dal piano campagna (depositi inferiori del fiume Lambro; alluvioni attuali del fiume Po)	
Z3a	Zona di ciglio con altezza $h > 10$ metri (orli di terrazzo fluviale, orli di scarpate di natura antropica)	H2 – livello di approfondimento 2°
Z4a	Zone con prevalenza di depositi alluvionali granulari (piano generale terrazzato" (P.G.T.) o "livello fondamentale della pianura a nord del fiume Po)	H2 – livello di approfondimento 2°
Z4a*	Zone con depositi alluvionali granulari e/o coesivi con disposizione casuale (alluvioni attuali comprese nella fascia di meandreggiamento recente del fiume Po)	

Tabella 8

Comune di Chignolo Po

Classi di pericolosità sismica per ogni scenario di pericolosità sismica locale

La CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) rappresenta perciò il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento:

il 2° livello di approfondimento permetterà:

- la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi
- l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3a, Z4a e Z4a*), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

il 3° livello di approfondimento permetterà:

- la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per le sole aree in cui la normativa nazionale risulta inadeguata,
- la quantificazione degli effetti dei cedimenti (zone Z2) e dei possibili fenomeni di liquefazione (zone Z2*).

5. CARATTERISTICHE GEOLOGICO - APPLICATIVE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO

5.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Per la caratterizzazione del suolo e del primo sottosuolo del territorio del Comune di Chignolo Po si è proceduto, contestualmente alla mappatura dei pozzi per acqua (rifer. Tavola n°3 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO" e Tavola n°5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO"), alla raccolta e alla rielaborazione dei dati relativi alle indagini geologico - geotecniche eseguite a supporto degli interventi edilizi realizzati od in itinere, recuperate presso l'ufficio Tecnico comunale.

I dati raccolti si riferiscono a:

- n°59 diagrafie relative a prove penetrometriche statiche "*cone penetration test*" (C.P.T. 01_59)
- n°08 diagrafia relativa a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 30 centimetri (D.C.P.T.₃₀ 01_08)
- n°3 stratigrafie relative a sondaggi geognostici a campionamento continuo (S 01_03)

Per i parametri geotecnici delle singole litologie, utili per valutazioni di carattere geologico - applicativo ed ingegneristico finalizzate allo sviluppo di calcoli di portanza e cedimenti del terreno di fondazione, si può quindi in prima analisi fare riferimento ai diagrammi ed ai tabulati allegati (riferimento 'RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE - STRATIGRAFIE POZZI PER ACQUA').

Attraverso i diagrammi rielaborati relativi in particolare alle prove penetrometriche statiche (C.P.T. 01_59) è quindi possibile ricavare utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni esplorati, sulla base dei valori delle resistenze di punta "Rp" e laterali "Rl" e del rapporto Rp/Rl (Begemann 1965) oppure del rapporto FR = Rl/Rp (*Schmertmann, 1978*).

Con riferimento alle stratigrafie dei sondaggi geognostici esplorativi S1-S3, è stato possibile individuare, per confronto con depositi analoghi già studiati in termini di proprietà indici e resistenza al taglio, i seguenti parametri geotecnici di riferimento:

Sabbie e ghiaie La resistenza al taglio del terreno è condizionata dalla presenza/assenza di acqua; la portanza dei terreni è influenzata dal grado di addensamento, dall'eterogeneità granulometrica e dalle oscillazioni della falda acquifera.

Peso di volume umido $\gamma = 1,95 \text{ t/m}^3$
Resistenza al taglio in condizioni drenate: $\Phi' = 28^\circ \div 32^\circ$ (sabbie)
 $\Phi' = 35^\circ \div 40^\circ$ (ghiaie)
 $C' = 0$

Argille e torbe Parametri geotecnici variabili in funzione del contenuto d'acqua e della composizione mineralogica ma comunque scadenti, sia in termini di resistenza al taglio non drenata che di compressibilità.

Peso di volume umido $\gamma = 1,75 \text{ t/m}^3$
Resistenza al taglio in condizioni drenate: $\Phi_u = 0^\circ$
 $C_u = 2 \div 4 \text{ t/m}^2$

In corrispondenza di numerose prove penetrometriche (statiche e dinamiche) è stata rinvenuta la falda freatica. Il dato assume in ogni caso un'importanza relativa, in relazione al fatto che le prove medesime sono state eseguite in un intervallo di circa 10 anni e comunque in stagioni diverse.

Va infine rilevato che le considerazioni sopra riportate fanno riferimento a indagini eseguite su larga maglia, quindi, considerata la variabilità litologica caratteristica dei terreni alluvionali in genere, è possibile che le estrapolazioni operate non risultino esattamente corrispondenti alla situazione riscontrabile in sito per ogni singolo intervento edilizio futuro.

Per quanto riguarda le aree precedentemente investigate, sulla base della rielaborazione delle prove penetrometriche statiche CPT "*cone penetration test*" (C.P.T. 01_59), si è cercato di fornire un giudizio geotecnico di tipo qualitativo del terreno di fondazione, ai fini di un eventuale riutilizzo dell'area per scopi edificatori, e comunque utile ad indirizzare la pianificazione territoriale.

Dal punto di vista geotecnico, in base alle informazioni raccolte è possibile infine localizzare in corrispondenza dei terreni appartenenti alla porzione di pianura compresa nella fascia di meandreggiamento recente del fiume Po (Unità di Badia Pavese), le aree caratterizzate dalla presenza fino a profondità uguale o maggiore di 6 - 8 metri di litologie prevalentemente limoso - argillose - torbose, con limitata capacità portante.

5.2 CAPACITÀ PROTETTIVA DEI SUOLI NEI CONFRONTI DELLE ACQUE PROFONDE

Attraverso la rielaborazione delle informazioni contenute nella banca dati del S.I.T. (Sistema Informativo Territoriale) - Regione Lombardia, riguardanti le caratteristiche litologiche e la composizione granulometrica dei suoli, integrate da informazioni raccolte nel corso del presente studio relative alla soggiacenza della falda ed al grado di permeabilità dei terreni superficiali, si è tentato di fornire una preliminare valutazione di carattere geologico - applicativo del grado di protezione delle acque profonde - riferite all'acquifero sfruttato ad uso idropotabile -, nei confronti di inquinanti idrosolubili provenienti dalla superficie e diretti in profondità (refer. Tavola 5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO").

Le precipitazioni e l'irrigazione sono considerate le principali fonti di acqua disponibile per la lisciviazione dei prodotti fitosanitari o dei loro metaboliti attraverso il suolo. L'interpretazione della valutazione della capacità protettiva dei suoli esprime la potenziale capacità del suolo di trattenere i fitofarmaci entro i limiti dello spessore interessato dagli apparati radicali delle piante e per un tempo sufficiente a permetterne la degradazione; non è invece riferita a specifici antiparassitari.

Le proprietà pedologiche prese in considerazione nel modello interpretativo sono correlate con le capacità di attenuazione e il comportamento idrologico del suolo. Il modello utilizzato dal S.I.T. prevede la ripartizione dei suoli in tre classi di capacità protettiva nei confronti delle acque profonde: elevata, moderata e bassa.

Per quanto riguarda il grado di protezione dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile, si fa riferimento a quanto descritto al capitolo 3 ed in particolare al paragrafo 3.3.2 della presente relazione, ed alle considerazioni idrogeologiche dedotte esaminando la stratigrafia dei pozzi comunali censiti ed attualmente utilizzati ad uso idropotabile (refer. Tavola n°5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO").

Nel complesso, al fine della protezione delle acque sotterranee, dai dati raccolti emerge che il territorio studiato è dotato di coperture superficiali da molto permeabili (ripiano morfologico di Chignolo Po e Lambrinia) ad impermeabili. Queste ultime, in particolare, sono costituite da argille prevalenti e localmente da torbe, in orizzonti di spessore limitato tra 1,50 e 3,00 metri e poste tra i 2,00 ed i 5,00 metri di profondità (refer. stratigrafie sondaggi S1-S3).

In relazione ai parametri sopra indicati, lo studio ha condotto all'individuazione di quattro diverse aree a diverso grado di protezione dell'acquifero principale sfruttato ad uso idropotabile, evidenziate con diversa colorazione in Tavola 5 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO".

Va in ogni caso sottolineato come il grado di protezione dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile, così come deducibile dalle elaborazioni prodotte, può tuttavia subire locali variazioni dovute da una parte a modifiche della composizione granulometrica dei sedimenti di copertura (aumento/diminuzione del rapporto sabbia/argilla), dall'altra dalla discontinuità dello spessore dei terreni di copertura argilloso - limosi superficiali.

Per quanto riguarda il grado di protezione dell'acquifero superficiale, dal punto di vista idrogeologico l'indagine ha verificato localmente la presenza nel primo sottosuolo di una modesta falda freatica sospesa, generalmente profonda e arealmente discontinua.

L'assetto idrogeologico di questo orizzonte acquifero, risulta strettamente condizionato dalla presenza di locali intercalazioni di livelli semipermeabili e/o impermeabili, che ne definiscono la distribuzione areale.

6. ZONAZIONE DEL TERRITORIO - METODOLOGIA UTILIZZATA

L'insieme delle indagini esperite e dei dati raccolti nel corso del presente studio hanno consentito la stesura di un elaborato cartografico finale (Tavola n°7 "CARTA DI SINTESI") che fornisce, per tutto il territorio del Comune di Chignolo Po, una prima sostanziale valutazione delle aree omogenee dal punto di vista della pericolosità / vulnerabilità riferita allo specifico fenomeno che la genera.

La tavola è costituita da una serie di poligoni che definiscono una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità / vulnerabilità omogenea per la presenza di una o più fenomenologie in atto o potenziali. La delimitazione dei poligoni è stata fatta con valutazioni sulla pericolosità e sulle aree di influenza dei fenomeni desunte dalla fase di analisi. La sovrapposizione di più ambiti genera dei poligoni misti con pericolosità determinata da più fattori limitanti. Gli ambiti di pericolosità / vulnerabilità sono stati individuati tenendo conto di fattori di ordine idrogeologico, geotecnico e idraulico.

La Tavola n°7 "CARTA DI SINTESI" risulta di particolare importanza pratica non solo per valutazioni di carattere propriamente ambientale, nei confronti ad esempio dell'ipotesi di realizzazione di impianti o insediamenti pericolosi, ma anche in relazione ad altri interventi antropici di una certa consistenza, comportanti consistenti modificazioni dell'attuale assetto fisico del territorio (quali ad esempio attività estrattive).

6.1 CARATTERISTICHE DI VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

La valutazione della vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile in base alla capacità protettiva dei suoli nei confronti di potenziali agenti inquinanti liquidi o idroveicolati, è stata effettuata tenendo conto di vari fattori geologici ed idrogeologici quali:

- tipo e grado di permeabilità dei depositi: ad essi va ricondotta la velocità di percolazione degli inquinanti e l'azione eventuale di attenuazione dei loro effetti;
- tipo e spessore delle coperture a granulometria fine e con bassa permeabilità (argille e limi), che costituiscono elementi di protezione degli acquiferi sottostanti;
- eventuale presenza di livelli ghiaioso - sabbiosi intercalati nella coltre di copertura, elementi che favoriscono la diffusione di sostanze inquinanti;
- soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero;
- condizioni geomorfologiche e idrauliche particolari, quali la presenza di terrazzi fluviali e aree esondabili.

In Tavola n°7 "CARTA DI SINTESI", attraverso la valutazione dei dati raccolti si è quindi giunti all'individuazione, nell'ambito del territorio comunale di Chignolo Po, di quattro aree con diverso grado di vulnerabilità idrogeologica variabili fra *medio* - *basso* e *alto*, evidenziate con apposite retinature e con diversa colorazione. Il metodo utilizzato definisce una vulnerabilità di tipo intrinseco, quindi asettica rispetto al tipo di attività antropiche presenti sul territorio.

Va infine sottolineato come, in particolare, il grado di vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile, così come deducibile dai dati disponibili, può tuttavia essere soggetto a locali variazioni dovute da una parte a modifiche della composizione granulometrica dei sedimenti di copertura (aumento/diminuzione del rapporto sabbia/argilla), dall'altra dalla discontinuità dello spessore degli stessi terreni di copertura dell'acquifero.

6.2 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE OMOGENEE DAL PUNTO DI VISTA DELLA PERICOLOSITÀ / VULNERABILITÀ RIFERITA ALLO SPECIFICO FENOMENO CHE LA GENERA

Vengono di seguito definiti gli ambiti di pericolosità e di vulnerabilità che costituiscono la legenda della carta di sintesi. La sovrapposizione di più ambiti determina dei poligoni misti per pericolosità determinata da più fattori limitanti. La delimitazione dei poligoni viene fatta con valutazioni sulla pericolosità e sulle aree di influenza dei fenomeni desunte dalla fase di analisi precedente.

Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico

- Aree a diverso grado di vulnerabilità idrogeologica (*) dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile nei confronti di potenziali agenti inquinanti liquidi o idroveicolati
 - GRADO DI VULNERABILITÀ ELEVATO
 - GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO-ALTO
 - GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO
 - GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO-BASSO
- (*) valutato in relazione ai dati relativi a spessore, caratteristiche litologiche, composizione granulometrica e grado di permeabilità dei terreni sovrastanti il primo acquifero sfruttato ad uso idropotabile
- Aree precedentemente escavate / cave dismesse (refer. Catasto Cave Cessate - P.C.P. Provincia di Pavia - marzo 2004)

Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

- Aree golenali del fiume Po
- Aree potenzialmente soggette a fenomeni alluvionali in concomitanza ad eventi di piena straordinaria del fiume Po. Aree interessate dai fenomeni di alluvionamento intercorsi durante l'evento di piena catastrofica del fiume Po del 12-17 ottobre 2000
- Aree potenzialmente soggette ad allagamento in relazione alla chiusura delle chiaviche dell'argine maestro del fiume Po in concomitanza ad eventi alluvionali
- Aree potenzialmente soggette ad allagamento in relazione all'esonazione dei fossi di scolo in occasione di eventi meteorici eccezionali, con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici ed infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche

Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche / Aree che potenzialmente possono presentare problematiche di tipo geotecnico

- Aree con riporto di materiale (rilevati ferroviari)
- Aree caratterizzate dalla presenza sino a profondità comprese tra 8 e 12 metri dal p.c. di terreni a limitata capacità portante: limi e argille soffici, con valori di R_p misurati inferiori a 10 kg / cmq
- Scarpata erosiva di raccordo tra le alluvioni Attuali del fiume Po e il Piano Generale Terrazzato
- Aree lievemente depresse individuate in corrispondenza della fascia di meandreggiamento recente del fiume Po (Unità di Badia Pavese) *

* Molte di queste aree e di quelle contermini, situate in corrispondenza della fascia di meandreggiamento recente del fiume Po (non indicate in cartografia in quanto difficilmente circoscrivibili dal punto di vista areale) risultano inoltre caratterizzate dalla presenza, fino a profondità uguale o maggiore di 6 - 8 metri dal p.c., di litologie prevalentemente limoso - argillose - torbose, con limitata capacità portante.

Beni di interesse paesaggistico (geositi)

Nella Tavola n°7 "CARTA DI SINTESI" sono state infine riportate le aree meritevoli di particolare tutela o salvaguardia (ambiti di particolare interesse geologico, geomorfologico, naturalistico) sulle quali il Comune potrebbe proporre un "vincolo", oggetto del quadro conoscitivo del territorio comunale all'interno del Documento di Piano (L.R. 12/05, art. 8, comma 1, punto b). Ne discende la loro individuazione all'interno del Piano delle Regole, con inerenza alle aree di valore paesaggistico - ambientale ed ecologico (L.R. 12/05 art. 10, comma 1, punto e, numero 2).

L'unica area individuata, in quanto di particolare interesse geologico e geomorfologico - applicativo, è costituita dal *Rilievo isolato di Chignolo Po* (per una dettagliata descrizione, vedi paragrafo 2.5.2).

6.3 ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI D'INGRESSO

La Tavola n°8 "CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO ESTESA ALL'INTERO TERRITORIO COMUNALE", è desunta dalla carta di sintesi attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono, con un automatismo come specificato nella Tabella 9.

Successivamente si è aumentato o diminuito il valore della classe di fattibilità in base a valutazioni di merito tecnico per lo specifico ambito, riclassificandolo totalmente o solo parzialmente e suddividendolo in porzioni a differente fattibilità.

La carta di fattibilità è dunque una carta di pericolosità che fornisce le indicazioni in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio, alle prescrizioni per gli interventi urbanistici, agli studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, alle opere di mitigazione del rischio ed alle necessità di controllo dei fenomeni in atto o potenziali.

Nel caso in cui nei poligoni della carta di sintesi risultano presenti contemporaneamente più aree omogenee per pericolosità / vulnerabilità, la classe di fattibilità è stata aumentata solo in caso di interazione fra i fenomeni, viceversa coesistono le classi di fattibilità corrispondenti e derivate dalla carta di sintesi (nelle carte di fattibilità viene indicato il valore maggiore) e vigono le prescrizioni per ciascuno degli ambiti rappresentati.

<i>Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico</i>	
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica ELEVATO (*)	3
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO - ALTO (*)	3
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO (*)	2
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO - BASSO (*)	1
Aree precedentemente escavate (cave dismesse)	3
<i>Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico</i>	
Aree golenali del fiume Po	4
Aree potenzialmente soggette a fenomeni alluvionali in concomitanza ad eventi di piena straordinaria del fiume Po. Aree interessate dai fenomeni di alluvionamento intercorsi durante l'evento di piena catastrofica del fiume Po del 12-17 ottobre 2000	4
Aree potenzialmente soggette ad allagamento in relazione alla chiusura delle chiaviche dell'argine maestro del fiume Po in concomitanza ad eventi alluvionali	3
Aree potenzialmente soggette ad allagamento in relazione all'esonazione dei fossi di scolo in occasione di eventi meteorici eccezionali, con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici ed infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche	3
<i>Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche</i>	
<i>Aree che potenzialmente possono presentare problematiche di tipo geotecnico</i>	
Aree con riporto di materiale (rilevati ferroviari)	3
Aree caratterizzate dalla presenza sino a profondità comprese tra 8 e 12 metri dal p.c. di terreni a limitata capacità portante: limi e argille soffici, con valori di R_p misurati inferiori a 10 kg / cmq	3
Scarpata erosiva di raccordo tra le alluvioni Attuali del fiume Po e il Piano Generale Terrazzato	3
Aree lievemente depresse della pianura alluvionale individuate in corrispondenza della fascia di meandreggiamento recente del fiume Po (Unità di Badia Pavese) *	2
* Molte di queste aree e di quelle contermini, situate in corrispondenza della fascia di meandreggiamento recente del fiume Po (non indicate in cartografia in quanto difficilmente circoscrivibili dal punto di vista areale) risultano inoltre caratterizzate dalla presenza, fino a profondità uguale o maggiore di 6 - 8 metri dal p.c., di litologie prevalentemente limoso - argillose - torbose, con limitata capacità portante.	

Tabella 9 *Classi di ingresso dei poligoni individuati nella carta di sintesi*

(*) riferita alla falda interessata da captazioni ad uso idropotabile

In alcuni casi si è verificata l'interazione / sovrapposizione di più fenomeni limitativi, con aumento della classe di fattibilità finale al valore maggiore.

Le porzioni di territorio esterne ai poligoni individuati mediante le procedure precedentemente descritte e/o ricomprese in Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO - BASSO (classe di ingresso 1) corrispondono ad areali per i quali sono state comunque individuate parziali limitazioni alla modifica dell'uso dei terreni dal punto di vista geologico, con riferimento alle *Norme geologiche di Piano* – sottoclassi di fattibilità 2A, 2B, 2C e 3A. Tali aree sono pertanto anch'esse soggette all'applicazione del D.M. 14 gennaio 2008.

Nella Tavola 8 "CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO ESTESA ALL'INTERO TERRITORIO COMUNALE", non è infine richiesta l'individuazione dei perimetri delle aree di tutela assoluta e di rispetto delle captazioni ad uso idropotabile, nonché dei cimiteri e dei depuratori, in quanto soggette a specifica normativa. L'attribuzione della classe di fattibilità di tali aree deriva esclusivamente dalle caratteristiche geologiche delle stesse.

Stradella, maggio 2013

Il Professionista Incaricato
Dott. Geol. Daniele Calvi

BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

- AGIP (1973) - *Acque dolci sotterranee*. Inventario dei dati raccolti dall'Agip durante la ricerca di idrocarburi in Italia. 914 pp., Grafica Palombi, Roma.
- ARIATI E., COTTA RAMUSINO S., PELOSO G.F. (1988) - *La struttura del Colle di San Colombano al Lambro: riflessi idrogeologici e caratteristiche chimiche della falda freatica* Università degli Studi Pavia, 1987 in CASATI P. Acque Sotterranee di Lombardia, 97-114. Nuova Brianza Ed. Renate (MI).
- BARTOLINI C. ET ALII (1982) - *Carta neotettonica dell'Appennino settentrionale. Note illustrative*. Boll. Soc. Geol. It, 101, 523-549.
- BEATRIZZOTTI G., BELLINZONA G., BELTRAMI G., BONI A., BRAGA G., MOSNA S. (1965) - *Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000, Foglio 59 "PAVIA"* II edizione, Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- BONI A. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio 59 PAVIA*. Nuova Tecnica Grafica, 1-68 Roma.
- BONI A., BONI P., PELOSO G.F. & GERVASONI S. (1980) - *Dati sulla neotettonica del foglio Pavia (59) e di parte dei fogli Voghera (71) ed Alessandria (70)*. Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, CNR - Progetto Finalizzato geodinamica - Sottoprogetto Neotettonica, parte III, Pubbl. 356, pp. 1199-1244, Napoli.
- BONI, A. (1980) - *Geologia e sismicità del Territorio pavese*. In: Seminari su "Eventi naturali ed antropici", Università di Pavia, pp.148-277, Pavia.
- BRAGA G. - CERRO A. (1988) - *Le strutture sepolte della pianura pavese e le relative influenze sulle risorse idriche sotterranee*. Atti Tic. Sc. della Terra, 31, pp. 421-433, Pavia
- BRAGA G. EL ALII (1976) - *Indagine preliminare sulle falde acquifere profonde della porzione di pianura padana compresa nelle province di Brescia, Cremona, Milano, Piacenza, Pavia e Alessandria*. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 28 (2), 45-76 - Roma
- CASTIGLIONI, G.B. ET AL. (1997) - *Carta Geomorfologica della Pianura Padana in scala 1:250.000*. SELCA, Firenze.
- DALL'AGLIO P.L., MARCHETTI G., VALLE G. (1990) - *Proposta per la realizzazione di una carta del "rischio archeologico": il caso della Val Trebbia*. In Atti del Convegno: "La cartografia archeologica", Pisa, 21-22 marzo 1988, Pisa 1990, pp. 137 - 165
- ENTE REGIONALE DI SVILUPPO AGRICOLO DELLA LOMBARDIA. *Aggiornamenti di agrometeorologia e pedologia*. Quaderno n°18 Commento climatico all'annata agraria 1996
- ENTE REGIONALE DI SVILUPPO AGRICOLO DELLA LOMBARDIA. *Progetto "Carta Pedologica" Regione Lombardia* (E.R.S.A.L. 2001) "I suoli della Pianura Pavese Centrale - serie SSR n°33"
- GOBETTI A., PEROTTI CR. (1990) - *Genesi e caratteristiche dell'arco strutturale di Pavia*. Atti Tic. Se. Terra, 33, 143-156.

MARCHETTI G., DALL'AGLIO P. L. (1982) - *Geomorfologia e vicende storiche nel territorio piacentino (La battaglia del Trebbia, 218 a.C.)*. Estratto da "atti dell'istituto geologico della università di Pavia, vol. XXX. Pavia, Tipografia del libro, 1982, pp.142-160

MARCHETTI G., PEROTTI C.R., VERCESI P.L., BARONI C. (1980) - *Note illustrative degli elaborati cartografici presentati il 31-5-80 (F. 60 - Piacenza e 61 - Cremona p.p.) e il 31-3-1979 (F71 Voghera, F.72 Fiorenzuola d'Arda, F. 83 Rapallo e F. 84 Pontremoli p.p.)*. Estratto da: "Contributi alla realizzazione della carta neotettonica d'Italia", Pubbl. n. 356 del Progetto Finalizzato Geodinamica. pp. 915-964, Roma.

PELLEGRINI L., VERCESI P.L. (2005) - *I geositi della provincia di Pavia*. Luigi Ponzio e figlio, Pavia.

PEROTTI C.R. (1991) - *Osservazioni sull'assetto strutturale del versante padano dell'Appennino nord-occidentale*. Atti Tic. Sc. della Terra, vol. 34, (note brevi 11-22).

PIERI M., GROPPI G. (1982) - *Subsurface geological structure of the Po plain, Italy*. C.N.R., pubbl. 414, P.F. Geodinamica, 13 pp.

REGIONE LOMBARDIA (1996) - *Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia*. Regione Lombardia – IRRS - Milano.

REGIONE LOMBARDIA, ENI DIVISIONE AGIP (2002) - *Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia*.

ROSSETTI R. & OTTONE C. (1979) - *Esame preliminare delle condizioni pluviometriche dell'Oltrepò Pavese e dei valori critici delle precipitazioni in relazione ai fenomeni di dissesto franoso*. Gel. Appl. e Idrogeol., vol. 14/3, pp. 83-99, Bari.

ROSSETTI R., BONI P., MARCHETTI G., OTTONE C., PELLEGRINI L. (1997) - *Geomorphology of the Piacenza and Pavia Apennine*. In: "Guide for the excursion of IV Int. Conf. On Geomorphology, Italy 1997: Mountains, Hills and Plains in north-Western Italy. *Suppl. Geogr. Fis. Din. Quaternaria*, III, 2: 59-61, Com. Glaciol. It., Torino.

STUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO PADANO (1999) - *Indagine idrogeologica relativa alla realizzazione di un nuovo campo pozzi per uso idropotabile in località Genzone - Azienda Consorziale Acquedotti Oltrepò Pavese - Stradella (PV)*.