

**STUDIO GEOLOGICO**  
**Dott. Geol. DANIELE CALVI**

*Indagini geognostiche geofisiche e geotecniche - Studi geologici territoriali*

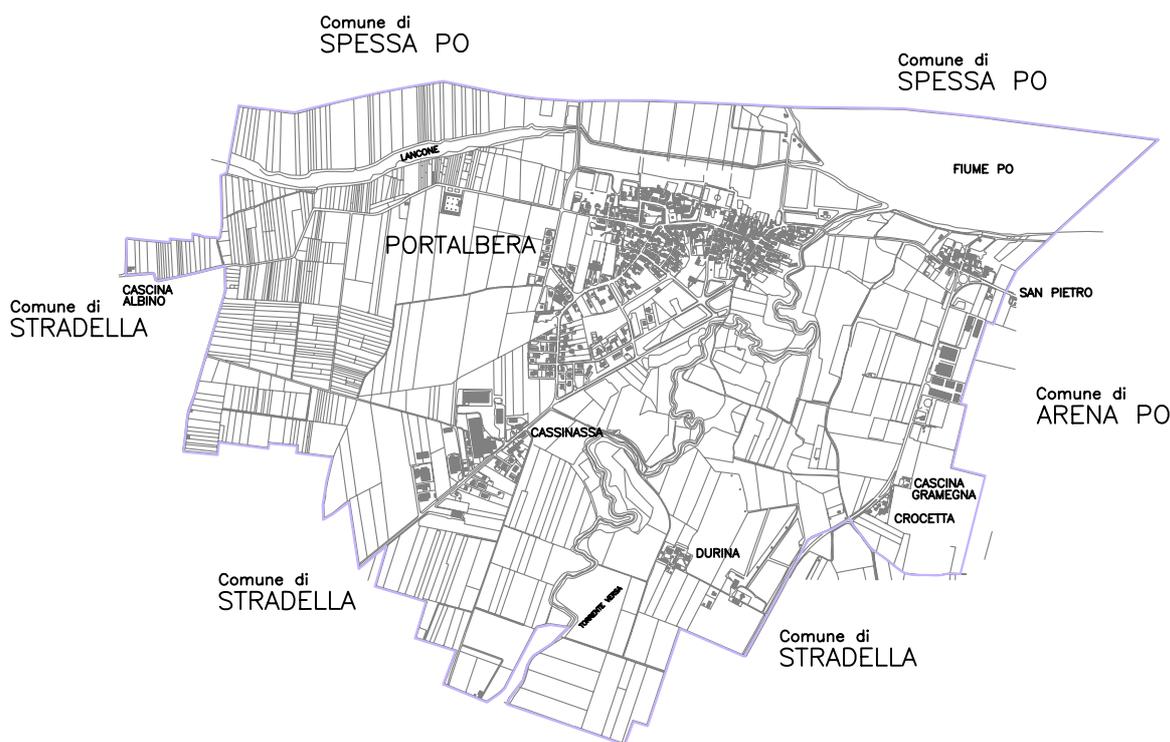
VIA ANTONIO GRAMSCI, 22 - 27049 STRADELLA (PV) \_ tel.+fax 0385-49034  
geocalvi@gmail.com



Comune di **PORTALBERA** 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. 28 maggio 2008 n°8/7374



## RELAZIONE ILLUSTRATIVA

**Sindaco**  
Geom. LUIGI BOGLIARDI

**Il Professionista incaricato**  
Dott. Geol. DANIELE CALVI

**Segretario Comunale**  
Dott. Avv. GIUSEPPE DE LUCA

aprile 2009

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
1.1	OGGETTO DELLO STUDIO .....	1
1.2	DOCUMENTAZIONE REALIZZATA .....	2
1.3	DOCUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	3
1.4	ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO .....	4
<b>2.</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E CLIMATICO .....</b>	<b>6</b>
2.1	CARATTERIZZAZIONE FISIOGRAFICA .....	6
2.2	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE AFFIORANTI .....	6
2.3	ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE .....	8
2.4	GEOMORFOLOGIA .....	9
2.5	ASPETTI PEDOLOGICI E DI USO DEL SUOLO .....	11
2.6	INQUADRAMENTO CLIMATICO .....	14
<b>3.</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>16</b>
3.1	IDROGRAFIA SUPERFICIALE .....	16
3.2	DETERMINAZIONE DEL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE E MINORE .....	16
3.3	IDROGRAFIA SOTTERRANEA .....	21
3.3.1	Assetto idrogeologico generale dell'area .....	21
3.3.2	Parametri statistici dell'acquifero emunto .....	25
3.3.3	Soggiacenza dell'acquifero emunto .....	27
3.4	CLASSI DI PERMEABILITÀ .....	29
<b>4.</b>	<b>ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE SISMICA NEI PIANI DI GOVERNO DEL TERRITORIO .....</b>	<b>30</b>
4.1	PREMESSA .....	30
4.1.1	Pericolosità, vulnerabilità e rischio .....	31
4.2	INFORMAZIONI RELATIVE ALLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO DI PORTALBERA (PV) .....	37
4.2.1	Dati storici .....	37
4.2.2	Database Macrosismico Italiano 2004 (DBMI04) – Estrazione dei dati .....	39
4.3	QUADRO NORMATIVO NAZIONALE E REGIONALE .....	43
4.3.1	Azione sismica – Categorie di sottosuolo .....	45
4.3.2	Azione sismica – Zone sismiche .....	46
4.4	METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI SISMICI DI SITO .....	48
4.5	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE DEL TERRITORIO COMUNALE DI PORTALBERA SECONDO LE INDICAZIONE DELLE D.G.R. 22 DICEMBRE 2005, N°8/1566 .....	50

5.	CARATTERISTICHE GEOLOGICO – APPLICATIVE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO .....	54
5.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE .....	54
5.2	GRADO DI PROTEZIONE DELL'ACQUIFERO PRINCIPALE SFRUTTATO AD USO IDROPOTABILE E DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE (FALDA FREATICA) .....	55
6.	ZONAZIONE DEL TERRITORIO – METODOLOGIA UTILIZZATA .....	57
6.1	CARATTERISTICHE DI VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI .....	57
6.2	INDIVIDUAZIONE DELLE AREE OMOGENEE DAL PUNTO DI VISTA DELLA PERICOLOSITÀ / VULNERABILITÀ RIFERITA ALLO SPECIFICO FENOMENO CHE LE GENERA .....	58
6.3	ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI DI INGRESSO .....	59

#### FIGURE IN TESTO

Fig. 1	<i>Inquadramento dell'area nel sistema cartografico regionale</i>	6
Fig. 2	<i>Profilo elettrostratigrafico della "platea" individuata nel sottosuolo del settore sud-orientale della Pianura Pavese, da BRAGA G. et al., 1988</i>	8
Fig. 3	<i>Andamento del tetto del substrato marino lungo la direttrice Stradella – San Cipriano Po, DA ASSERETO E., 1980-1988</i>	9
Fig. 4	<i>Evoluzione dei tratti in erosione del fiume Po in località Spessa Po e Portalbera</i>	11
Fig. 5	<i>Scartamento medio annuo di pioggia caduta rispetto al valore medio di 706 mm calcolato per il periodo che va dal 1951 al 2000</i>	15
Fig. 6	<i>Sezione rappresentativa delle condizioni litologiche del sottosuolo in prossimità del margine meridionale della pianura bronese-stradellina</i>	23
Fig. 7	<i>Profilo illustrativo dell'andamento del tetto del substrato marino dalla C.le Durina verso NE</i>	24
Fig. 8	<i>Andamento delle oscillazioni medie annue della soggiacenza dell'acquifero emunto, misurate nella stazione della C.le Durina nel periodo 1946-1986, rispetto al valore medio dell'intero periodo</i>	27
Fig. 9	<i>Tabella comparativa Grado Richter – Grado M.C.S.</i>	31
Fig. 10	<i>Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV, aprile 2004)</i>	33
Fig. 11	<i>Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. - Dettaglio per la Regione Lombardia (INGV, aprile 2004)</i>	34
Fig. 12	<i>Massime intensità Macrosismiche osservate in Italia (Fonte I.N.G.V.)</i>	38
Fig. 13	<i>Massime intensità macrosismiche registrate in Lombardia (fonte INGV)</i>	39
Fig. 14	<i>Elenco dei terremoti in cui risulta citata la località di Stradella (PV)</i>	40
Fig. 15	<i>Diagramma della storia sismica delle località di Stradella limitatamente ai terremoti con intensità al sito uguale o superiore a 4-5</i>	40
Fig. 16	<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>Sistema, sottosistemi e unità di paesaggio delle valli alluvionali di pianura</i>	13
TAB.2	<i>Scheda tecnica reticolo idrico principale del territorio del Comune di Portalbera</i>	18
TAB.3A-B	<i>Scheda tecnica reticolo idrico minore del territorio del Comune di Portalbera</i>	19-20
TAB.4	<i>Reticolo idrico minore del Comune di Portalbera</i>	20
TAB.5	<i>Soggiacenza del livello piezometrico dell'acquifero emunto registrate nella stazione piezometrica di C.na Durina nel periodo 1946-1986. Nella tabella sono indicate: le medie mensili dei singoli anni, le medie annue, le medie mensili dell'intero periodo di osservazione. In grassetto corsivo le soggiacenze medie mensili minime; in grassetto tondo le soggiacenze medie mensili massime</i>	28
TAB.6	<i>Osservazioni sismiche a Pavia</i>	41
TAB.7	<i>Classificazione del territorio regionale a seguito dell'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03</i>	44
TAB.8	<i>Provincia di Pavia - Raffronto tra il precedente quadro normativo e l'attuale</i>	44
TAB.9	<i>Livello di approfondimento dello studio in relazione alla zona sismica di appartenenza</i>	50
TAB.10	<i>Comune di Portalbera - Scenari di pericolosità sismica locale ed effetti sismici locali attesi</i>	51
TAB.11	<i>Comune di Portalbera - Classi di pericolosità sismica per ogni scenario di pericolosità sismica locale</i>	52
TAB.12	<i>Classi di ingresso dei poligoni individuati nella carta di sintesi</i>	60

### ALLEGATI

#### BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 OGGETTO DELLO STUDIO

Lo studio in oggetto si propone di fornire al Comune di PORTALBERA (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 dei fenomeni di dissesto idrogeologico.

Il presente lavoro, redatto congiuntamente al Piano di governo del Territorio del Comune di Portalbera, è stato predisposto secondo due livelli conoscitivi e diagnostici: uno generale di inquadramento, riguardante l'intera superficie territoriale del Comune (4,68 Km<sup>2</sup>) ed un suo significativo intorno (Tavole 1, 2, 3, 4 - scala 1:10.000; Tavola 4A- scala 1:2.000 / 1:100), ed uno di dettaglio, limitatamente al territorio comunale interessato in tutta la sua estensione dalla copertura aerofotogrammetrica (riferimento Tavole 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - scala 1:5.000).

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

- Portalbera (capoluogo comunale)
- Cascina Albina
- Cascina Gramegna
- Cassinassa
- Crocetta
- Durina
- San Pietro

### 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 9 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°1-2-3-4), che alla scala 1:5.000 (Tavole n°5-6-7-8-9) e 1:2.000 (Tavola 4A).

Tutti gli elaborati grafici vengono realizzati su supporto informatico. In particolare le carte di inquadramento generale e di dettaglio (Tavole n°1-2-3-4-5-6) vengono realizzate in formato numerico File *AutoCAD drawing* (.dwg), mentre la Tavola n°8 "CARTA DI SINTESI" e la Tavola n°9 "CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO ESTESA ALL'INTERO TERRITORIO COMUNALE", vengono prodotte su supporto informatico in formato ArcView compatibile, per l'aggiornamento del Sistema Informativo Territoriale, ai sensi dell'art. 3 della L.R. 12/05.

	SCALA
<i>Documentazione di analisi – carte di inquadramento generale</i>	
1. CARTA DI INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO E STRUTTURALE	1:10.000
2. CARTA PEDOLOGICA	1:10.000
3. CARTA GEOMORFOLOGICA	1:10.000
4. CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO	1:10.000
4A SEZIONI IDROGEOLOGICHE A-A' / B-B'	1:2.000 / 1:100
<i>Documentazione di analisi – carta di inquadramento di dettaglio</i>	
5. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI	1:5.000
6. CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO	1:5.000
<i>Documentazione di sintesi</i>	
7. CARTA DEI VINCOLI ESISTENTI	1:5.000
8. CARTA DI SINTESI E DELLE AREE A RISCHIO IDRAULICO	1:5.000
9. CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO ESTESA ALL'INTERO TERRITORIO COMUNALE	1:5.000

La tavola n°9, in particolare, riporta la zonazione del territorio comunale di Portalbera in classi e sottoclassi di fattibilità geologica a diversa limitazione (numerate da 2A a 4D in ordine crescente di limitazioni e condizionamenti, secondo quanto stabilito dalla D.G.R. 28 maggio 2008, n°8/7374 - 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

In particolare, la "RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE" 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 Portalbera, utili alla caratterizzazione dell'area di studio.

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

### 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

— B7c5 "Mezzanino" - B7d5 "San Zenone al Po"  
— B8c1 "Stradella Ovest" - B8d1 "Stradella Est"

— Cartografia I.G.M. scala 1:25.000

Sezioni

— Foglio 59 quadrante II Tavola NO "Belgioioso"  
— Foglio 59 quadrante II Tavola NE "Corteolona"  
— Foglio 59 quadrante II Tavola SO "Stradella"  
— Foglio 59 quadrante II Tavola SE "Castel San Giovanni"

— Cartografia scala 1:5.000 del territorio comunale di Portalbera 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 1:25.000 relative al volo del 1994. strisciata 29A - fotografie da 0345 a 0350; strisciata 30 - fotografie da 0276 a 0281

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):

- Autorità di Bacino del Fiume Po - "*PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)*" - Tavole di delimitazione dalle fasce fluviali - FOGLIO 160- PAVIA - PO24 - SCALA 1:50.000.
- Autorità di Bacino del Fiume Po - "*PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)*" - Tavole di delimitazione dalle fasce fluviali - FOGLIO 160 SEZ. II - BELGIOIOSO - PO31 - TICINO 01 - SCALA 1:25.000.
- Autorità di Bacino del Fiume Po - "*PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)*" - Tavole di delimitazione dalle fasce fluviali - FOGLIO 160 SEZ. III - PORTALBERA - PO32 - SCALA 1:25.000.

- Autorità di Bacino del Fiume Po - "*PIANO STRALCIO DI INTEGRAZIONE AL PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)*" - Tavole di delimitazione delle fasce fluviali – TAV.2/2 - Fiume Po nel tratto da San Cipriano Po ad Arena Po - SCALA 1:25.000 -, adottata dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con Deliberazione n°1 del 3 marzo 2004 ed approvato con D.P.C.M. del 10 dicembre 2004 (pubblicato sulla G.U. n°28 del 04-02-2005)
- 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)
- Comune di Portalbera - Studio geologico del territorio comunale - D.G.R. n°7/6645 del 29/10/2001 - L.R. n°41/97 - Dott. Geol. Daniele Calvi (marzo 2004 - marzo 2006)

#### 1.4 ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

Lo studio geologico - tecnico territoriale si è articolata 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 Portalbera ed utili alla caratterizzazione dell'area di studio.

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

- Ufficio Tecnico Comunale di Portalbera
  - 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
  - Azienda Consortile Acquedotti Oltrepo Pavese di Stradella (A.C.A.O.P. S.p.A.).
- analisi fotointerpretativa
  - analisi areale di tutto il territorio comunale di Portalbera e di un suo significativo intorno che ha previsto, accanto a rilievi geologici di tipo tradizionale, una preliminare caratterizzazione geotecnica dei terreni di copertura, attraverso la raccolta e la successiva elaborazione dei dati esistenti.

- analisi idrogeologica, eseguita sia attraverso il censimento dei pozzi per acqua (refer. Tavola 4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO" e Tavola 6 "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 Portalbera e nei comuni confinanti, 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 (refer. Tavola n°6 "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°5 "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 Portalbera, 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, successivamente rielaborati al fine di renderli omogenei e confrontabili tra loro, sono costituiti da (refer. Tavola n°5 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI"):

- n°07 diagrafie relative a prove penetrometriche statiche "*cone penetration test*" (C.P.T. 01\_07)
- n°07 diagrafia relativa a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 30 centimetri (D.C.P.T.<sub>30</sub> 01\_07)
- n°04 stratigrafie relative a trincee geognostiche esplorative (T 01\_04)
- n°06 stratigrafie relative a sondaggi geognostici a campionamento continuo (S 01\_06)

Vengono inoltre fornite 32 stratigrafie di pozzi per acqua ad uso idropotabile censiti all'interno dell'areale studiato (refer. Tavola 4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO"). Dei 32 pozzi censiti ad uso idropotabile, 21 risultano attualmente in uso mentre 11 sono al momento dismessi ovvero non più utilizzati.

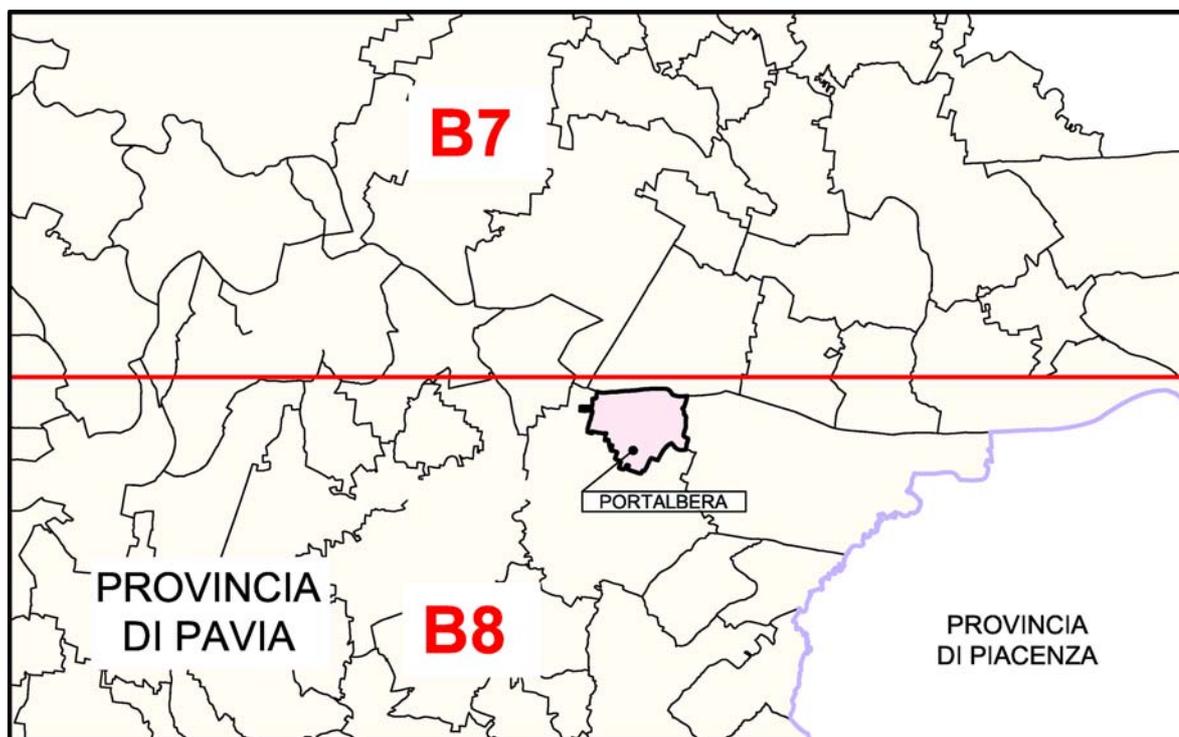
Per quanto riguarda l'ubicazione dei pozzi per acqua ricadenti nell'ambito del territorio comunale di Portalbera, oltre alla Tavola 4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO", si faccia riferimento alla Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO".

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E CLIMATICO

### 2.1 CARATTERIZZAZIONE FISOGRAFICA

Il territorio del Comune di Portalbera (PV) si sviluppa su di una superficie complessiva di 4,68 Km<sup>2</sup> (pari a 468 ettari), compreso dal punto di vista amministrativo tra i comuni di Spessa Po a Nord, Stradella ad Ovest e a Sud, Arena Po ad Est. Dal punto di vista fisiografico, il territorio di Portalbera si trova ubicato in destra idrografica del Fiume Po, in una fascia di pianura oltrepadana caratterizzata dalla presenza del tratto terminale del tracciato del torrente Versa. Lo stesso fiume Po definisce a Nord il confine territoriale del Comune.

Dal punto di vista altimetrico la zona può essere considerata di bassa pianura, essendo contenuta tra le quote di quote di 50 metri circa m s.l.m. (area golenale del fiume Po) e 71 metri circa m s.l.m. (pianura a Sud del capoluogo). 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 Portalbera risulta modellato all'interno di sedimenti quaternari continentali di origine alluvionale (refer. Tav.1), abbandonati dal Fiume Po e dal torrente Versa in relazione alle vicende climatiche che hanno caratterizzato la regione nel Pleistocene (glaciazioni) e nell'Olocene (normale avvicendamento di piene e magre).

Per quanto riguarda i depositi continentali, in particolare, è possibile distinguere dal punto di vista litostratigrafico i seguenti terreni:

**ALLUVIONI ATTUALI** (*Olocene superiore - attuale*)

Presenti in corrispondenza dell'alveo attivo del torrente Versa e del fiume Po.  
I depositi sono dati sabbie e limi prevalenti, con locali intercalazioni ghiaiose.

**ALLUVIONI RECENTI** (*Olocene medio - superiore*)

Sono costituite da limi, sabbie e ghiaie prevalenti; localmente associati a questi depositi si rinvengono intercalati dei livelli torbosi.

**ALLUVIONI ANTICHE** (*Olocene inferiore*)

Dal punto di vista granulometrico questi depositi, situati all'interno della fascia di meandreggiamento recente del fiume Po e del torrente Versa, sono costituite da sabbie - localmente commiste a ghiaietto -, limi sabbiosi e limi argillosi, mescolati in varie proporzioni. Buoni spaccati naturali dai quali ricavare una stratigrafia delle alluvioni si possono osservare lungo il Torrente Versa, nei tratti di sponda in erosione.

**FLUVIALE RECENTE** (*Pleistocene superiore - Wurm*)

Questi depositi costituiscono la "*superficie principale della pianura padana*" a Sud de Po, o Piano Generale Terrazzato (P.G.T.).

Risultano costituiti da depositi di età diversa, difficilmente separabili tra loro sia dal punto di vista morfologico che litologico. Sono dati da argille e limi prevalenti alla sommità della successione ("limi di stanca"), limi sabbiosi, sabbie poco alterate, localmente ghiaie e ciottoli con alterazione notevole.

Lungo il terrazzo che tra Portalbera e San Cipriano separa le Alluvioni attuali dal Fluviale recente, a NE di Cascina Albina, si può osservare un limitatissimo affioramento di terreni più antichi (rifer. Tav.1), attribuito dalla C.G.I. Foglio 59 "Pavia" alla *formazione di San Cipriano* (Miocene superiore?). Esso risulta costituito da marne calcaree grigiastre a Lucine.

Data la ridottissima estensione areale e la mancanza di informazioni circa i rapporti con altre formazioni pre-quadernarie, appare difficile stabilire una sicura posizione stratigrafica, per quanto esso può comunque essere correlabile con i depositi terziari costituenti i rilievi collinari.

Da segnalare, inoltre, che recentemente (Brambilla G., 1992), in occasione di una magra del Po particolarmente accentuata, è stato rinvenuto in pieno alveo, circa 700 metri a monte del ponte di Spessa Po, un affioramento di calcareniti messiniane con plaghe di zolfo o filliti.

L'individuazione è stata facilitata dalle particolari condizioni climatiche di questi ultimi anni, caratterizzate da una penuria di precipitazioni nei mesi invernali. Tali rocce appaiono disporsi come una serie di creste all'incirca parallele rispetto all'asse del fiume Po in questo suo tratto, ed estese per qualche centinaio di metri (rifer. Tav.1).

La presenza in affioramento di depositi marini in questa porzione di pianura è di notevole significato geodinamico, in quanto testimonia della sensibile attività neotettonica che ha interessato l'area in oggetto (Boni A. et alii, 1980), condizionandone le caratteristiche idrogeologiche (rifer. cap.3).

## 2.3 ASSETTO GEOLOGICO – STRUTTURALE

L'assetto geologico della porzione di Pianura Padana compresa nell'Oltrepò pavese, pur rivelando quale motivo di fondo la sovrapposizione di una coltre alluvionale deposta dal Fiume Po e dai suoi affluenti appenninici 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 oltrepadana prospiciente il margine settentrionale dei rilievi collinari appenninici nel tratto tra Casteggio (15 Km circa a SW dell'area oggetto di studio) e Stradella (a S della medesima), è caratterizzato dalla vicinanza al piano campagna di un substrato roccioso costituito da peliti e/o marne grigio-azzurre o cineree, di età compresa tra il Tortoniano superiore e il Pliocene inferiore, presumibilmente riferibili rispettivamente alla formazione delle "Marne di Sant'Agata Fòssill" e delle "Arenarie di Monte Arzòlo" in subordine.

La coltre alluvionale presenta in queste aree uno spessore compreso tra un minimo di 12-13 metri ed un massimo di 25 metri, mentre la superficie di appoggio tra le stesse alluvioni e il substrato degrada costantemente procedendo da Sud verso Nord, con inclinazioni assai variabili da luogo a luogo, in funzione sia della conformazione strutturale del basamento che della distanza dal piede delle colline. La vicinanza dei terreni marini al piano campagna a delle profondità non elevate su di un'area la cui effettiva ampiezza risulta essere attorno ai 10 km (dai rilievi collinari di Broni-Stradella in direzione NW fino all'abitato di Casanova Lonati, passando per Barbianello - rifer. Fig.2- e in direzione NE fino ad oltrepassare il fiume Po passando per San Cipriano e Portalbera -rifer. Fig.3), si spiega con la presenza di un alto strutturale costituente una vera e propria platea morfo-tettonica, delimitata a settentrione dal ciglio erosionale impostato lungo il fronte di accavallamento appenninico, caratterizzato da forte acclività ed immergente verso Nord.

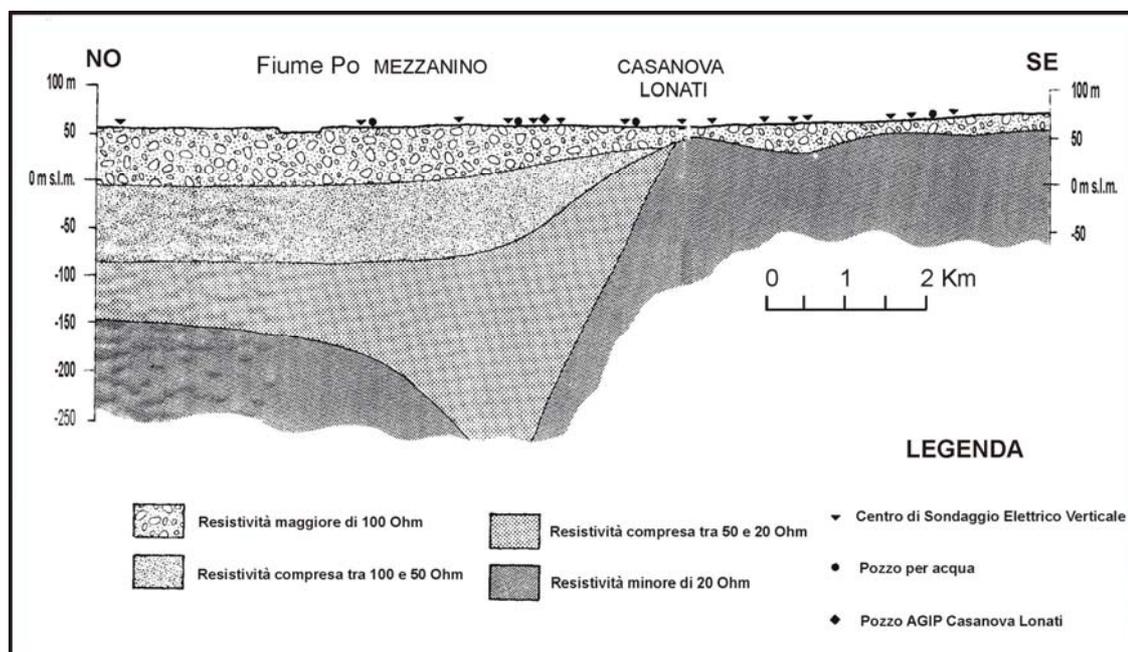
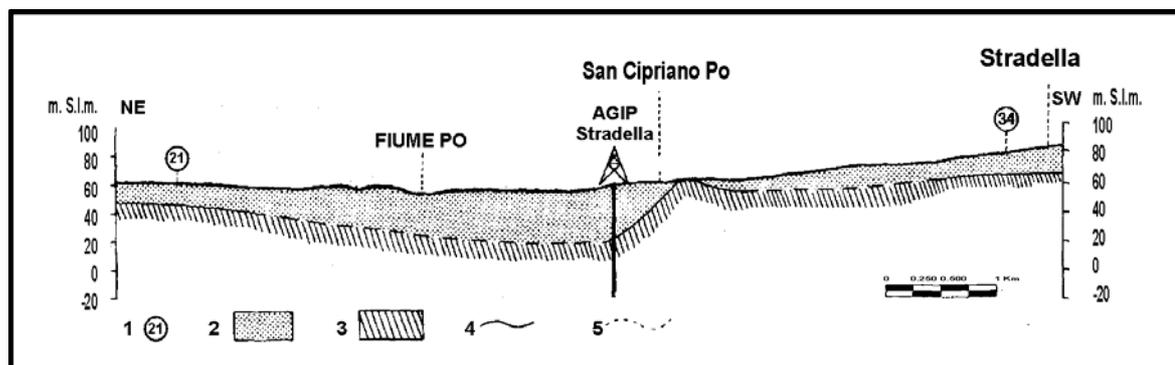


Fig. 2 Profilo elettrostratigrafico della "platea" individuata nel sottosuolo del settore sud-orientale della Pianura Pavese, da BRAGA G. et al., 1988



*Fig. 3* Andamento del tetto del substrato marino lungo la direttrice Portalbera – San Cipriano Po, DA ASSERETO E., 1980-1988.

Questa particolare struttura di interesse regionale, sepolta sotto le alluvioni padane e rilevata dall'AGIP nel corso delle sue prospezioni, finalizzate alla ricerca di idrocarburi, risulta caratterizzata da un tipico andamento ENE-WSW.

Probabilmente essa risulta essere stata attiva durante tutto il Quaternario, condizionando lo sviluppo verticale dei soprastanti sedimenti continentali, impedendone per periodi assai lunghi l'accumulo e consentendo la formazione di vere e proprie spianate di erosione dovute a processi erosivi - subaerei o di acque basse -, presenti con buona regolarità lungo le fasce pedemontane dell'Oltrepò pavese.

In definitiva risulta quindi che, in questo tratto di pianura oltrepadana, la coltre alluvionale si manifesta complessivamente con una minor potenza rispetto alle aree limitrofe a causa delle notevoli sopraelevazioni delle strutture terziarie sepolte; lo sviluppo dello stesso materasso alluvionale si attenua progressivamente dalla zona vogherese verso quella stradellina, in diretta relazione con un locale alto strutturale che porta a giorno il substrato marino lungo l'asta del Po tra San Cipriano, Portalbera e Spessa Po (refer. Tav.1).

## 2.4 GEOMORFOLOGIA

Il territorio comunale di Portalbera è caratterizzato dalla presenza dell'asta valliva del torrente Versa, i cui depositi si sovrappongono a quelli costituenti il ripiano principale della pianura oltrepadana e, in generale, della depressione del fiume Po che, a grandi linee, funge da asse di simmetria fra la pianura pavese a N e quella oltrepadana a S, determinandone l'attuale configurazione fisiografica.

Rispetto alle aree immediatamente circostanti, il settore oltrepadano della pianura pavese si caratterizza fisiograficamente da un minor sviluppo trasversale dei depositi alluvionali (lungo la direttrice Nord-Sud passante per Stradella e Portalbera essi non superano i 2 - 3 Km) e dalla generale maggiore acclività della superficie topografica.

In particolare, in corrispondenza dell'oltrepò nord-orientale, il ripiano costituente la "Superficie principale della pianura Padana" (refer. Tav.3), risulta impostato su un'unica superficie topografica degradante verso N con acclività media compresa tra lo 0,35 % (lungo la direttrice Broni - Campospino), e lo 0,50% (lungo la direttrice Stradella - Portalbera).

Le sole discontinuità morfologiche che caratterizzano detta superficie sono rappresentate:

1. dal terrazzo che, con scarpata variante tra i 2 ed i 4 metri, separa, lungo la direttrice San Cipriano Po – Portalbera - Arena Po, le alluvioni costituenti la " Superficie principale della pianura Padana" da quelle oloceniche (refer. Tav.3);
2. dai terrazzi, ad andamento convergente, ubicati in corrispondenza degli sbocchi delle vallate dei torrenti Scuropasso e Versa (tra Broni e Stradella);
3. dai lembi residui dei terrazzi incisi dal Po nei depositi pleistocenici più antichi addossati ai piedi dei rilievi collinari.

La sensibile acclività del piano campagna e la scarsa evidenza dei terrazzi fluviali sono i connotati fisiografici che maggiormente caratterizzano il territorio in esame e lo differenziano sensibilmente dalla prospiciente "*pianura pavese s.l.*".

La causa di queste caratteristiche morfologiche peculiari deriva dal fatto che la pianura oltrepadana è di tipo pedemontano, impostata cioè su una serie di conoidi coalescenti, ubicate agli sbocchi dei corsi d'acqua appenninici, assai numerosi e prossimi l'un l'altro.

La presenza delle suddette conoidi rende ragione della locale maggiore acclività del piano campagna, del mancato sviluppo dei terrazzi fluviali verso il Fiume Po e del carattere di pensilità dei corsi d'acqua, tra i quali il torrente Scuropasso.

Da sottolineare come l'azione antropica ha localmente modificato alcuni tratti delle originali scarpate morfologiche che delimitavano i diversi ripiani alluvionali. Nei pressi di C.na Gramegna e San Pietro, la modesta scarpata che separa i depositi della superficie principale della pianura Padana da quelli più recenti (alluvioni antiche del torrente Versa), risulta localmente modellata da interventi antropici (sbancamenti e riprofilature), eseguiti presumibilmente nei secoli scorsi. Tra C.na Durina e San Pietro inoltre, la presenza di una traccia di paleomeandro testimonia la marcata tendenza alla divagazione del torrente Versa in età olocenica.

Per quanto riguarda la dinamica fluviale e in particolare l'evoluzione dei tratti in erosione del fiume Po negli ultimi secoli tra San Cipriano Po e Portalbera, è interessante notare come, in corrispondenza del settore settentrionale del territorio comunale, dove nella cartografia ufficiale (I.G.M.; C.T.R.) viene riportata la Roggia Lancone, sino al 1914 scorreva il Fiume Po (refer. Fig.4).

Altri elementi morfologici, seppur di chiara natura antropica, sono rappresentati dalla arginatura del fiume Po, la quale si eleva di circa 7 metri rispetto alla piana circostante.

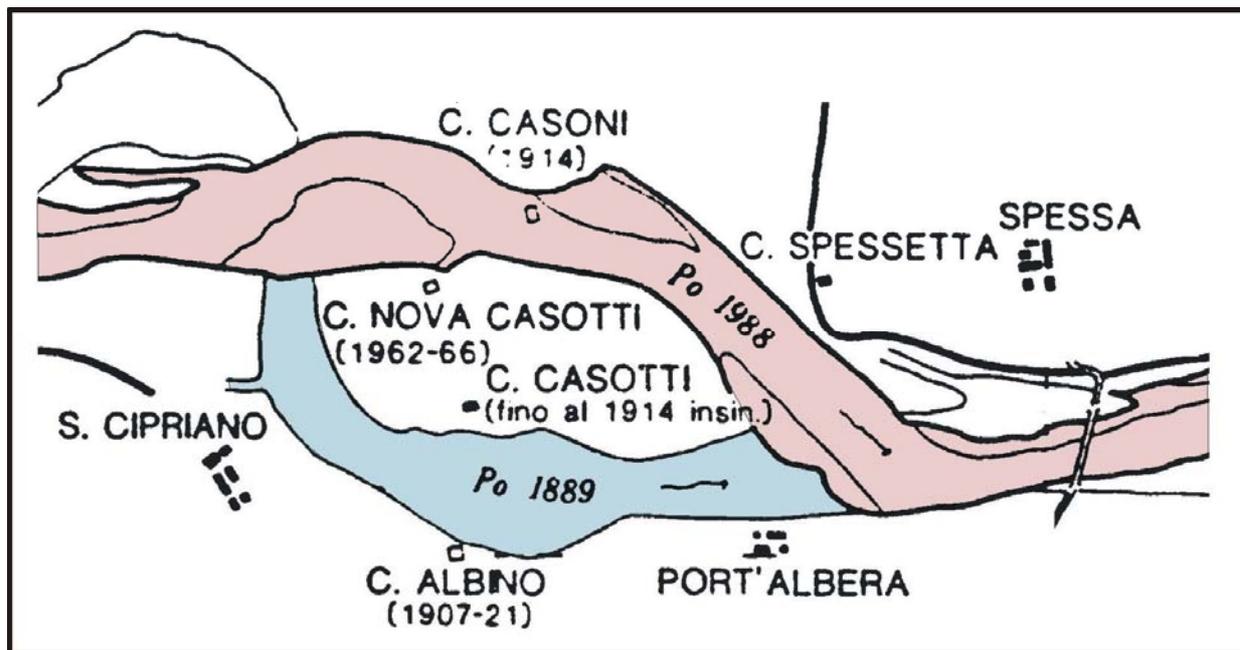


Fig. 4 Evoluzione dei tratti in erosione del fiume Po in località Spessa Po e Portalbera.

Tratto da: "Intensità di processi erosivi lungo le sponde del fiume Po in territorio Pavese" Suolosottosuolo – Congresso Internazionale di Geoingegneria – Torino 27-30 settembre 1989

## 2.5 ASPETTI PEDOLOGICI E DI USO DEL SUOLO

Per quanto concerne gli aspetti pedologici, si fa riferimento allo studio Progetto "Carta Pedologica" Regione Lombardia (E.R.S.A.L. 2001), ed in particolare ai volumi "I suoli della Pianura Pavese Centrale - serie SSR n°33" e "I suoli dell'Oltrepò Pavese - serie SSR n°34".

La metodologia d'indagine seguita dall'E.R.S.A.L. ha consentito la suddivisione del territorio lombardo in sistemi, unità e sottounità pedo-paesaggistiche, distinte sulla base di criteri idro-geomorfologici.

In particolare, in corrispondenza del territorio studiato, è presente solamente uno dei cinque sistemi di pedopaesaggio con cui viene catalogato il territorio regionale: *il sistema delle valli alluvionali della pianura (V)*, suddiviso in diversi sottosistemi e unità di paesaggio, rappresentanti ambiti morfologici e pedogenetici più circoscritti (refer. Tav.2 "CARTA PEDOLOGICA").

Il sistema delle valli alluvionali di pianura (V) comprende la parte di pianura olocenica, ed è divisibile in due sottosistemi:

- *il sottosistema delle superfici influenzate dalle dinamiche fluviali appenniniche (VP)*
- *il sottosistema delle piane alluvionali inondabili poste sotto l'influenza del fiume Po (VA)*

Da un punto di vista generale, le differenze fra i suoli dei due sottosistemi, basate su differenti fonti di apporto alluvionale, si estrinsecano principalmente in termini tessiturali (nell'area del Po le tessiture "coarse" prevalgono su quelle "fine", al contrario di quanto avviene nell'ambito della piana appenninica) e di contenuto in carbonati (più poveri in carbonati i suoli della piana del Po, mediamente più ricchi gli altri).

Il sottosistema VP ha suoli con un'ampia gamma di situazioni pedogenetiche: nei lembi residuali di piana antica, probabilmente attribuibili al Wurm, si riscontrano ancora suoli con evidenze di migrazione dell'argilla in profondità (*Haplustalfs*), mentre nella parte alta della pianura e sui dossi sono diffusi i suoli con orizzonte profondo di alterazione (*Ustochrepts*), che, nei termini più evoluti (Olocene antico), presentano una evidente perdita di carbonati negli orizzonti superficiali e conseguente accumulo dei medesimi a profondità comprese fra il metro ed il metro e mezzo.

In aree di valle antica sono diffusi suoli caratterizzati da un'elevata dinamicità delle argille (*Haplusterts*), talvolta con evidenti orizzonti ad accumulo di carbonati (*Calciusterts*), ma non sono rari quelli con orizzonti superficiali a deciso arricchimento di sostanza organica (*Calciustolls*).

Nelle valli recenti la dinamicità delle argille non è più il carattere dominante (*Ustochrepts*), mentre, nelle parti più depresse, predominano le evidenze legate alla difficoltà di drenaggio e alla presenza di falde sottosuperficiali (*Endoaquepts*).

Nel sottosistema VA 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).

Dal punto di vista agronomico il suolo che si sviluppa su questi terreni è da considerare complessivamente abbastanza fertile: la superficie agricola è costituita da seminativi in rotazione e colture erbacee poliennali.

Ormai scomparse in tutta l'area, se non su appezzamenti di ridottissime dimensioni destinati all'autoconsumo familiare, le colture arboree da frutta e il vigneto, che, ancora 50 anni or sono, risultava dominante. Rivestono infine particolare importanza anche le estese superfici a pioppeto concentrate nella fascia prossima al corso del fiume Po.

SISTEMA	SOTTOSISTEMA	UNITA'
V Valli alluvionali corrispondenti ai piani di divagazione dei corsi d'acqua attivi o fossili, rappresentanti il reticolato idrografico olocenico.	VP Pianure alluvionali pedeappenniniche. Piana dell'Oltrepo Pavese costituita da sedimenti fluviali recenti deposti dalle divagazioni dei torrenti appenninici; prevalgono sedimenti argilloso - limosi. Questo sottosistema identifica una superficie di età olocenica più recente del livello fondamentale della pianura, ma rilevata rispetto all'attuale piana olocenica del fiume Po. Suoli generalmente meno evoluti e sviluppati di quelli del sottosistema VT, ma più evoluti di quelli del sottosistema VA.	<p><b>VP 1</b> Superfici residuali corrispondenti al più antico livello di alta pianura, per la massima parte smembrato e sepolto dalle alluvioni successive e preservato solo in ristretti settori interessati da importanti sollevamenti tettonici. <u>Numero Unità Cartografica 24</u></p> <p><b>VP 3</b> Superfici modali antiche, a morfologia subpianeggiante o lievemente ondulata, solo marginalmente interessate dagli apporti alluvionali più recenti. Su di esse si riscontrano talvolta tracce di antichi ordinamenti agrimensori (centuriazioni). <u>Numero Unità Cartografica 32</u></p> <p><b>VP 5</b> Depressioni antiche di forma sub-circolare costituita da sedimenti fini, con frequenti problemi di smaltimento esterno delle acque; uso del suolo a seminativo (mais, soia, frumento). <u>Numero Unità Cartografica 39</u></p> <p><b>VP 7</b> Fondivalle montani dei principali corsi d'acqua appenninici, compresi tra i terrazzi antichi e le fasce maggiormente inondabili limitrofe ai corsi d'acqua, da cui sono generalmente separati da gradini morfologici: uso del suolo a vite e seminativo. <u>Numero Unità Cartografica 44</u></p>
	VA Piane alluvionali inondabili con dinamica prevalentemente deposizionale, costituite da Sedimenti recenti od attuali (Olocene recente ed attuale).	<p><b>VA 2</b> Superfici subpianeggianti a forma di lobo, lingua o ventaglio derivanti da rotte di argini artificiali o naturali, sono diffuse soprattutto nelle piane di tracimazione e meandriformi; uso del suolo a seminativo (frumento, mais). <u>Numero Unità Cartografica 45</u></p> <p><b>VA 7</b> Superfici sede di passata attività fluviale corrispondenti ad alvei e meandri sovradimensionali rispetto ai corsi d'acqua che vi scorrono attualmente e a conche lacustri o palustri parzialmente bonificate, caratterizzate da marcati fenomeni di idromorfia; uso del suolo a seminativo (mais, soia). <u>Numero Unità Cartografica 50</u></p> <p><b>VA 6</b> Superfici adiacenti ai corsi d'acqua ed isole fluviali inondabili durante gli eventi di piena ordinaria. Nelle piane di tracimazione ed a meandri coincidono con le "golene aperte"; nelle piane a canali intrecciati e rettilinei si identificano con gli alvei di piena a vegetazione naturale riparia. <u>Numero Unità Cartografica 52-53</u></p>

Tabella 1 - Sistema, sottosistemi e unità di paesaggio delle valli alluvionali di pianura (V)

## 2.6 INQUADRAMENTO CLIMATICO

Diverse sono le classificazioni del clima proposte per la zona dell'Oltrepo Pavese dai diversi autori. In generale, il "versante padano dell'Appennino" è associate alla zona di pianura e collinare, mentre viene distinta la parte montana (Rossetti, 1994). A titolo di esempio, secondo la classificazione di Pinna del 1970, i limiti termici e pluviometrici dell'Oltrepo Pavese fanno rientrare la zona di pianura e quella collinare nel *clima temperato sub-continentale* e quello montano nel *temperato fresco*.

L'Oltrepo Pavese, in relazione alla conformazione morfologica, è caratterizzato infatti da condizioni di notevole variabilità tra la fascia di pianura e l'area montana. I valori medi registrati in un periodo superiore ai 50 anni mostrano che le temperature medie annue variano tra i 12.4 °C della pianura (Voghera, 93 metri s.l.m.) a valori di 11.4 °C nella zona collinare (Montalto Pavese, 466 metri s.l.m.) mentre per la zona montana (Brallo di Pregola, 951 metri s.l.m.) si hanno informazioni solo per un periodo più breve che indicano una media di 8.5 °C.

Le precipitazioni, relative all'Oltrepo pavese e a zone finitime, sono invece registrate in un maggior numero di stazioni e mostrano uno scostamento da 706 mm/anno di Voghera ai 1418 mm/anno di Casale Staffora (1079 metri s.l.m.) attraverso i 785 mm/anno di Montalto Pavese.

La distribuzione delle piogge sia nello spazio che nell'arco dell'anno, mostra che nell'Oltrepo Pavese si ha un incremento da NO verso SE e che, mediamente, si hanno due massimi rispettivamente nei mesi di novembre (massimo assoluto) e di maggio e due minimi nei mesi di luglio (minimo assoluto) e di gennaio.

I dati pluviometrici utilizzati si riferiscono alla stazione meteorologica di Voghera.

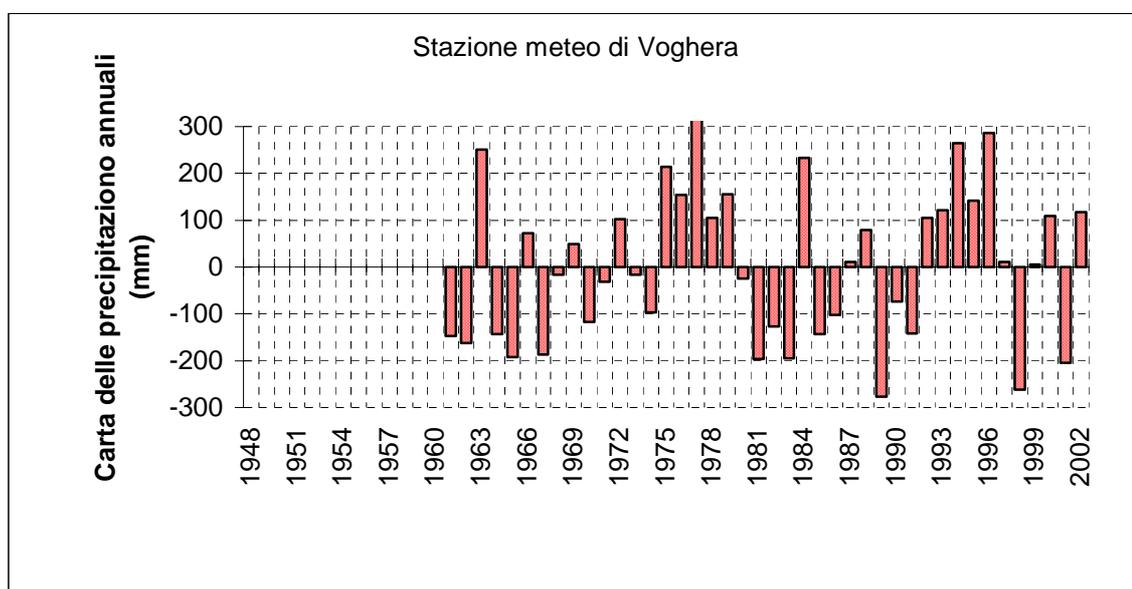
Al fine di valutare l'andamento delle precipitazioni si è realizzato un grafico (Fig. 5) su cui sono riportati i deficit / surplus di precipitazioni annue calcolati come differenza rispetto al valore medio calcolato per il periodo compreso tra il 1951 ed il 2000, pari a 706 mm.

Dall'analisi del grafico emerge che i periodi di siccità riferiti alla media del periodo sono stati seguenti:

- dal 1961 al 1962 con un deficit minimo di -162.9 mm
- dal 1964 al 1965 con un deficit minimo di -192.11 mm nel 1965
- dal 1967 al 1968 con un deficit minimo di -186.4 mm nel 1967
- dal 1970 al 1971 con un deficit minimo di -116.7 mm nel 1970
- dal 1973 al 1974 con un deficit minimo di -96.0 mm nel 1974
- dal 1980 a fine 1983 con due picchi, nel 1981 di -196.5 mm e nel 1983 con -195.4 mm
- dal 1985 al 1986 con un picco di - 142.7 mm nel 1985
- dal 1989 al 1991 con un picco di -277.6 mm nel 1989
- nel 1998 con un picco di -262.3 mm
- nel 2001 con un picco di -204.3 mm

Mediante un'analisi finale dei risultati possiamo concludere che i maggiori periodi di siccità si sono verificati nei seguenti anni:

- 1962 con un picco di -162.9 mm
- 1965 con un picco di -192.11 mm
- 1981 con un picco di -196.5 mm
- 1989 con un picco di -277.6 mm
- 1998 con un picco di - 262.3 mm



*Fig. 5 Scartamento medio annue di pioggia caduta rispetto al valore medio di 706 mm calcolato per il periodo che va dal 1951 al 2000*

Da i dati in possesso siamo in grado di poter concludere dicendo che nel cinquantennio considerato ci sono stati numerosi periodi di notevole siccità, accompagnati da periodi eccezionalmente piovosi, fattore di predisposizione per il fenomeno del ritiro rigonfiamento.

### 3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

#### 3.1 IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Per quanto riguarda l'idrografia di superficie l'elemento dominante è rappresentato dal Fiume Po dal torrente Versa. L'idrografia secondaria è rappresentata da una 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) dotati di modeste portate (rifer. Tav. 4 e Tav. 6).

In corrispondenza dei terreni del fluviale Recente, la loro diffusione è strettamente legata alla scarsa permeabilità del terreno superficiale (copertura e substrato pedologico), di natura prevalentemente limoso - argillosa, depositosi a seguito dell'intensa azione di colluviamento operata dalle acque meteoriche sulle formazioni a prevalente componente terrigena formanti i rilievi collinari che si affacciano con ripide pendenze sulla pianura.

Nella fascia di meandreggiamento recente del fiume Po l'impermeabilità dei terreni superficiali (copertura e substrato pedologico) è data dalla presenza di limi di stanca, depositi dallo stesso fiume Po in concomitanza degli eventi alluvionali verificatisi in epoca storica. Poiché è risaputa l'interdipendenza che può esistere tra acque superficiali e falda freatica, è importante osservare che comunque i suddetti canali, attivi per la massima parte dell'anno, non essendo rivestiti disperdono nel sottosuolo notevoli quantità d'acqua.

#### 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"*

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 (rifer. Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO" e Tavola n°8 "CARTA DEI VINCOLI ESISTENTI").

I corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico principale che percorrono il territorio comunale di Portalbera, ovvero le cui fasce di rispetto interessano parte del territorio, iscritti nell'elenco delle acque pubbliche di cui al Testo Unico n°1775/1933 e riportati in evidenza nelle Tavole 6 e 8 (riferimento denominazione *allegato A* della D.G.R. n°7/13950/03) sono:

## 1. FIUME PO

## 2. TORRENTE VERSA

Essi sono stati individuati in Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO" mediante apposito codice alfanumerico (es: torrente Versa PV\_011), costituito per le prime due lettere dalla sigla della provincia di appartenenza e da un numero progressivo.

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 che percorrono il territorio comunale di Portalbera, 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, riportati in evidenza nella Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO" sono:

<i>PORT_001 – Scolo Bedo</i>	affluente del Fiume Po
<i>PORT_002</i>	affluente del Fiume Po
<i>PORT_003</i>	affluente del Fiume Po
<i>PORT_004</i>	affluente del torrente Versa
<i>PORT_005</i>	affluente del torrente Versa
<i>PORT_006</i>	affluente del torrente Versa
<i>PORT_007</i>	affluente del PORT_006

In particolare, *PORT\_002* segue per buona parte del tracciato il confine comunale con Stradella, mentre l'alveo di *PORT\_005* coincide per un breve tratto con il confine comunale di Arena Po.

Per ciascun corso d'acqua appartenente al reticolo idrico principale e minore sono state identificate delle fascia di rispetto e normate le attività vietate o soggette ad autorizzazione (refer. Paragrafo 4.4 e capitolo 5 delle "Norme geologiche di Piano").

Seguono le schede tecniche descrittive dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico principale (Tabella 2) e al reticolo idrico minore (Tabelle 3), 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:

- 1) alla sorgente, ovvero punto di entrata nel territorio comunale, e foce, ovvero punto di uscita dal territorio comunale (reticolo idrico principale)
- 2) all'inizio e alla fine del tratto di competenza comunale (reticolo idrico minore)

Sulla base dei rilievi eseguiti, in Tabella 4 viene infine fornito il quadro complessivo del reticolato idrografico minore, con indicate le lunghezze dei tratti inclusi nel territorio comunale di Portalbera ed i relativi dislivelli altimetrici dei percorsi cartografati.

Le derivazioni terziarie ed i fossi di scolo secondari, comunque identificati in Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO", 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.

<b>Sigla identificativa PV_001</b>		
Denominazione cartografica		
IGM: <b>Fiume Po</b>	CTR: <b>Fiume Po</b>	CATASTALE: <b>Fiume Po</b>
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A	<b>Fiume Po</b>	<b>PV001</b>
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933	<b>Fiume Po</b>	<b>001</b>
Coordinate Gauss Boaga		
	Longitudine	Latitudine
Sorgente / punto di entrata nel territorio comunale	1 525 722	4 994 643
Foce / punto di uscita dal territorio comunale	1 526 647	4 994 205
<b>Sigla identificativa PV_001</b>		
Denominazione cartografica		
IGM:	CTR: <b>Roggia Lancone</b>	CATASTALE:
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A	<b>Fiume Po</b>	<b>PV001</b>
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933	<b>Fiume Po</b>	<b>001</b>
Coordinate Gauss Boaga		
	Longitudine	Latitudine
Sorgente / punto di entrata nel territorio comunale	1 523 785	4 994 459
Foce / punto di uscita dal territorio comunale	1 525 844	4 994 424
<b>Sigla identificativa PV_011</b>		
Denominazione cartografica		
IGM: <b>Torrente Versa</b>	CTR: <b>Torrente Versa</b>	CATASTALE: <b>Torrente Versa</b>
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A	<b>Torrente Versa</b>	<b>PV011</b>
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933	<b>Torrente Versa</b>	<b>033</b>
Coordinate Gauss Boaga		
	Longitudine	Latitudine
Sorgente / punto di entrata nel territorio comunale	1 524 745	4 992 563
Foce / punto di uscita dal territorio comunale	1 526 070	4 994 289

**Tabella 2**

*Scheda tecnica reticolo idrico principale del territorio del Comune di Portalbera*

<b>Sigla identificativa</b> PORT_001			
Denominazione cartografica			
IGM:	Scolo Bedo	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		1 524 336	4 993 134
Termine tratto di competenza comunale		1 525 539	4 994 387
<b>Sigla identificativa</b> PORT_002			
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		1 523 633	4 993 446
Termine tratto di competenza comunale		1 523 747	4 994 178
<b>Sigla identificativa</b> PORT_003			
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		1 524 713	4 993 767
Termine tratto di competenza comunale		1 524 764	4 994 017
<b>Sigla identificativa</b> PORT_004			
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		1 524 268	4 993 061
Termine tratto di competenza comunale		1 524 419	4 993 810
<b>Sigla identificativa</b> PORT_005			
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		1 526 310	4 993 610
Termine tratto di competenza comunale		1 526 607	4 994 174

Tabella 3/A

Scheda tecnica reticolo idrico minore del territorio del Comune di Portalbera

<b>Sigla identificativa PORT_006</b>			
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	1 525 866	4 993 170	
Termine tratto di competenza comunale	1 525 814	4 993 855	

<b>Sigla identificativa PORT_007</b>			
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	1 525 774	4 993 135	
Termine tratto di competenza comunale	1 525 747	4 993 339	

Tabella 3/B

Scheda tecnica reticolo idrico minore del territorio del Comune di Portalbera

<b>Tabella di identificazione del reticolo idrico minore</b>					
Sigla	Denominazione	Lunghezza	Percorso Cartografato	Foce	Note
PORT_001	Scolo Bedo	1815 m	da 68,4 m a 59 m s.l.m.	PV 001	Tratto tombinato da quota 63,5 m s.l.m. alla foce
PORT_002		710 m	da 64 m a 59,2 m s.l.m.	PV 001	
PORT_003		640 m	da 64,1 m a 61,2 m s.l.m.	PV 001	
PORT_004		1500 m	da 69 m a 59 m s.l.m.	PV 011	Tratto tombinato da quota 67,5 m a 65,2 m s.l.m.
PORT_005		670 m	da 64 m a 58 m s.l.m.	PV 001	
PORT_006		805 m	da 64,5 m a 57,5 m s.l.m.	PV 011	
PORT_007		210 m	da 64,5 m a 63,2 m s.l.m.	PORT_006	

Tabella 4

Reticolo idrico minore del Comune di Portalbera

Nella Tavola 6 viene riportato anche l'originale percorso dello Scolo Bedo. Si tratta di una derivazione ad uso irriguo che trae origine, in territorio comunale di Stradella, dalla Roggia Bedo (rifer. Cartografia I.G.M. scala 1:25.000 Foglio 59 quadrante II Tavola NW).

La Roggia Bedo, opera di derivazione ad uso irriguo utilizzata a partire da fine '800 e fino all'inizio degli anni '50, trae origine dal torrente Versa all'incirca in corrispondenza del bivio tra la S.P. 201 e la S.C. per Montù Beccaria. Attualmente, anche a seguito di alcune opere di rettifica dell'alveo del torrente Versa risalenti ai primi anni '60, la Roggia Bedo non risulta più in diretta connessione con lo stesso Versa.

La Roggia Bedo attraversava l'abitato di Stradella in parte a cielo aperto ed in parte tombinata. A Nord del tracciato della linea ferroviaria Torino - Bologna, la Roggia Bedo si biforcava, dando origine allo Scolo Bedo, il quale, in corrispondenza dell'abitato di Portalbera, si immetteva nel fiume Po. Attualmente il tratto terminale dello Scolo Bedo risulta tombinato (rifer. Tav.6).

Per quanto riguarda il tratto a cielo aperto valgono le stesse considerazioni relative alle derivazioni terziarie e ai fossi di scolo secondari: l'onere della manutenzione periodica e' mantenuto a carico dei singoli proprietari frontisti.

Per i corsi d'acqua naturali appartenenti al reticolo idrico minore di cui alla Tabella 4, nel corso dell'indagine sono stati rilevati:

- le potenziali limitazioni al regolare deflusso idrico di origine antropica (tombinature);
- le aree potenzialmente esondabili (individuate esclusivamente su base geomorfologica).

Per quanto riguarda quest'ultimo punto ed in base alle informazioni raccolte, non risultano registrati rilevanti episodi di tracimazione, anche in relazione ai ridotti bacini di pertinenza, che raccolgono le colature dei campi e le acque in eccesso del reticolato irriguo. Sono noti solamente sporadici eventi che hanno interessato in parte l'alveo di alcuni di questi corsi d'acqua (in particolare *PORT\_001 - Scolo Bedo* - vedi Tavola 6), con conseguente allagamento dei campi limitrofi.

Per quanto riguarda i manufatti censiti e cartografati (tombinature), si segnala come in alcuni punti gli alvei dei corsi d'acqua mappati necessitano di una evidente manutenzione, con asportazione dello strato vegetale (terreno organico, ceppaie e radici) sul fondo e sui fianchi.

### 3.3 IDROGRAFIA SOTTERRANEA

#### 3.3.1 ASSETTO IDROGEOLOGICO GENERALE DELL'AREA

Dal punto di vista idrogeologico, per quanto riguarda l'area esaminata, i dati e le informazioni sia di carattere generale che applicativo riportate nel presente paragrafo ed in quelli seguenti (da 3.3.1 a 3.3.3), fanno in gran parte riferimento ai contenuti della pubblicazione "*Considerazioni idrogeologiche sulla pianura bronese - stradellina*". Quaderni delle acque sotterranee n°5 PELOSO G.F. (1995), ed ai dati idrogeologici gentilmente forniti dall'Azienda Consorziale Acquedotti Oltrepò Pavese S.p.A. di Portalbera.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico generale dell'area, le numerose stratigrafie di pozzi trivellati ad uso idropotabile, la maggior parte dei quali ancora in esercizio (rifer. Tav.4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO"), evidenziano come nell'area in esame sia presente una situazione idrogeologica caratterizzata dalla presenza di un unico acquifero, posto al passaggio tra i depositi pelitici continentali e quelli marini.

Esso rappresenta, di gran lunga, la principale fonte di approvvigionamento a scopo idropotabile di tutto l'Oltrepò orientale, essendo l'unico - fino a pochi anni fa - al quale attingevano i pozzi pubblici.

Detto acquifero è caratterizzato da una potenza assai variabile, essendo compresa tra un minimo di 1.50 metri (località Cascina Frega in comune di Arena Po) ed un massimo di 11.50 metri (pozzo Cassinassa 5 in comune di Portalbera), per quanto attiene all'area studiata.

L'assetto idrogeologico dell'acquifero emunto è condizionato non solo dall'andamento del tetto del substrato marino sul quale esso si appoggia e che nell'area in esame si rinviene a profondità variabili tra i 9-10 m ed i 16-18 metri dal piano campagna, ma anche dal vario sviluppo che i depositi impermeabili e semipermeabili, posti al suo tetto, assumono di volta in volta.

In particolare, detto acquifero presenta caratteristiche di falda in pressione, con indici di artesianità compresi tra 0.6 e 0.9, lungo tutto il margine pedecollinare e là dove i succitati depositi sono maggiormente sviluppati.

Al contrario, esso assume caratteristiche tendenti sempre più alla falda libera, pur avendo sempre a tetto depositi pelitici, in generale procedendo verso settentrione ed in particolare nell'ambito dei conoidi del torrente Versa, ove l'indice di artesianità presenta valori assai modesti: da meno di 0,1 a circa 0,3.

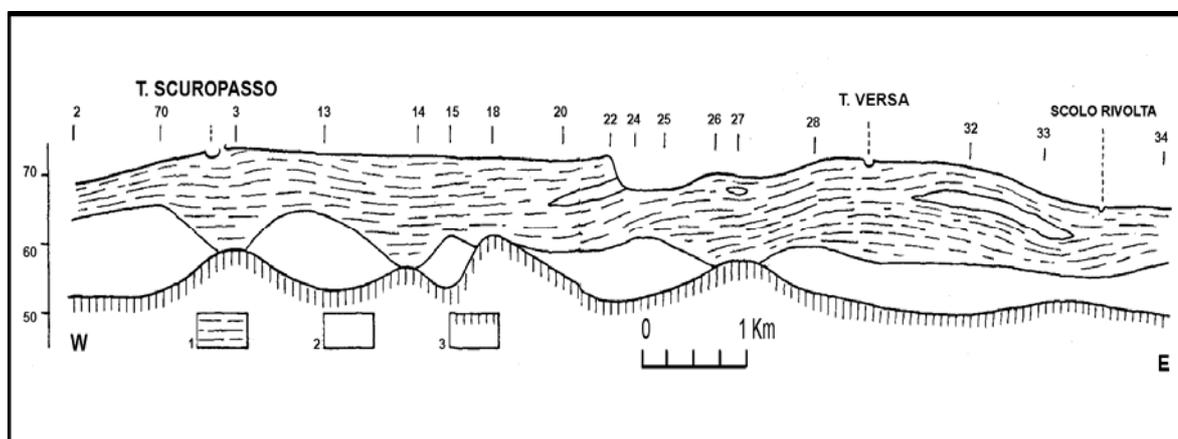
Le indagini litostratigrafiche hanno evidenziato come la continuità spaziale dell'acquifero sia nettamente condizionata dalla morfologia del tetto del substrato marino sul quale esso appoggia.

I profili tracciati a poca distanza dai rilievi collinari e con andamento parallelo agli stessi, mostrano chiaramente come detto acquifero sia, nella zona pedecollinare, frammentato da una serie di alti del substrato marino legati alla presenza di una paleosuperficie sepolta, continuazione verso settentrione della struttura che caratterizza lo "Sperone di Stradella" (fig.6).

In corrispondenza dei suddetti alti, le trivellazioni evidenziano una sovrapposizione diretta delle peliti continentali sui depositi marini e la serie stratigrafica risulta priva dei livelli permeabili che ospitano l'acquifero emunto.

La morfologia ad avvallamenti e rilievi, con dislivelli medi dell'ordine di alcuni metri che caratterizza la citata paleosuperficie è, verosimilmente, da imputarsi all'azione erosiva esercitata dal fiume Po quando quest'ultimo, durante il Pleistocene superiore, scorreva a ridosso dei rilievi collinari.

Gli avvallamenti, quindi, rappresenterebbero dei paleocanali d'erosione dovuti al divagare del Po medesimo.



**Fig. 6**

*Sezione rappresentativa delle condizioni litologiche del sottosuolo in prossimità del margine meridionale della pianura bronese-stradellina. 1) argille e limi quaternari; 2) sabbie e ghiaie; 3) depositi marini.*

Un ulteriore importante aspetto, per quanto attiene all'assetto idrogeologico dell'area in esame, è il fatto che, nella zona pedecollinare - grosso modo a cavallo della Strada Comunale Broni - San Cipriano Po -, è individuabile, sulla base della morfologia del substrato marino e della geometria dei depositi alluvionali, uno spartiacque sotterraneo principale, diretto all'incirca SSW - NNE (rifer. Tav.4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO").

Tale spartiacque, costituito da un alto strutturale secondario del substrato marino legato ad un disturbo tettonico riconducibile ad una faglia sub-verticale, separa due bacini idrogeologici dove la circolazione delle acque sotterranee risulta essere, rispettivamente, di pertinenza del bacino del torrente Versa (a Est) e dei torrente Scuropasso (a Ovest).

La carenza di dati relativi alla porzione settentrionale dell'area investigata, in corrispondenza, cioè, di quella parte di pianura al di sotto della quale si continua la dorsale sepolta che collega i terreni della collina pavese con il rilievo di San Colombano al Lambro, non permette di stabilire con quali modalità e caratteristiche il suddetto spartiacque prosegua verso settentrione; pertanto, allo stato attuale delle conoscenze, non si è in grado di verificare fino a che punto i bacini idrogeologici siano indipendenti l'uno dall'altro.

Peraltro, va segnalato il fatto che il chimismo delle acque sotterranee emunte dall'acquifero è sensibilmente diverso a seconda che esse provengano da pozzi alimentati da acque di pertinenza del bacino del torrente Scuropasso o di quello del torrente Versa, e ciò, in linea di massima, vale anche per le acque captate dai pozzi più settentrionali.

In particolare, dal sottosuolo di Broni e di Campospinoso (bacino del torrente Scuropasso) vengono emunte acque nelle quali è presente un tenore in solfati (da 160 a 200 mq/l) almeno doppio rispetto a quello (da 70 a 90 mq/l) rilevato nelle acque dei pozzi della Centrale Durina (bacino del torrente Versa).

Anche in corrispondenza del territorio stradellino è stata evidenziata una situazione idrogeologica alquanto articolata.

L'aspetto più interessante è rappresentato dal fatto che a Sud di Portalbera, nell'area ove sono collocati i pozzi A.C.A.O.P. che fanno capo alla Centrale Durina, è presente poco a valle (rifer. Tav.4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO"), uno spartiacque sotterraneo, diretto circa WNW-ESE e costituito da un alto strutturale secondario (?) che corre, grosso modo, parallelo all'attuale corso del Fiume Po e che pertanto, sembrerebbe delimitare, almeno in questa zona, il bacino del torrente Versa da quello del fiume Po stesso.

Purtroppo, la carenza di dati riguardanti il sottosuolo della porzione di pianura in sinistra idrografica del torrente Versa non permette di stabilire se e con quali modalità la suddetta struttura prosegua verso occidente e, quindi, se essa vada, o meno ad innestarsi nel corpo principale della dorsale sepolta che, come già detto, prosegue verso NE la struttura dello "Sperone di Stradella"; è tuttavia verosimile che tale collegamento esista.

Le sezioni che intercettano trasversalmente la struttura in esame (fig.7) evidenziano come la stessa sia nettamente asimmetrica: infatti, procedendo dai rilievi collinari verso settentrione, dopo un primo tratto ove il tetto del substrato marino si mantiene a profondità comprese tra i -16 ed i -20 metri dal piano campagna, si può notare come lo stesso risalga rapidamente fino a portarsi a 8-9 metri dalla superficie del suolo, per poi riapprofondirsi, con pendenza sensibilmente più blanda, verso l'asta del Po.

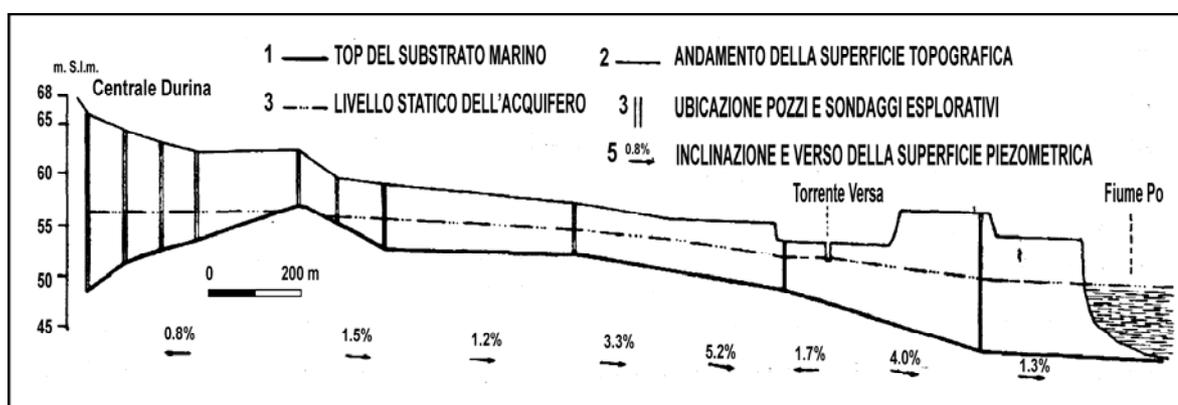


Fig. 7

*Profilo illustrativo dell'andamento del tetto del substrato marino dalla Centrale Durina verso NE  
(riproduzione dell'originale elaborato dal Consorzio Acquedotti Oltrepò Pavese di Portalbera).*

La presenza dell'alto in oggetto costituisce un elemento d'indubbio interesse nel quadro idrogeologico dell'area: infatti, poiché esso è ubicato a valle del campo di pozzi della Centrale Durina ed orientato circa W-E, ne consegue che tale struttura svolge una duplice funzione.

Da una parte costituisce un naturale ostacolo allo scorrimento verso settentrione del flusso idrico che percorre l'acquifero; dall'altra suddivide l'acquifero stesso in due settori: uno meridionale, più esteso ed interessato da una circolazione di acque di provenienza pedecollinare; l'altro,

settentrionale, arealmente più ridotto ed interessato non solo da scambi idrici con le acque di subalveo del torrente Versa, ma, verosimilmente, anche con quelle del Fiume Po.

Inoltre, nella porzione di territorio in esame il tetto del substrato marino è interessato da un'alternanza di alti e bassi, con dislivelli dell'ordine di qualche metro (rifer. Tav. 4A - "SEZIONI IDROGEOLOGICHE A-A' / B-B'"); in particolare, nel sottosuolo della località C.na Durina, dove, non a caso, è concentrato il maggior numero di pozzi captati, l'andamento del tetto del substrato marino presenta i maggiori dislivelli.

In particolare, in corrispondenza dei pozzi posti a cavallo della S.P. 200 "Stradella - Passi sul Po", viene individuata quella che sembra essere la "depressione" arealmente più ampia.

Tale depressione, che dovrebbe estendersi su di un'area stimata tra i 7 e gli 8 ettari, è interessata dalla presenza di sabbie grossolane e ghiaietto in livelli potenti 6-8 metri, per cui è sede di una "sacca" acquifera che costituisce uno dei punti di massima produttività di tutta l'area in esame (rifer. Tav.4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO" e Tav. 4A - "SEZIONI IDROGEOLOGICHE A-A' / B-B'", tra i pozzi DURINA 5 e ORZONI 2).

In occasione delle prove di portata effettuate su questi pozzi, sono state rilevate portate specifiche anche di 10-12 l/sec per metro di abbassamento del livello dinamico, contro i 2-4 l/sec dei pozzi trivellati nelle altre zone che fanno capo alla Centrale Durina.

### 3.3.2 PARAMETRI STATISTICI DELL'ACQUIFERO EMUNTO

Sulla base dei risultati di prove di portata ad emungimento costante effettuate sui pozzi della Centrale Durina, sono stati calcolati, relativamente all'orizzonte acquifero emunto, i parametri statistici più significativi, vale a dire: il coefficiente di permeabilità K e la trasmissività T.

#### 1) Coefficiente di permeabilità

Poiché i pozzi sui quali sono state effettuate le prove di portata sono sia di tipo "completo" (sfruttano, cioè, l'acquifero per tutto il suo spessore), che "incompleto" (solo una parte dell'acquifero è stata fenestrata), il coefficiente di permeabilità è stato calcolato utilizzando le Formule di Dupuit (in *Castany G., 1963*) per i primi e quelle di Babouchkine & Guirinsky (in *Castany G., 1963*) per i secondi.

Dall'analisi dei dati risulta che i valori di permeabilità sono da ritenersi, sulla base della classificazione elaborata da *Castany G. (1963)*, "buoni" in quanto rientrano, quasi tutti, nell'intervallo compreso tra  $10^{-1}$  e  $10^{-2}$  cm/s, in accordo con le caratteristiche litologiche degli acquiferi indicate dai documenti stratigrafici e, soprattutto, con quanto riscontrato dalle analisi granulometriche precedentemente illustrate.

#### 2) Trasmissività

L'acquifero emunto è nel complesso caratterizzato da trasmissività piuttosto modesta, essendo questa, mediamente, dell'ordine di  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

Nel bacino del torrente Versa si riscontrano sia le situazioni favorevoli, con  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, sia più critiche, con  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

Passando ad analizzare i valori di trasmissività su base giornaliera, si osserva che, per quanto attiene ai pozzi ubicati nell'ambito del bacino del torrente Versa, il parametro in esame varia dagli 0,16 m<sup>2</sup>/giorno del pozzo COVINI 3 ai 1,175 m<sup>2</sup>/giorno dei pozzo COVINI 1, e che, in quasi il 60% dei casi, non vengono superati i 200 m<sup>2</sup>/giorno (i valori di trasmissività calcolati su base giornaliera sono, di norma, compresi tra 10 e 10.000 m<sup>2</sup>/giorno e che solo quando il valore supera i 100 m<sup>2</sup>/giorno l'acquifero emunto è in grado di fornire quantitativi d'acqua sufficienti per le medie utenze).

In conclusione, facendo riferimento all'orizzonte emunto nel suo complesso, si può affermare che, essendo i coefficienti di permeabilità che lo caratterizzano abbastanza omogenei, i diversi valori di trasmissività sono principalmente da imputarsi al variare dello spessore cui attinge l'orizzonte stesso nei vari punti dell'area in esame, in relazione al particolare andamento della morfologia del tetto del substrato marino ed alla presenza delle strutture sepolte precedentemente illustrate.

### 3) Efficienza dei pozzi

Da un esame complessivo dei pozzi presenti nell'area in studio, appare chiaro che, a fronte di valori di permeabilità classificabili come "buoni", la resa dei singoli pozzi, sia come portata unitaria, sia come portata specifica, si attesta su volumi piuttosto bassi; volumi che, oltre tutto, in questi ultimi anni si sono sensibilmente ridotti.

In particolare, per quanto attiene alla Centrale Durina, si è passati da una produzione media annua di circa 3.000.000 di m<sup>3</sup> degli anni '80, a 1.792.298 m<sup>3</sup> del 1994.

Se, poi, si fa riferimento al 1979, anno in cui la produzione ha raggiunto la punta di 3.641.770 m<sup>3</sup>, si osserva come gli emungimenti siano passati dai 116 l/sec ai 57 l/sec del 1994, con una diminuzione del 51%.

In generale, la scarsa produttività della maggior parte dei pozzi è imputabile a fattori diversi e talora concomitanti, sia di ordine tecnico che idrogeologico.

Per quanto riguarda questi ultimi in particolare, la bassa potenzialità è da ricercarsi sia nel limitato sviluppo verticale dell'acquifero sia, soprattutto, nelle sue limitate capacità regolatrici.

Lo sviluppo lineare dell'acquifero in esame (definito come distanza tra le zone di alimentazione e quelle di drenaggio naturale) è, infatti, assai ridotto, dell'ordine di pochi chilometri. Pertanto, il suo bilancio idrico, tenuto anche conto che la velocità media delle acque sotterranee è stimabile tra i 400 ed i 500 metri/anno, è strettamente legato a cicli meteorici relativi ad un numero assai limitato (da 4 a 6 ?) di "annate idrologiche".

Da ciò ne consegue che "il tasso e la durata di rinnovamento delle acque sotterranee" - cioè i parametri che regolano i volumi ed i tempi di ricarica delle falde idriche - siano, nell'area studiata, poco favorevoli, soprattutto per quanto attiene alla potenzialità dell'acquifero emunto.

Quanto la situazione sia precaria è dimostrato dal fatto che la maggior parte dei pozzi facenti parte del campo della Centrale Durina sono, in base alla posizione dei livelli statici, da considerarsi artesiani, ma non appena entrano in funzione, anche con portate limitate (meno di 10 l/sec), assumono caratteristiche di pozzi freatici.

In tal modo, porzioni, spesso assai ampie, di filtro si trovano, durante la fase di emungimento, all'asciutto.

Infine, non va ignorata la possibilità che, almeno in qualche caso, le carenze produttive dei pozzi dipendano anche da problemi di ordine tecnico; tra questi, in particolare, dovrebbero essere attentamente valutati: l'addensamento dei pozzi; la posizione dei filtri e la loro compatibilità con la porosità efficace dell'acquifero; i fenomeni di incrostazione.

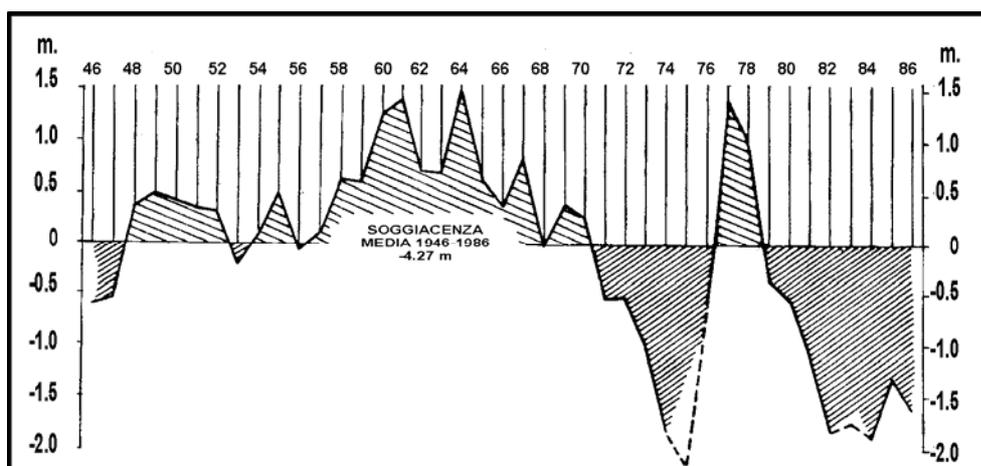
A tale proposito, ricordiamo che:

- a) sensibili interferenze tra i raggi d'azione dei singoli pozzi si hanno nella zona della Cascina Durina (ove in un'area di circa 0,5 Km sono stati trivellati ben 26 pozzi);
- b) meno di un terzo dei pozzi trivellati a scopo idropotabile è di tipo completo;
- c) l'acqua di falda è localmente ricca di carbonati, di solfati, di composti di ferro e manganese; tutti elementi che possono facilmente intasare i filtri attraverso la loro azione incrostante.

### 3.3.3 SOGGIACENZA DELL'ACQUIFERO EMUNTO

In Tabella 5 e Fig.8 viene illustrato, relativamente al periodo 1946-1986, l'andamento delle oscillazioni medie annue della soggiacenza dell'acquifero emunto misurata nella stazione piezometrica ubicata a quota 60,84 metri in destra idrografica del torrente Versa, poco a est della C.na Durina.

In particolare, gli Autori (Peloso G.F. & Cotta Ramusino S.,1989) evidenziavano come, a fronte di un andamento complessivamente positivo nel periodo 1948-1970, a partire dal 1971 e con le uniche eccezioni degli anni 1977 e 1978, il livello piezometrico del suddetto acquifero fosse disceso al di sotto della media annua relativa al quarantennio di osservazione, e come anche nei primi mesi del 1987 il trend continuasse ad essere negativo.



*Fig. 8* Andamento delle oscillazioni medie annue della soggiacenza dell'acquifero emunto, misurate nella stazione della Centrale Durina nel periodo 1946-1986, rispetto al valore medio dell'intero periodo.

anno mese	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
GEN.	4,88	<b>5,00</b>	<b>4,60</b>	3,83	3,68	4,32	3,92	<b>4,34</b>	<b>4,80</b>	3,84	4,36	<b>4,55</b>	3,97	3,89
FEB.	4,81	4,99	4,30	3,66	3,71	<b>4,34</b>	3,80	4,37	4,61	3,75	4,33	4,46	3,82	3,55
MAR.	4,13	4,95	3,95	<b>3,82</b>	3,65	4,21	3,86	4,36	4,48	3,57	<b>4,38</b>	4,33	3,68	3,55
APR.	<b>4,70</b>	4,61	3,80	3,83	3,56	3,95	3,70	4,36	4,02	<b>3,31</b>	4,47	4,14	3,42	3,55
MAG.	4,73	<b>4,48</b>	3,70	3,83	3,54	3,76	<b>3,60</b>	4,39	<b>3,74</b>	3,33	4,23	4,02	3,15	3,39
GIU.	4,78	4,73	<b>3,47</b>	3,62	<b>3,46</b>	<b>3,61</b>	3,75	4,54	3,76	3,55	4,04	3,93	<b>2,95</b>	<b>3,37</b>
LUG.	4,83	4,85	3,70	3,73	3,65	3,65	3,83	4,52	4,05	3,50	<b>4,03</b>	<b>3,90</b>	3,13	3,54
AGO.	4,95	4,86	3,92	<b>3,60</b>	3,90	3,68	3,96	4,50	4,10	3,73	4,13	4,04	3,34	3,48
SET.	5,08	4,86	3,73	3,70	3,94	3,81	4,14	4,54	4,20	3,90	4,38	4,07	3,71	3,82
OTT.	<b>5,12</b>	4,85	3,84	3,84	4,15	3,74	4,25	4,58	4,30	4,08	4,53	4,11	4,05	3,92
NOV.	5,07	4,90	3,90	<b>3,92</b>	4,34	3,92	<b>4,30</b>	4,64	4,20	4,17	<b>4,62</b>	4,13	<b>4,18</b>	<b>4,00</b>
DIC.	5,00	4,83	3,85	<b>3,83</b>	<b>4,35</b>	4,03	4,24	<b>4,77</b>	3,94	<b>4,22</b>	4,53	4,05	4,08	3,80
Media annua	4,89	4,83	3,90	3,77	3,83	3,92	3,95	4,49	4,18	3,75	4,34	4,15	3,62	3,65

anno mese	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
GEN.	3,35	3,12	3,31	4,10	3,04	<b>3,41</b>	3,87	3,71	<b>3,95</b>	4,60	<b>3,66</b>	4,60	5,55	5,02
FEB.	3,12	2,73	3,52	4,07	3,05	3,44	3,89	3,58	4,00	4,69	3,73	4,58	<b>5,59</b>	5,04
MAR.	2,94	2,47	3,62	4,15	3,02	3,52	3,87	3,50	4,08	<b>4,73</b>	3,80	4,59	5,53	4,97
APR.	2,64	<b>2,35</b>	3,47	4,17	2,73	3,52	<b>3,82</b>	3,30	4,10	4,50	3,87	4,50	4,90	4,90
MAG.	<b>2,37</b>	2,48	3,26	3,90	2,20	3,53	<b>3,82</b>	3,10	4,20	4,00	3,82	4,28	4,49	<b>4,88</b>
GIU.	2,48	2,42	<b>3,25</b>	3,66	<b>2,00</b>	3,58	3,83	3,03	4,30	3,60	3,79	<b>4,20</b>	4,31	4,97
LUG.	2,83	2,57	3,30	3,36	2,08	3,56	3,89	<b>3,02</b>	4,33	3,30	3,82	4,28	<b>4,21</b>	5,11
AGO.	3,02	2,84	3,38	3,25	2,48	3,65	3,93	3,18	4,44	<b>3,23</b>	3,95	5,06	4,32	5,38
SET.	3,10	3,03	3,60	3,38	2,78	3,72	3,98	3,40	4,48	3,27	4,15	5,35	4,50	5,59
OTT.	3,17	3,28	3,87	3,20	3,09	3,76	4,02	3,59	4,50	3,38	4,37	5,43	4,68	5,68
NOV.	3,38	3,46	<b>4,00</b>	<b>2,53</b>	3,30	3,87	<b>4,04</b>	3,80	<b>4,58</b>	3,50	4,44	5,50	4,82	5,78
DIC.	<b>3,43</b>	3,37	<b>4,00</b>	3,02	<b>3,37</b>	<b>3,90</b>	3,84	<b>3,90</b>	4,56	3,63	<b>4,53</b>	<b>5,55</b>	4,92	<b>5,87</b>
Media annua	2,99	2,84	3,55	3,57	2,76	3,62	3,90	3,43	4,29	3,87	3,99	4,83	4,81	5,27

anno mese	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	Media generale
GEN.	5,93	6,45	5,01	<b>3,60</b>	3,05	4,24	<b>5,25</b>	<b>4,86</b>	6,00	--	6,13	--	6,00	4,40
FEB.	5,92	<b>6,46</b>	5,01	3,24	2,95	4,26	5,23	4,93	6,00	--	<b>6,21</b>	--	5,99	4,36
MAR.	5,94	<b>6,53</b>	4,99	3,08	2,86	4,11	5,18	4,90	5,99	6,50	6,20	<b>5,98</b>	5,97	4,40
APR.	5,91	--	4,94	2,92	2,71	<b>3,90</b>	4,93	4,97	6,02	5,88	6,18	5,56	5,85	4,20
MAG.	5,93	--	4,88	2,68	2,56	4,12	4,73	4,95	6,01	5,62	6,17	<b>5,20</b>	5,82	4,07
GIU.	<b>5,90</b>	--	4,89	2,48	<b>2,53</b>	4,36	4,53	4,92	6,17	--	<b>5,99</b>	5,26	5,78	4,00
LUG.	5,91	--	4,89	<b>2,33</b>	2,97	4,78	<b>4,45</b>	5,44	--	--	6,09	5,32	<b>5,69</b>	4,01
AGO.	6,10	--	<b>5,18</b>	2,64	3,28	5,10	4,57	5,69	--	--	6,19	5,47	<b>5,80</b>	4,17
SET.	6,37	<b>6,28</b>	5,17	2,75	3,68	5,02	4,68	5,80	--	6,02	--	5,67	5,93	4,30
OTT.	6,41	--	5,12	2,79	4,02	<b>5,34</b>	4,80	5,92	--	--	--	5,72	6,03	4,41
NOV.	6,44	--	5,02	2,83	4,17	5,31	4,92	<b>5,96</b>	--	--	--	5,83	<b>6,16</b>	4,43
DIC.	<b>6,46</b>	--	<b>5,76</b>	2,96	<b>4,29</b>	5,28	4,89	<b>5,96</b>	6,50	--	6,20	5,91	--	4,46
Media annua	6,10	--	4,90	2,86	3,26	4,65	<b>4,84</b>	5,35	--	--	6,15	5,59	5,91	

Tabella 5

*Soggiacenza del livello piezometrico dell'acquifero emunto registrate nella stazione piezometrica di C.na Durina nel periodo 1946-1986. Nella tabella sono indicate: le medie mensili dei singoli anni, le medie annue, le medie mensili dell'intero periodo di osservazione. In grassetto corsivo le soggiacenze medie mensili minime; in grassetto tondo le soggiacenze medie mensili massime.*

A causa della continua diminuzione del livello piezometrico, accentuatasi negli anni 1988-1990 a seguito del lungo evento siccitoso che colpì l'Italia settentrionale, il piezometro, a partire dal 1987, prima funzionò in modo assai irregolare e poi venne disattivato in quanto si trovò, praticamente, all'asciutto.

Solo a partire dal Marzo 1994, a seguito della risalita del livello piezometrico dovuta ad una maggior intensità e continuità delle precipitazioni meteoriche, ma soprattutto, come visto, ad una drastica

riduzione degli emungimenti, è stato possibile riprendere le misurazioni nell'area dei campo di pozzi della Centrale Durina, tramite l'utilizzo di una rete costituita da nuovi piezometri.

Dall'elaborazione dei dati successivi, risulta che il livello piezometrico, pur essendo ancora negativo rispetto alla media del precedente quarantennio di osservazione, presenta oscillazioni stagionali omogenee con quanto osservato nel suddetto periodo.

In particolare, poi, si osserva un sensibile aumento (+ 70 cm) registrato nel novembre 1994 a dimostrazione di come l'acquifero abbia velocemente risentito delle particolari condizioni climatiche che hanno caratterizzato in quel periodo non solo l'area in esame, ma tutto il bacino padano e che sono state causa dei ben noti eventi alluvionali.

Da ultimo risulta che, mentre per il periodo 1969-1979 esiste una buona corrispondenza tra l'andamento degli emungimenti e le variazioni della soggiacenza del livello piezometrico, nel periodo 1979-1982, pur diminuendo gli emungimenti, il livello piezometrico ha continuato a deprimersi, ed anche negli ultimi anni di osservazione non vi è più corrispondenza tra i due andamenti. Tale fatto sembra confermare che, a partire dal 1979 le condizioni di potenzialità dell'acquifero, già alquanto precarie, si sono ulteriormente deteriorate.

### 3.4 CLASSI DI PERMEABILITÀ

In base all'analisi svolta, si possono individuare, in corrispondenza dell'areale studiato (rifer. Tav.4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO"), in via semplificativa quattro aree omogenee dal punto di vista della permeabilità, riferite alla tipologia dei terreni di copertura (terreni alluvionali di fondovalle ascrivibili al fluviale Recente, alle alluvioni Attuali e alle alluvioni Recenti):

- AREE A PERMEABILITÀ MEDIO-BASSA  
La quasi totalità dei depositi ascrivibili al fluviale Recente.
- AREE A PERMEABILITÀ MEDIA  
Formazione Gessoso - Solifera.  
Aree del fluviale Recente poste immediatamente a Nord dell'abitato di Stradella interessate dalla presenza di piccole falde sospese contenute entro la coltre di copertura del primo acquifero continuo.  
Alluvioni recenti ed antiche di fondovalle del torrente Versa, date da ghiaie e sabbie in matrice limosa, ricoperte da uno strato limoso - argilloso di spessore variabile ma in genere ridotto.
- AREE A PERMEABILITÀ MEDIO-ALTA  
Corrispondenti alla seguente Unità Cartografica di Suolo (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA"): U.C.S.\_45 - Sottunità VA2.1  
Ventagli di rotta del fiume Po a San Cipriano e Parpanese corrispondente a recenti episodi di tracimazione (1951,1994) e in parte sovrapposto a rotte di epoca precedente.
- AREE AD ELEVATA PERMEABILITÀ  
Alluvioni Attuali di fondovalle del torrente Versa: ghiaie e sabbie in matrice limosa.  
Pietraie e depositi fluviali attivi del fiume Po.

#### 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.

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

Figura 9 - 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. 10), unitamente al relativo rapporto tecnico-scientifico ([http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa\\_ps\\_apr04/italia.html](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.

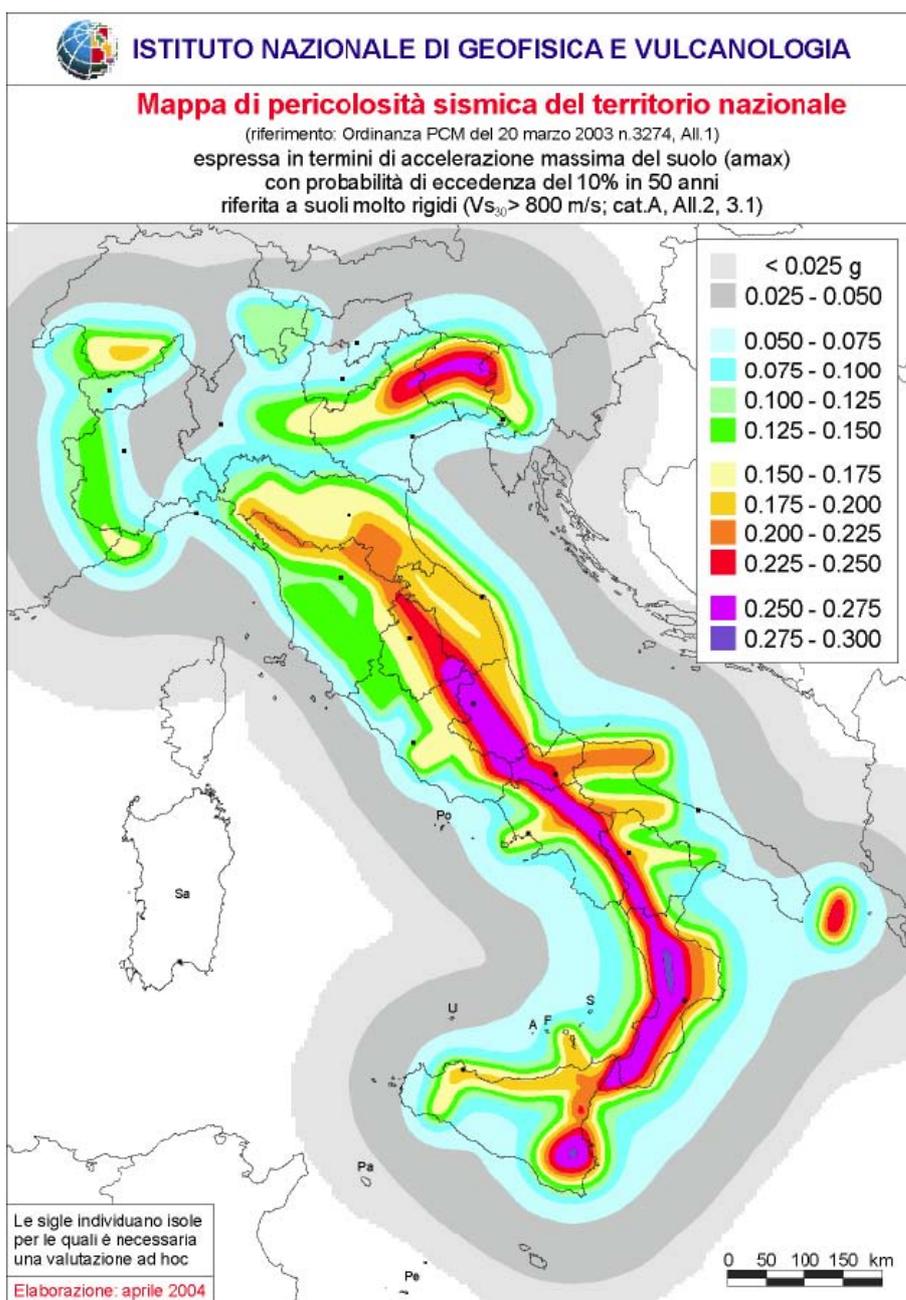


Figura 10 - Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV, aprile 2004)

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. 11), 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 ( $M = 5$ )

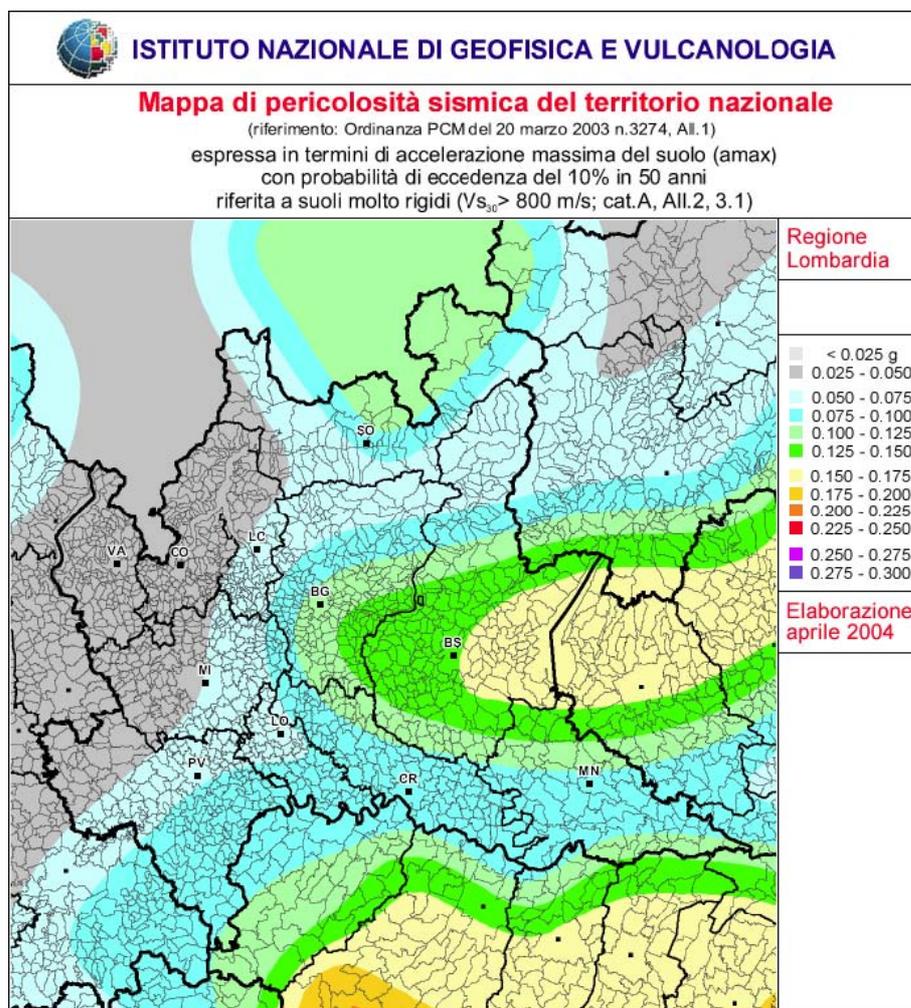


Figura 11 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale.  
 Dettaglio per la Regione Lombardia (INGV, aprile 2004)

#### *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 indotto 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 PORTALBERA (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 sismica al sito ( $I_s$ ) 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. 12) 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.

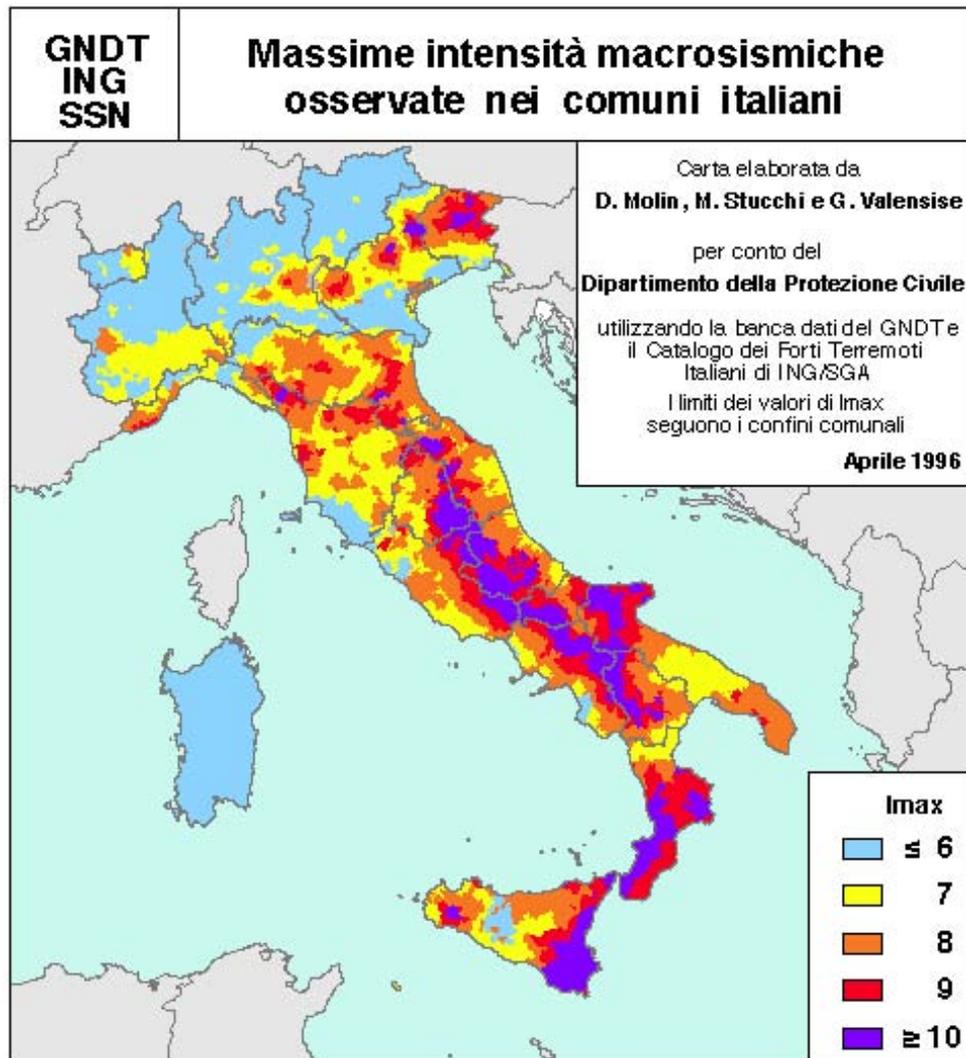


Figura 12 - Massime intensità Macrosismiche osservate in Italia (Fonte I.N.G.V.)

In Figura 13 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 ( $I_{max} = 7$ ).

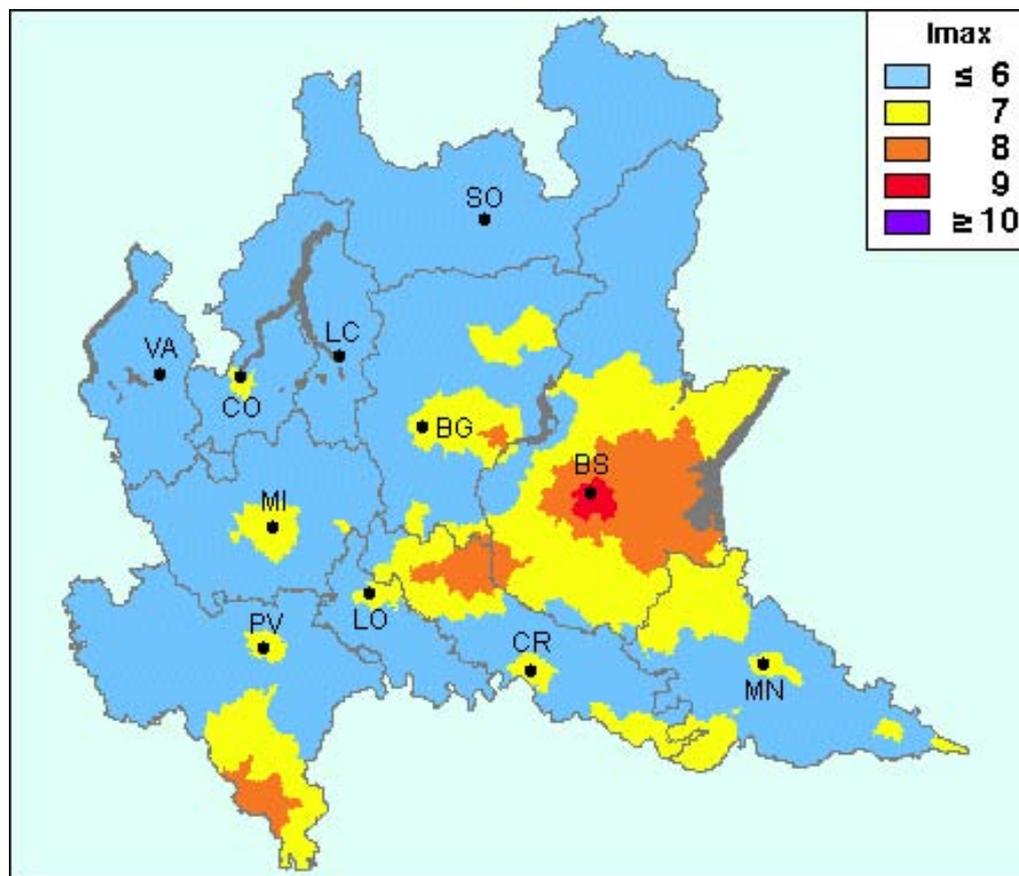


Figura 13 - Massime intensità macrosismiche registrate in Lombardia (fonte INGV)

#### 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>), non sono emerse osservazioni relative al comune di Portalbera. Vista la sua collocazione geografica - rispetto a Stradella- si ritiene, per le finalità del presente lavoro, di poter assumere quali osservazioni di riferimento quelle citate nel Database e riferite al comune di Stradella.

La storia sismica di Portalbera è segnalata a partire dal 1828, con 9 osservazioni accertate (Fig. 14) tra cui l'evento massimo rappresentato dallo stesso terremoto del 9 ottobre 1828 con epicentro in Valle Staffora.

Altri eventi significativi sono riferiti al 23 febbraio 1887, con area epicentrale nella Liguria occidentale e al terremoto molto più recente del 9 novembre 1983, con area epicentrale nel parmense. A questi 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 nello stradellino 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
6	1828	10	09	02	20			Valle dello Staffora	7-8	5.67
4-5	1887	02	23	05	21	50		Liguria occidentale	9	6.29
4-5	1909	01	13	45				BASSA PADANA	6-7	5.53
4	1972	10	25	21	56			PASSO CISA	5	4.95
4	1983	11	09	16	29	52		Parmense	6-7	5.10
3-4	1854	12	29	01	45			Liguria occidentale	7-8	5.77
3	1894	11	27					FRANCIACORTA	6-7	4.95
3	1968	06	18	05	27			BARD	6	5.18
NF	1907	04	25	04	52			BOVOLONE	6	4.94

Fig. 14 - Elenco dei terremoti in cui risulta citata la località di Stradella (PV)

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

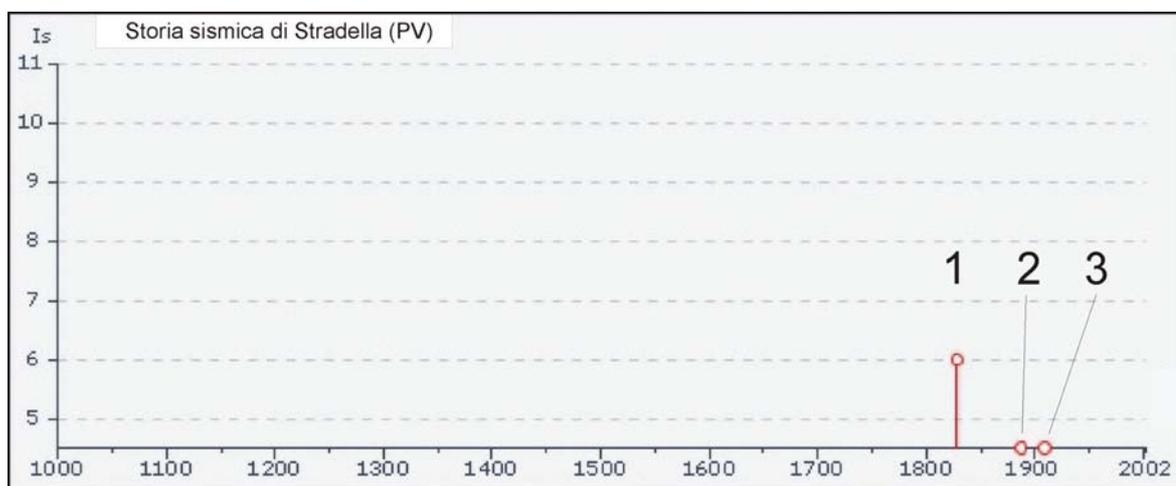


Fig. 15 - Rappresentazione della storia sismica di Stradella limitatamente ai terremoti con intensità al sito uguale o superiore a 4-5

- 1) Terremoto del 9 ottobre 1828 – Area epicentrale Valle Staffora
- 2) Terremoto del 23 febbraio 1887 – Area epicentrale Liguria occidentale
- 3) Terremoto del 13 gennaio 1909 – Area epicentrale bassa padana - Bologna

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 6 - 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.

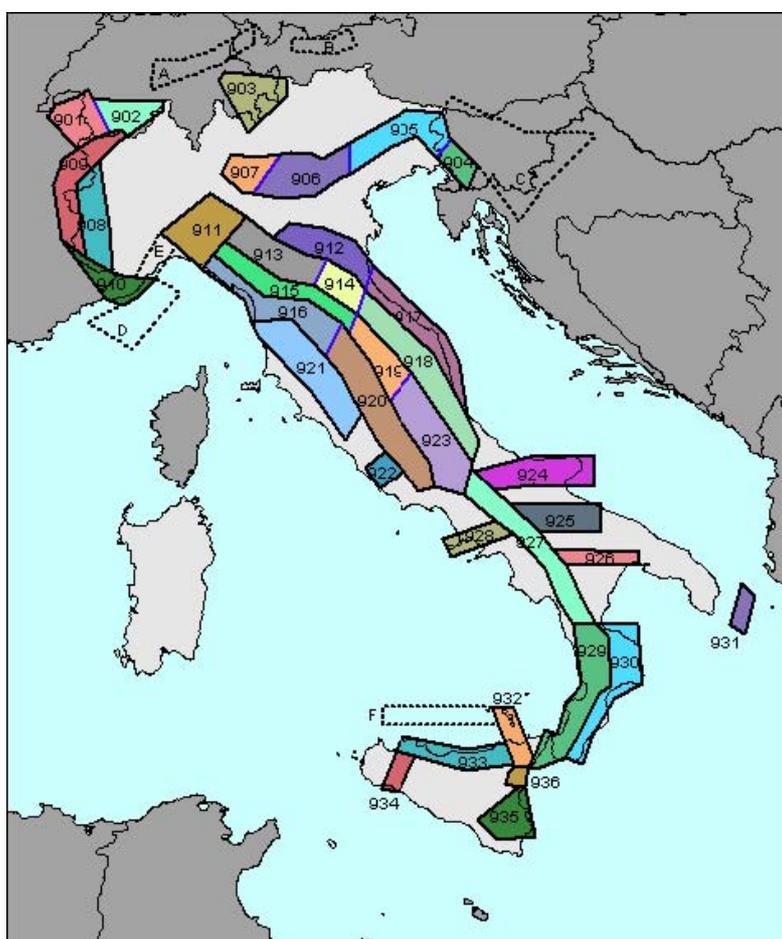


Figura 16

*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*", viene 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, in attesa che vengano pubblicate in gazzetta le nuove norme tecniche.

La nuova classificazione sismica è articolata in 4 zone (rifer. Tabella 7), 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 4, all'interno della quale risulta ricadere anche il Comune di Portalbera, 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
<b>Pavia</b>	=	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>173</b>
Sondrio	=	=	=	78
Varese	=	=	=	141
<b>TOTALE</b>	=	<b>41</b>	<b>238</b>	<b>1267</b>

Tabella 7

*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 8.

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 8

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

#### 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 Portalbera, inclusi 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  $\eta$  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 Portalbera Valori di soglia del Fattore di Amplificazione ( $F_a$ )	Suolo tipo A	Suolo tipo B-C-E	Suolo tipo D
VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s	<b>0,70</b>	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>
VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s	<b>0,90</b>	<b>1,40</b>	<b>2,20</b>

*Per il Comune di Portalbera, ricadenti in zona sismica 4, l'applicazione di tale livello è obbligatoria, all'interno delle aree PSL Z3 e Z4, solo nel caso di ostruzioni 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 9) 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 8 vengono sintetizzati gli adempimenti e le tempistiche in funzione della zona sismica di appartenenza.

In sintesi, la metodologia utilizzata, con riferimento alla D.G.R. n°8.1566.2005, prevede quindi 3 livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente: i primi due livelli (1° livello e 2° livello) sono obbligatori in fase di pianificazione (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza, come meglio specificato nel testo della direttiva), mentre il 3° livello è obbligatorio in fase di progettazione nei casi sopra specificati.

<b>Livelli di approfondimento e fasi di applicazione</b>				
	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 Fa 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 Fa calcolato è maggiore del valore soglia comunale;  Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti

**Tabella 9**

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

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

Per il Comune di Portalbera, 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)
- 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 territorio comunale di Portalbera, 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 DI INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO E STRUTTURALE"; Tavola n°3 "CARTA GEOMORFOLOGICA"; Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO")
- redazione della Tavola n°5 "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 delle diverse situazioni tipo (vedi Tabella 10) 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°5 "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>	<b>COMUNE DI PORTALBERA SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</b>	<b>EFFETTI SISMICI LOCALI</b>
<b>Z2</b>	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti. Riporti compatti (rilevati stradali); riporti eterogenei non compattati o poco compattati: aree colmate, manufatti arginali	Cedimenti diffusi
<b>Z2*</b>	Zone con terreni granulari fini e falda superficiale, indicativamente nei primi 5 metri dal piano campagna (Alluvioni recenti ed attuali del fiume Po a Nord di Casa Albina, Portalbera e San Pietro)	Possibili fenomeni di liquefazione
<b>Z4a</b>	Zone con prevalenza di depositi alluvionali coesivi (Piano Generale Terrazzato" (P.G.T.) o "Livello Fondamentale della Pianura a Sud del fiume Po). Zone con prevalenza di depositi alluvionali granulari (depositi alluvionali di fondovalle del torrente Versa)	Amplificazioni litologiche e geometriche

**Tabella 10**

*Comune di Portalbera- 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 areali gli scenari Z2, Z2\* e Z4a. Non sono presenti elementi lineari.

In particolare, per quanto riguarda le superfici caratterizzate dalla presenza di materiale di riporto (es: manufatti arginali), 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°9 "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 Portalbera" 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 11):

<b>Sigla</b>	<b>COMUNE DI PORTALBERA SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</b>	<b>CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA</b>
<b>Z2</b>	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti. Riporti compatti (rilevati stradali); riporti eterogenei non compattati o poco compattati: aree colmate, manufatti arginali	H2 – livello di approfondimento 3°
<b>Z2*</b>	Zone con terreni granulari fini e falda superficiale, indicativamente nei primi 5 metri dal piano campagna (Alluvioni recenti ed attuali del fiume Po a Nord di Casa Albina, Portalbera e San Pietro)	
<b>Z4a</b>	Zone con prevalenza di depositi alluvionali coesivi (Piano Generale Terrazzato" (P.G.T.) o "Livello Fondamentale della Pianura a Sud del fiume Po). Zone con prevalenza di depositi alluvionali granulari (depositi alluvionali di fondovalle del torrente Versa)	H2 – livello di approfondimento 2°

**Tabella 11**

*Comune di Portalbera- 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 (zona 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 Portalbera si è proceduto, contestualmente alla mappatura dei pozzi per acqua (rifer. Tavola n°4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO" e Tavola n°6 "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 del Comune di Portalbera.

I dati raccolti si riferiscono a:

- n°07 diagrafie relative a prove penetrometriche statiche "*cone penetration test*" (C.P.T. 01\_07)
- n°07 diagrafia relativa a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 30 centimetri (D.C.P.T.<sub>30</sub> 01\_07)
- n°04 stratigrafie relative a trincee geognostiche esplorative (T 01\_04)
- n°06 stratigrafie relative a sondaggi geognostici a campionamento continuo (S 01\_06)

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\_07) 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*).

Per quanto riguarda le trincee geognostiche esplorative (T 01\_04) ed i sondaggi geognostici a campionamento continuo (S 01\_06), l'analisi delle stratigrafie -talvolta supportata da parametri geotecnici ricavati da prove in sito -, consente di valutare sia l'esatta successione dei depositi investigati, sia il comportamento geotecnico in sito del terreno naturale, tenendo conto in particolare di coesione, consistenza e grado di permeabilità.

In corrispondenza sia delle prove penetrometriche statiche, sia delle trincee esplorative non è stata rinvenuta la falda freatica (tranne che in CPT2, dove il livello acquifero superficiale è stato individuato ad una profondità di -6,50 metri). Il dato assume in ogni caso un'importanza relativa, in relazione al fatto che le prove medesime sono state eseguite in un intervallo di 5 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.

In particolare le prove penetrometriche statiche risultano approfondite tra 8,00-9,00 metri (CPT\_1, 2, 3, 4, 5, 7), o attorno ai 10,00 metri (CPT\_6) dal piano campagna, mentre le trincee geognostiche esplorative (T1-T4), raggiungono i 4,00-4,50 metri.

Queste ultime in particolare consentono comunque, nonostante il ridotto approfondimento, di valutare sia l'esatta stratigrafia dei depositi più superficiali, sia il comportamento geotecnico in sito del terreno naturale, tenendo conto in particolare di consistenza e grado di permeabilità.

Nel complesso, sulla scorta dei dati relativi alle indagini, ed in relazione alla loro distribuzione areale, è possibile individuare i seguenti schemi stratigrafico - geotecnici di riferimento:

- 1) generalmente i terreni indagati risultano caratterizzati dalla presenza, fino ad una profondità compresa tra 3,00 metri e 5,00 metri dal p.c., di torbe, argille organiche, argille limose e limi;
- 2) al di sotto della quota di -3,00 / -5,00 dal p.c. si assiste ad un deciso passaggio verso terreni più granulari, dati da sabbie più o meno limose e sabbie, queste ultime generalmente dense o cementate. Gli orizzonti sabbiosi sono localmente associati ad intercalazioni limoso - sabbiose o, più raramente limoso - argillose;
- 3) dalla profondità di circa 6,00 metri fino a 8,00 metri dal p.c. tutte le prove (ad eccezione della CPT\_1) individuano la presenza di un livello sabbioso molto denso o cementato.

Va infine rilevato che le considerazioni sopra riportate fanno riferimento a indagini eseguite su larga maglia, per cui, 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.

## 5.2 GRADO DI PROTEZIONE DELL'ACQUIFERO PRINCIPALE SFRUTTATO AD USO IDROPOTABILE E DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE (FALDA FREATICA)

In relazione ai dati relativi a:

- caratteristiche litologiche e composizione granulometrica dei terreni superficiali (coperture e substrato pedologico);
- soggiacenza dell'acquifero principale sfruttato ad uso idropotabile (a Sud dello spartiacque sotterraneo secondario individuato in Tav.6);
- soggiacenza dell'acquifero principale e dell'acquifero superficiale (falda freatica) a Nord dello spartiacque sotterraneo secondario individuato in Tav.6;
- morfologia del tetto del substrato marino sul quale appoggiano i depositi alluvionali;
- grado di permeabilità della copertura;
- rischio di inondabilità

si è tentato di fornire una valutazione preliminare di carattere applicativo del grado di protezione sia dell'acquifero principale sfruttato ad uso idropotabile, che dell'acquifero superficiale.

Nel complesso, al fine della protezione delle acque sotterranee, dai dati raccolti emerge che il territorio del Comune di Portalbera è dotato di coperture superficiali da poco permeabili ad impermeabili, di spessore limitato tra 2,00 e 3,00 metri (rifer. Tav.4 e Tav. 6).

In relazione ai parametri sopra indicati, lo studio ha condotto all'individuazione di tre diverse aree a diverso grado di protezione dell'acquifero principale sfruttato ad uso idropotabile (a Sud dello spartiacque sotterraneo secondario individuato in Tav.6) e di quattro diverse aree a diverso grado di protezione sia dell'acquifero principale sfruttato ad uso idropotabile, che dell'acquifero superficiale (a Nord dello spartiacque sotterraneo secondario individuato in Tav.6), evidenziate con diversa colorazione in Tav.6.

Va comunque sottolineato come il grado di protezione, così come deducibile dai dati disponibili, può tuttavia subire locali variazioni dovuti 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 superficiali.

## 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°8 "CARTA DI SINTESI") che fornisce, per tutto il territorio del Comune di Portalbera, 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°9 "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 principale, 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 di alimentazione degli acquiferi e regime di scambio con i corsi d'acqua superficiali;
- condizioni geomorfologiche particolari, quali la presenza di terrazzi fluviali.

In Tavola n°8 "CARTA DI SINTESI", attraverso la valutazione dei dati raccolti si è quindi giunti all'individuazione, nell'ambito del territorio del Comune di Portalbera, di sette aree omogenee con diverso grado di vulnerabilità idrogeologica variabili fra *basso o nullo* e *elevato*, 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 principale, 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 e di quello superficiale nei confronti di potenziali agenti inquinanti liquidi o idroveicolati

#### ACQUIFERO PRINCIPALE SFRUTTATO AD USO IDROPOTABILE

- GRADO DI VULNERABILITÀ BASSO O NULLO
- GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO-BASSO
- GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO

#### ACQUIFERO PRINCIPALE E ACQUIFERO SUPERFICIALE (falda freatica)

- GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO-BASSO
- GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO
- GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO-ALTO
- GRADO DI VULNERABILITÀ ELEVATO

(\*) 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 ovvero dell'acquifero superficiale

- 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 golenali del torrente Versa
- Aree potenzialmente soggette a fenomeni alluvionali in concomitanza ad eventi di piena straordinaria del fiume Po e non protette da arginature. 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. Attualmente protette da arginatura e non più 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 con altezza d'acqua maggiore di 2,0 metri
- Aree potenzialmente soggette ad allagamento in relazione all'insufficiente portata di deflusso delle acque da parte delle chiaviche ed all'esonazione dei fossi di scolo. Attualmente protette da arginatura e non più 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 con altezza d'acqua compresa tra 1,0 e 2,0 metri
- 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

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

- Aree con riporto di materiale, aree colmate

### 6.3 ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI D'INGRESSO

La Tavola n°9 "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 12.

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.

<b><i>Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico</i></b>	
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 (*)	2
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica BASSO O NULLO (*)	1
Aree precedentemente scavate (cave dismesse)	3
<b><i>Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico</i></b>	
Aree golenali del fiume Po	4
Aree golenali del torrente Versa	4
Aree potenzialmente soggette a fenomeni alluvionali in concomitanza ad eventi di piena straordinaria del fiume Po e non protette da arginature. 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. Attualmente protette da arginatura e non più 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 con altezza d'acqua maggiore di 2,0 metri	4
Aree potenzialmente soggette ad allagamento in relazione all'insufficiente portata di deflusso delle acque da parte delle chiaviche ed all'esonazione dei fossi di scolo. Attualmente protette da arginatura e non più 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 con altezza d'acqua compresa tra 1,0 e 2,0 metri	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	3
<b><i>Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche</i></b>	
<b><i>Aree che potenzialmente possono presentare problematiche di tipo geotecnico</i></b>	
Aree con riporto di materiale, aree colmate	3

**Tabella 12**

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

(\*) riferita all'acquifero sfruttato ad uso idropotabile ovvero all'acquifero superficiale

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

- Localmente alcune aree a grado di vulnerabilità idrogeologica BASSO O NULLO (classe di ingresso 1) coincidono con aree potenzialmente soggette ad esondazione da parte del torrente Versa (classe di ingresso 4);
- In alcuni settori di territorio le aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO - ALTO (classe di ingresso 3) si sovrappongono ad aree potenzialmente soggette a fenomeni alluvionali in concomitanza ad eventi di piena straordinaria del fiume Po, sottoposte a rischio esondazione e non protette dell'argine maestro (classe di ingresso 4).

Le porzioni di territorio esterne ai poligoni individuati mediante le procedure precedentemente descritte e/o ricomprese in Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica BASSO O NULLO (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 (aree a bassa soggiacenza della falda), con riferimento alle *Norme geologiche di Piano* – sottoclasse di fattibilità 2A. Tali aree sono pertanto anch'esse soggette all'applicazione del D.M. 14 gennaio 2008.

Nella Tavola 9 "CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO ESTESA ALL'INTERO TERRITORIO COMUNALE", non è 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, aprile 2009

Il Professionista Incaricato  
Dott. Geol. Daniele Calvi

## BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

- BARONI D., COTTA RAMUSINO S. & PELOSO G.F.** (1988) - *La falda freatica nella pianura oltrepadana pavese ed in quella alessandrina: considerazioni sulla vulnerabilità potenziale*. Atti Tic. Sc. della Terra 31 (1987-88) 351-376.
- 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.
- BERNINI, M. ET AL.** (1978) - *Dati Preliminari sulla Neotettonica di un settore dell'Appennino nord-occidentale e dell'antistante Pianura Padana*. Estratto da "Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia". Pubbl. n. 155 del Progetto Finalizzato Geodinamica, pp. 261-327, 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.
- BONI, P., LAURETI, L., MARCHETTI G., OTTONE C., PELLEGRINI L. & ROSSETTI R.** (1996) - *Considerazioni preliminari sulla morfologia e sul reticolo idrografico dell'Appennino settentrionale tra i torrenti Orba (Prov. di Alessandria) e Nure (Prov. di Piacenza)*. "Il Quaternario", 9 (1): 233-238.
- 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), Roma
- BRAGA G., MEISINA C., PILLA G.** (1996) - *Manifestazioni sorgentizie di fondovalle e loro valenza nel contesto delle risorse idriche dell'Oltrepò Pavese*. Atti Convegno Salice Tenne "Acque sotterranee nell'Oltrepò Pavese: contributi alla valorizzazione delle risorse idriche", I quaderni delle acque sotterranee, 5, 151-163. GEO-GRAPH, Segrate.
- BRAGA, G.** (1978) - *Agricoltura e assetto del territorio pavese*. Pavia Economica, 23: 122-129.
- BRAGA, G., CASNEDI, R., MARCHETTI, G.** (1982) - *Carta strutturale dell'Appennino settentrionale, alla scala 1:250.000, Foglio 4*. C.N.R. - Progetto finalizzato Geodinamica, s. 5 "Modello strutturale" - Gruppo Appennino settentrionale. Pubbl. n. 429.

- BRAMBILLA G. (1992) - *Prime considerazioni cronologico - ambientali sulle filliti del Miocene superiore di Portalbera (Pavia - Italia settentrionale)*. Atti del Convegno di Casteggio (PV), 109-113, Casteggio.
- CASTELLARIN A. EVA, C., GIGLIA, G., VAI, G.B. (1985) - *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giornale di geologia, 47, 47-75.
- CASTIGLIONI, G.B. ET AL. (1997) - *Carta Geomorfologica della Pianura Padana in scala 1:250.000*. SELCA, Firenze.
- CAVANNA F., GUADO G., VERCESI P.L. (1996) - *Assetto strutturale del margine appenninico Pavese-Piacentino e connessione con la mineralizzazione delle acque*. Atti Convegno Salice Tenne "Acque sotterranee nell'Oltrepò Pavese: contributi alla valorizzazione delle risorse idriche", I quaderni delle acque sotterranee, 5, 193-234 - GEOGRAPH, Segrate.
- COTTA RAMUSINO S. (1982) - *Caratteri idrogeologici della prima falda acquifera nella prima zona di pianura dell'Oltrepò Pavese*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 30, 171-181.
- DOMENICO ANTONIO DE LUCA, RAFFAELLA GHIONE, MANUELA LASAGNA (2005) - *Studio idrogeologico dei Fontanili della Pianura Piemontese*. Giornale di Geologia Applicata 2 (2005) 377-382, doi: 10.1474/GGA.2005-02.0-55.0081
- 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" "I suoli dell'Oltrepò Pavese - serie SSR n°34
- GELATI, R. (1985) - *Risultati preliminari di ricerche sulle successioni paleogeniche e neogeniche al bordo padano della catena appenninica*. Rend. Soc. Geol. It., 8: 59-60.
- GOBETTI A., PEROTTI CR. (1990) - *Genesi e caratteristiche dell'arco strutturale di Pavia*. Atti Tic. Se. Terra, 33, 143-156.
- GUIDE GEOLOGICHE REGIONALI – *Appennino Ligure - Emiliano*. Società Geologica Italiana - 1994.
- LAURETI L., PELLEGRINI L. (1993) - *Broni e Stradella nell'Oltrepò pavese*. Geogr. Fis. e Din. Quat., 16/2: 141-143.
- MARCHETTI G., CAVANNA F., VERCESI P.L. (1998) - *Idrogeomorfologia e insediamenti a rischio ambientale. Il caso della pianura dell'Oltrepò Pavese e del relativo margine collinare*. Fondazione Lombardia per l'Ambiente.
- MARCHETTI G., MOSNA S. & VERCESI P.L. (1978) - *Nuovi affioramenti di terreni paleogenici al margine dell'Appennino pavese (a est di Stradella) e loro possibile significato*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 28, 87-95.
- PELLEGRINI L. & VERCESI P.L. (1995) - *Considerazioni morfoneotettoniche sulla zona a sud del Po tra Voghera (PV) e Sarmato (PC)*. Atti Tic. Sc. della Terra, vol. 38, pp 95-118, 7 figg.
- PELLEGRINI L., VERCESI P.L. (2005) - *I geositi della provincia di Pavia*. Luigi Ponzio e figlio, Pavia.
- PELOSO G.F. (1995) - *Considerazioni idrogeologiche sulla pianura bronese-stradellina*. Atti Convegno Salice Tenne "Acque sotterranee nell'Oltrepò Pavese: contributi alla valorizzazione delle risorse idriche". I quaderni delle acque sotterranee, 5, GEO-GRAPH, Segrate.

PELOSO G.F., COTTA RAMUSINO S. (1979) - *Idrogeologia della pianura bronese-stradellina (oltrepò pavese): caratteristiche dei corpi idrici sotterranei e considerazioni sul loro sfruttamento*. Atti Tic. Sc. della Terra, 32, pp. 125-162, 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).

PICCIO S. (2003) - *Individuazione di possibili geositi nel territorio della Provincia di Pavia*. Studio nell'ambito della convenzione tra il Dipartimento di Scienze della Terra e la Provincia di Pavia, Settore Cave.

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.